



Aquaponie

Associer aquaculture
et production végétale



Aquaponie

Associer aquaculture et production végétale

Pierre Foucard, Aurélien Tocqueville, coordinateurs

Collection *Savoir-faire*

Principes des techniques de biologie moléculaire et génomique

3^e édition revue et augmentée

D. Tagu, S. Jaubert-Possamai, A. Méreau, coord.

2018, 312 p.

Réussir le tempérage du chocolat

Les clés d'un savoir-faire

I. Christian

2018, 124 p.

Guide des analyses en pédologie

3^e édition revue et augmentée

D. Baize

2018, 328 p.

Gestion de la santé des poissons

C. Michel, coord.

2018, 480 p.

De l'analyse des réseaux expérimentaux à la méta-analyse

Méthodes et applications avec le logiciel R pour les sciences agronomiques et environnementales

D. Makowski, F. Piraux, F. Brun

2018, 162 p.

En couverture : à gauche, *Salmo trutta* © Rostislov/Adobe Stock ; au centre, culture de basilics en *rafts* sur substrat coco-tourbe © Catherine Lejolviv/EPLEFPA Lozère ; à droite, chevelu racinaire de laitue © Catherine Lejolviv/EPLEFPA Lozère

Éditions Quæ

RD 10, 78026 Versailles Cedex

www.quae.com

© Éditions Quæ, 2019

Mise à jour, juillet 2022

ISSN : 1952-1251

ISBN (papier) : 978-2-7592-2964-2

e-ISBN (PDF) : 978-2-7592-2965-9

x-ISBN (ePub) : 978-2-7592-2966-6

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Sommaire

Introduction	5
Le développement de l'aquaculture dans le monde et en France.....	5
Les interrogations soulevées par l'activité aquacole	6
L'émergence de nouveaux paradigmes : les circuits recirculés et les systèmes d'aquaculture intégrée multitrophique	7
1. L'aquaponie : concept, approches et usages	15
Composantes de l'aquaponie : l'hydroponie et l'aquaculture.....	15
Différentes approches de l'aquaponie.....	25
À différentes échelles, différents objectifs.....	28
Différentes stratégies de conception : systèmes couplés ou découplés.....	31
L'aquaponie : un concept de base évolutif.....	33
Conclusion.....	35
2. Poissons, végétaux, bactéries : trois univers techniques à appréhender	39
Le compartiment aquacole : zootechnie et technologie.....	39
Le compartiment hydroponique : les plantes.....	60
Le compartiment bactérien : les micro-organismes.....	100
3. Conception et suivi d'un système aquaponique	105
Approches de dimensionnement de systèmes aquaponiques.....	105
Dimensionnement des systèmes aquaponiques.....	114
Les paramètres physico-chimiques de l'eau : une histoire de compromis.....	123
Conclusion.....	138

4. Défis réglementaires, sociétaux et économiques	141
Défis réglementaires.....	142
Réglementation relative à l'irrigation de cultures avec des eaux usées.....	149
Réglementation sanitaire.....	151
Défis sociétaux.....	158
Défis économiques.....	164
Conclusion.....	180
Conclusion générale	183
Glossaire.....	186
Bibliographie.....	189
Auteurs.....	209

Introduction

Le développement de l'aquaculture dans le monde et en France

Depuis une vingtaine d'années, les apports de la pêche mondiale en poissons sont stables autour de 90 millions de tonnes, pêche à destination de la consommation humaine et pêche minotière confondues. Aucune augmentation significative des quotas de pêche n'est à prévoir en raison de l'état actuel des stocks de poissons sauvages et de l'impact écologique qu'induit la surpêche. L'approvisionnement futur du marché mondial en produits aquatiques pour répondre à la demande grandissante de la consommation humaine repose donc sur l'essor de l'aquaculture qui est aujourd'hui l'activité de production alimentaire animale dont la croissance est la plus rapide au monde avec plus de 6 % de croissance par an entre 1986 et 2016 (FAO, 2018) (figure i-1). En 2015, l'aquaculture représentait environ 53 % de l'approvisionnement en poissons pour l'alimentation humaine, contre 14 % en 1985. D'après les prévisions de la FAO, cet essor va se poursuivre pour répondre à la demande croissante en protéines de poisson qui s'accroît avec l'augmentation de la population mondiale (FAO, 2018). L'Asie est le continent le plus dynamique dans le développement de l'aquaculture, avec 42 % de la production aquacole totale provenant de cette activité économique (75 % pour la Chine), contre seulement 18 % pour l'Europe occidentale (FAO, 2018).

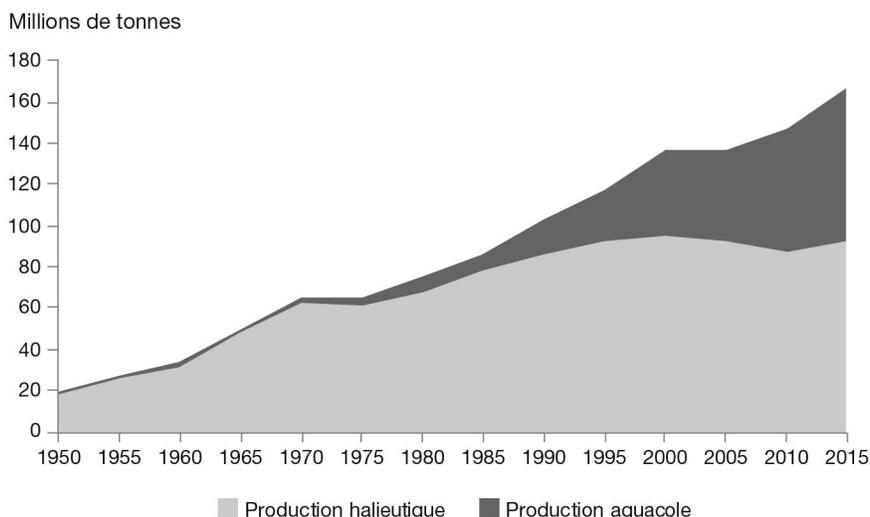


Figure i-1. Évolution des activités de production aquacole et de pêche de capture, de 1950 à 2016. (FAO, 2018)

Alors que la demande augmente et malgré un savoir-faire reconnu, l'activité piscicole française ne connaît aucune croissance notable, et ce notamment en raison d'obstacles réglementaires importants. La France se trouve donc aujourd'hui dépendante à plus de 85 % des importations en produits aquacoles.

Les interrogations soulevées par l'activité aquacole

L'activité aquacole souffre régulièrement d'une mauvaise appréciation dans l'opinion publique française, et véhicule principalement des critiques liées à l'alimentation des poissons et à la pollution générée. « Les échanges apportant des éléments scientifiques sur l'évolution de la composition des aliments au profit de substances végétales, ou les garanties d'un contrôle satisfaisant des rivières en aval ou des fonds sous-marins ne parviennent pas à faire évoluer les postures intellectuelles » (d'après un rapport établi par M^{me} Hélène Tanguy dans le cadre d'une mission du Ministère de l'agriculture et de la pêche, portant sur le développement de l'aquaculture – 30 octobre 2008). Depuis une dizaine d'années, les annonces encourageantes envers l'aquaculture ne sont pourtant pas rares : « L'aquaculture est un secteur où les projets d'investissements ne sont pas assez nombreux. Le développement de ce secteur économique doit être une priorité pour la France qui doit enrichir sa stratégie d'alimentation en produits de la pêche d'eau douce » (Michel Barnier, 2007) ; « Les poissons sont l'avenir de l'homme » (Jean-Paul Basset, député européen, 2012) ; « Il faut une volonté politique claire de développer une aquaculture durable et compétitive, afin de faire face à la concurrence des pays tiers » (Alain Cadec, 2012)¹ ; « L'aquaculture française est une activité apte à satisfaire aux trois piliers du développement durable, elle crée de l'activité pérenne sur les littoraux et dans les pays ruraux, génère des emplois qualifiés non délocalisables et s'inscrit dans de véritables projets de territoires (Martinie-Cousty *et al.*, 2017). Malgré cela, la production piscicole française reste stable avec très peu de nouvelles installations depuis une vingtaine d'années.

Pour que l'aquaculture puisse connaître un nouveau dynamisme et une popularisation dans la société française, elle doit faire face au défi d'une intégration plus satisfaisante dans l'environnement qu'elle contribue à modifier, et doit faire émerger de nouveaux paradigmes en faveur d'une production écologiquement intensive. « Au cours des dix prochaines années, la production totale issue de l'aquaculture et des pêches dépassera celle du bœuf, des porcs ou de la volaille » (Árni M. Mathiesen, sous-directeur général de la FAO, 2013), à condition d'« encourager une gestion plus avisée des écosystèmes ». Le développement de l'aquaculture nécessite une meilleure prise en compte de l'efficacité d'utilisation des ressources à la fois alimentaires et environnementales qui sont à notre

¹ Pour M. Barnier (2007), J. P. Basset (2012) et A. Cadec (2012), voir le site du Centre d'études pour le développement d'une pisciculture autonome.

disposition. L'idée est donc de compléter les systèmes productifs existants là où ils sont défaillants : cela passe surtout par le développement d'un aliment piscicole plus durable et une meilleure gestion sanitaire, mais aussi par le développement de technologies plus efficaces misant sur l'économie de la ressource en eau et le recyclage des effluents.

L'émergence de nouveaux paradigmes : les circuits recirculés et les systèmes d'aquaculture intégrée multitrophique

Les systèmes aquacoles dits « recirculés » se développent en Europe depuis quelques années, notamment au Danemark. Ils visent à recycler et réutiliser l'eau sortant des élevages piscicoles afin de maîtriser les rejets dans l'environnement et de limiter la dépendance vis-à-vis de cette ressource. D'autres recherches portent sur des systèmes d'aquaculture intégrée multitrophique (AIMT) permettant de valoriser des masses d'eau riches en azote et en phosphore en sortie d'élevage aquacole en eau de mer ou en eau douce. Pour cela, des plantes, des algues, ou encore des mollusques sont co-produits avec un compartiment d'élevage de poissons, de manière à valoriser ce qui était jusque-là considéré comme un simple déchet. L'aquaponie peut donc être considérée comme un exemple de système AIMT en eau douce et en eau de mer. Elle adjoint un circuit piscicole en recirculation à une culture de végétaux à destination de la consommation humaine afin de créer une activité économique complémentaire, ce qui la distingue de la phyto-épuration classique (marais plantés, lagunages, etc.).

L'aquaponie, une méthode de culture inspirée de pratiques ancestrales

Aux alentours de l'an 1200, la civilisation aztèque cultivait des jardins en milieu lacustre appelés « *chinampas* », composés d'îles artificielles généralement rectangulaires, dont la surface émergait à environ 1 m de la surface de l'eau. Ce mot d'origine nahuatl (langue indigène mexicaine) signifie littéralement « lieu de la clôture de roseaux ». Il est parfois traduit par « jardin flottant ». Ces structures sont 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 en décomposition, le tout disposé en couches successives (Turcios, 2014). Il est difficile d'affirmer dans quelle mesure les poissons présents dans ces eaux participaient à la fertilisation de l'eau, mais le concept de culture végétale « hors-sol » est né à cette époque. Aujourd'hui, ce type de culture a pratiquement disparu. Certaines parcelles ont été préservées dans la délégation de Xochimilco de Mexico et sont désormais inscrites sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco (figure i-2).



Figure i-2. Culture de radis sur chinampa à proximité du lac de Xochimilco. (David Arqueas)

Bien avant cela, il y a environ 1700 ans, des systèmes de rizipisciculture sont apparus sur le continent asiatique en Chine continentale (Renkui *et al.*, 1995). Il s'agissait d'un système intégré de production de riz et de poissons (traditionnellement des carpes, des anguilles ou des tilapias) (figure i-3). Cette pratique a traversé les âges, après des siècles d'existence dans différents pays asiatiques, tout en restant très minoritaire en raison du travail que représente la modification de la structure des rizières existantes pour cet usage (Edwards, 2015). Aujourd'hui, la rizipisciculture est encore pratiquée au Bangladesh, en Chine et au Vietnam, notamment avec des élevages de crevettes géantes d'eau douce (*Macrobrachium rosenbergii*), de crabes chinois (*Eriocheir sinensis*) ou encore d'écrevisses de Louisiane (*Procambarus clarkii*) (Edwards, 2015).

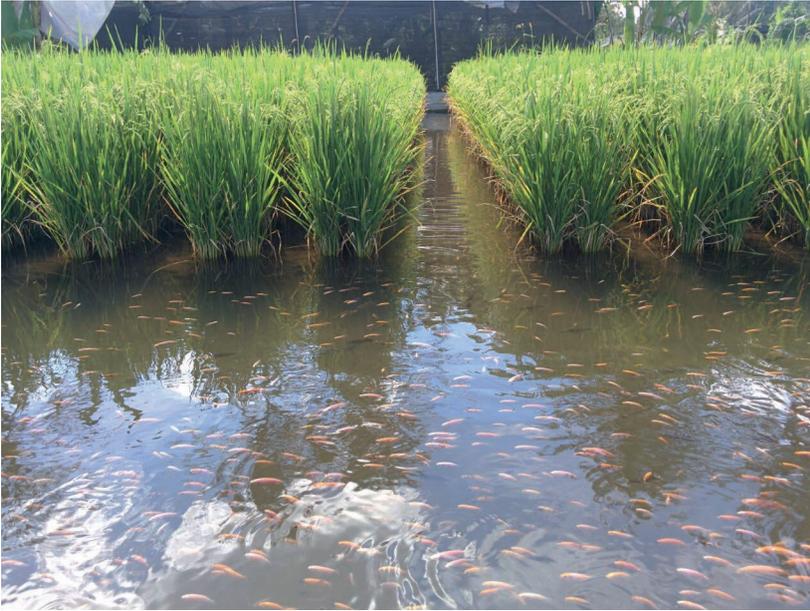


Figure i-3. Culture combinée de l'aquaculture du riz et du tilapia dans une rizière, Yogyakarta, Indonésie. (Kembangraps)

La modernisation du concept d'élevage intégré de poissons/végétaux

La conception moderne de l'aquaponie et le terme même « aquaponie » sont apparus dans les années 1970-1980 suite à des recherches réalisées par le New Alchemy Institute en Caroline du Nord dont les travaux étaient axés sur le développement de techniques d'agriculture biologique intensive. Il y a été démontré que l'eau issue de pisciculture constituait une source intéressante de nutriments pour des productions végétales cultivées en hydroponie (Todd, 1980 ; Zweig, 1986). Cet institut n'existe plus aujourd'hui, mais les publications qui en sont issues font aujourd'hui encore figure de références². D'autres instituts de recherche nord-américains ont alors emboîté le pas quelques années après (Sneed *et al.*, 1975 ; Naegel, 1977 ; Lewis *et al.*, 1978).

Inspiré par les succès de la New Alchemy Institute et par la thématique de l'aquaponie, Mark McMurtry de l'université de Caroline du Nord a poursuivi cette piste de travail en développant dans les années 1990 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 (Mc Murtry, 1997). Concomitamment, le docteur James Rakocy de l'université des îles Vierges (UVI) a développé un système

² Pour en savoir plus : <http://www.thegreencenter.net> (consulté le 25/01/2019).

à échelle semi-commerciale faisant aujourd'hui référence en ce qui concerne le dimensionnement des compartiments piscicole et végétal, et qui fonctionne en continu depuis de nombreuses années (Rakocy *et al.*, 2006). Ce « système UVI » est surtout renommé pour avoir transféré un modèle reproductible qui a d'ailleurs été adapté par divers exploitants commerciaux.

La technologie moderne offre des perspectives de développement et de diversification des filières piscicoles et maraîchères. Elle se pose aujourd'hui comme une piste d'étude sérieuse de méthode complémentaire et alternative de production aquacole et végétale. Sans chercher à remplacer ce qui existe déjà, elle s'applique le plus souvent à se faire une place sur des terres non agricoles (terres non fertiles, friches industrielles, serres maraîchères à l'abandon, zones urbaines et périurbaines, etc.) et à se positionner sur un marché en circuit court.

Le développement de l'aquaponie dans le monde

Considérée comme l'une des « dix technologies qui pourraient changer nos vies » par le Parlement de l'Union européenne (Woensel et Archer, 2014), la recherche dans le domaine de l'aquaponie souffre encore aujourd'hui d'un faible recul sur la réalité économique de cette activité à grande échelle. Elle fait pourtant l'objet d'un dynamisme important aux États-Unis, au Canada et en Australie depuis une vingtaine d'années, et depuis les années 2010 en Europe. Le vif intérêt porté à cette méthode de production se traduit même par de nombreuses démarches de particuliers, venant remplacer le traditionnel potager par des systèmes de production aquaponique à petite échelle, encouragés par de nombreux supports disponibles sur internet : blogs spécialisés ou chaînes *Youtube* (*The Aquaponics Journal* ; *BackYard Aquaponics* ; *Bright Agrotech*) pour n'en citer que quelques-uns.

Peu de références existent sur le nombre d'entreprises aquaponiques à échelle commerciale et il s'avère difficile d'estimer la production piscicole et maraîchère effectuée de cette manière à l'échelle mondiale. Il existe encore peu de systèmes commerciaux dans le monde. On peut toutefois en citer quelques-uns : Cultures Aquaponics inc. et Hydronov au Canada ; Urban Organics, Superior Fresh, Florida Urban Organics aux États-Unis ; GrowUp UrbanFarms et BioAquafarm en Angleterre ; ECF Farmsystems en Allemagne ; BIGH en Belgique, et De l'eau à la bouche, Ferme aquaponique de l'Abbaye, Nutreets en France.

Des entreprises spécialisées dans le conseil, la conception et le dimensionnement de systèmes aquaponiques ont également vu le jour en parallèle de l'apparition de ces fermes commerciales, comme Aquaponic Solutions (Australie) ou Nelson and Pade (aux États-Unis) et font, à ce jour, figures de référence.

D'après une étude de 2014 basée sur une enquête menée auprès de 809 « aquaponiculteurs » à travers le monde (seule enquête existante de ce type), 80 % des producteurs en aquaponie se trouvent aux États-Unis, ce qui en fait le pays leader dans le domaine, 8 % en Australie, 2 % au Canada (Love *et al.*,

2014), les 10 % restants se situant dans le reste du monde. Cette étude n'est pas exhaustive et est d'ores et déjà caduque, notamment pour ce qui concerne le continent européen.

L'Europe accusait jusqu'aux années 2012-2013 un certain « retard » par rapport à ce qui avait été fait sur les continents américains, australiens et asiatiques sur le plan de la recherche et du développement. La résolution 2013/2100 (INI) a été adoptée par le Parlement européen le 11 mars 2014 (Mc Intyre, 2014), dans le cadre de réflexions sur l'avenir du secteur horticole en Europe et sur les stratégies de croissance. Cette résolution mentionne que « les systèmes d'aquaponie recèlent un potentiel de production locale et durable de denrées alimentaires et peuvent contribuer, en combinant dans un système clos l'élevage de poissons d'eau douce et la culture de légumes, à réduire la consommation de ressources par rapport aux systèmes conventionnels ». Le retard européen a été plutôt bien rattrapé entre 2014 et 2018, grâce à plusieurs projets de recherche apparus en même temps :

- le projet de recherche INAPRO (Innovative Aquaponics for Professional Applications), mené par l'Institut de l'écologie en eau douce à Leibniz, a débuté courant 2014. Ce projet fait entrer en collaboration 18 partenaires au travers de 8 pays pour mettre au point un système d'aquaponie à grande échelle, économiquement et écologiquement viable, et innovant par rapport aux systèmes existant actuellement dans le monde ;

- le réseau européen « EU Aquaponics Hub », actif de 2014 à 2018, a été mis en place par le programme inter-gouvernemental COST (European Cooperation in Science and Technology). Il a permis de fédérer différents acteurs de la recherche : l'institut IGFF (Institute of Global Food and Farming) au Danemark, l'entreprise Svinna-verkfraedi Ltd en Islande, l'institut Nibio (National Institute of Biomedical Innovation ; auparavant appelé « Bioforsk ») en Norvège, l'entreprise Ponika en Slovénie, l'entreprise Eureka Farming en Italie, The FishGlassHouse à l'AUF (Faculty of Agricultural and Environmental Sciences) à Rostock en Allemagne, l'université des Sciences appliquées de Zurich (ZHAW) et l'entreprise Tropenhaus en Suisse, la PAFF Box à l'université de Gembloux Agro-Bio Tech, Nerbreen ainsi que l'université Las Palmas de Gran Canaria en Espagne. Une carte européenne collaborative a été mise en place par le réseau COST, sur laquelle chaque entreprise, particulier, association ou université peut ajouter et localiser son système aquaponique. Elle peut être consultée sur le site internet du réseau COST³. Cette carte reste peu exhaustive pour la France, car beaucoup de projets privés ont émergé entre 2013 et 2018, certains étant déjà concrétisés. La plupart sont référencés sur une autre carte collaborative en ligne mise en place dans le cadre du projet APIVA[®], spécifiquement pour la France. Celle-ci peut être consultée sur le site internet du projet APIVA^{®4}.

³ Voir <https://euaquaponicshub.com/eu-aquaponics-map/> (consulté le 28/01/2019).

⁴ Voir <https://projetapiva.wordpress.com/le-projet-apiva-objectifs-et-partenaires/> (consulté le 15/03/2019).



Figure i-4A et B. Pilote expérimental du RATHO à Brindas. (Pierre Foucard, ITAVI)



Figure i-5A et B. Pilote expérimental de l'Inra-Peima à Sizun. (Victor Dumas, Inra)

– le projet APIVA[®] (Aquaponie, innovation végétale et aquaculture) mené par l'ITAVI, en partenariat avec l'Inra, ASTREDHOR, le Cirad, l'EPLEFPA de Lozère, financé par le CASDAR (Compte d'affectation spécial « développement agricole et rural ») dans le cadre de l'appel à projet Innovation et partenariat de 2013, s'est déroulé en France de 2014 à 2017. Plusieurs sessions de restitution des résultats ont été réalisées sur cette période, rassemblant toujours plus d'acteurs gravitant autour du sujet de l'aquaponie en France : porteurs de projets, bureaux d'études, chercheurs, administrations, chambres d'agriculture, ou simples curieux. L'objectif du projet était de mettre en place des pilotes expérimentaux à moyenne échelle (de 60 à 200 m² de surface de production), de caractériser les compartiments de ces systèmes aquaponiques et d'étudier les flux à travers des démarches de modélisation, cela dans le but d'établir des éléments de dimensionnement et d'efficacité technico-économique, mais aussi d'étudier la qualité des produits et le rendement épuratoire de ce type de systèmes, pour enfin diffuser la connaissance aux filières piscicoles, horticoles et maraîchères. Les figures i-4, i-5 et i-6 illustrent les trois pilotes expérimentaux mis en place dans les structures partenaires du projet APIVA[®]. Depuis 2018, le projet APIVA[®] continue avec de nouveaux axes de recherche grâce à un projet soutenu par le FEAMP (Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche).



Figure i-6. Pilote expérimental de l'EPLEFPA de Lozère à La Canourgue. (Catherine Lejolivet, EPLEFPA de Lozère)

1

L'aquaponie : concept, approches et usages

L'aquaponie combine deux méthodes de production distinctes et complémentaires : la culture végétale hors-sol (sur la base de l'hydroponie) et l'aquaculture (sur la base des circuits recirculés). Chacun de ces modes de production possède des avantages et des limites, et il est nécessaire de bien comprendre leur fonctionnement pour combiner les deux de manière optimale et harmonieuse. L'idée centrale est que les déchets d'un compartiment deviennent une ressource pour le second, et que la combinaison des deux permette de consommer moins d'intrants (eau et engrais). Sur la base de ce principe, la conception du système peut s'orienter de manière très variable selon que l'on parte de zéro ou d'une structure existante, et selon l'objectif final (commercial, pédagogie, auto-production) qui conditionnera l'échelle et le niveau d'intensité de production. Ce premier chapitre a pour but de faire le point sur ces différents éléments.

Composantes de l'aquaponie : l'hydroponie et l'aquaculture

L'hydroponie, ou culture hors-sol

Principe de la technique hydroponique

Une culture hydroponique correspond à une production végétale, maraîchère ou horticole, conduite dans un milieu « hors-sol », le plus souvent sous serre (figure 1-1). Les plantes se développent donc en dehors des champs, sur un substrat solide, neutre et chimiquement inerte (laine de roche, fibre de coco, tourbe, écorce de pin, films nutritifs, etc.), où l'irrigation se fait sur un cycle périodique ou continu pour maintenir les racines dans un milieu humide et fournir un apport constant de nutriments. L'alimentation des plantes est assurée par la circulation ou la percolation d'une solution nutritive qui apporte l'eau, l'oxygène dissous, et les éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes, le tout dans des conditions de pH et de conductivité contrôlées et régulées.

Initialement développé en Hollande dans les années 1940-1950, le procédé de culture hors-sol essaime maintenant un peu partout dans le monde. Généralement appliqué sous serre, il permet de cultiver de nombreux végétaux hors de leur zone d'origine, d'augmenter les rendements tout en assurant une qualité des produits constante, et d'améliorer les conditions de travail. Il implique nonobstant des investissements importants et une rentabilité parfois difficile à atteindre.



Figure 1-1. Culture de tomates en hydroponie sous serre en hors-sol sur pain de coco et en goutte à goutte. (Carlos yo)

Aperçu de la filière hors-sol en France

En 2012, la surface totale de culture horticole ornementale s'élevait à 17 957 hectares en France, dont 1 903 hectares couverts en serres et tunnels et 2 156 hectares de plates-formes de production conduites en hors-sol soit 12 % de la surface globale (France Agrimer, 2013). Du côté de la filière maraîchère, la culture sous serre en hors-sol est aujourd'hui privilégiée pour produire plusieurs espèces appartenant à la catégorie des légumes-fruits, tels que le concombre ou la tomate (destinés au marché du frais). Ces deux cultures représentent actuellement plus de 70 % des surfaces cultivées. La culture sous serre se développe également pour la culture de fraise (Agreste, 2013). En 2014, environ 35 000 tonnes de fraises étaient produites en hors-sol en France, représentant 20 % des surfaces et plus de 50 % des volumes de production (Réussir Fruits et Légumes, 2014⁵).

Avantages de la technique hydroponique

Cette technique de production permet d'avoir un haut niveau de contrôle sur les intrants, sur la quantité et la qualité de l'eau utilisée (concentration en minéraux, pH, conductivité), et sur les paramètres environnementaux (température, taux d'humidité de l'air, lumière) tout en bénéficiant du phénomène d'effet de serre.

⁵ Voir <https://www.reussir.fr/fruits-legumes/fraisereferences-le-hors-sol-fait-redecoller-la-fraise> (consulté 11/02/2019).

De plus, l'hydroponie élimine les problèmes parfois liés au sol (pathogènes, salinité, pH, structure du sol), permet de cultiver des végétaux sur des terres non arables en zone urbaine (jardins, toits, balcons, etc.) et périurbaine (friches industrielles), élimine les pratiques conventionnelles de labour du sol et de désherbage, simplifie les techniques culturales, tout en augmentant les rendements. Les cultures hydroponiques intensives peuvent atteindre une optimisation de rendement de 20 à 25 % par rapport aux cultures sur sol (Somerville *et al.*, 2014), en particulier grâce à l'absence de compétition racinaire impliquant des densités de culture souvent plus fortes qu'en agriculture classique. Enfin, les itinéraires de culture sont très simplifiés en hors-sol par rapport aux systèmes conventionnels, et permettent des récoltes efficaces et non contraignantes notamment à l'aide de structures de culture mobiles disposées à hauteur d'homme.

Limites de la technique hydroponique

Les technologies traditionnelles de production de végétaux hors-sol utilisent des solutions nutritives riches en engrais minéraux, souvent en excès afin de fournir aux plantes tous les éléments nécessaires à leur croissance. Des vidanges du système sont régulièrement pratiquées lorsque des déséquilibres en nutriments surviennent dans l'eau de culture : ce drainage représente 20 à 50 % du volume de solution nutritive apportée, jusqu'à 80 % en production de fleurs coupées (Bron, 2012). La conduite de culture hors-sol avec drainage perdu est en régression depuis le début des années 2000 ; les installations de culture hors-sol les plus avancées tendent à utiliser des technologies permettant le recyclage de la solution nutritive (Boulard, 1999). Les excédents en nutriments non utilisés par les plantes constituent dans ce cas une source de matière première pour la fabrication de nouvelles solutions nutritives. La composition minérale de la solution drainée n'est pas constante car elle dépend de la vitesse relative d'absorption de chaque ion par les plantes, il est donc nécessaire de tenir compte de cette évolution pour effectuer des compensations. Le recyclage des solutions n'est malgré tout pas pratiqué systématiquement en raison de l'investissement nécessaire et de la technicité qui en découle. Ajoutons qu'un recyclage excessif des solutions fertilisantes peut entraîner une accumulation de certains minéraux ou de certains acides organiques (comme l'acide benzoïque) et d'exsudats de végétaux (composés allélochimiques) toxiques pour les plantes (Hosseinzadeh, 2017). Une fermeture du système à 100 % s'avère donc impossible et des vidanges périodiques de cuves restent indispensables pour faciliter le retour à l'équilibre chimique recherché et limiter les risques sanitaires (Bron, 2012).

Une autre limite de l'hydroponie est sa dépendance vis-à-vis de l'utilisation d'énergies fossiles, que ce soit à cause de l'emploi massif de matières plastiques ou à cause du mode de synthèse des engrais chimiques azotés simples ou autres sels minéraux complexes (procédé Haber pour les formes azotées, extraction minière de phosphate et de potasse et traitements chimiques ultérieurs pour obtenir des formes solubilisées).

L'aquaculture en recirculation (« RAS » : Recirculating aquaculture system)

Aperçu de la filière aquacole

En 2016, la production aquacole mondiale s'est établie à 80,04 millions de tonnes dont 54,09 millions de tonnes de poissons d'eau douce et marine. L'offre mondiale de poisson a atteint le chiffre record de 20 kg par habitant, à la faveur de la forte croissance de l'aquaculture. La Chine représente plus de 60 % de la production aquacole mondiale. Désormais, l'aquaculture fournit un peu plus de la moitié du poisson destiné à la consommation humaine (FAO, 2018). Les systèmes de pisciculture en milieu dits « ouverts » ou « en étangs » sont prédominants dans le monde pour l'aquaculture en eau douce.

La France se place parmi les leaders européens pour la production de truite arc-en-ciel (32 200 tonnes en 2015, France Agrimer) et d'alevins de poissons marins (5 000 tonnes bars, daurades, turbots, maigres) dont plus de la moitié de la production est exportée. À mentionner également : une production de 6 000 tonnes de carpes et autres poissons d'eau douce produits en étangs. La truite est la production majoritaire avec des systèmes traditionnels d'élevage en circuit ouvert.

Principe de l'aquaculture en recirculation

Les systèmes d'aquaculture en circuit « recirculé » s'opposent conceptuellement aux systèmes d'aquaculture conventionnels en circuit ou en milieu « ouvert ».

Dans les systèmes conventionnels piscicoles en eau douce (élevage de truites par exemple), l'eau est constamment renouvelée dans les bassins pour assurer une bonne qualité d'eau pour les poissons d'élevage, une bonne oxygénation, et une élimination des particules solides en suspension et de certaines molécules dissoutes (ammoniaque, nitrate, orthophosphates) par une approche de « dilution ». À noter toutefois que cette eau est « utilisée » et non pas « consommée », car le principe est de dériver une part de débit d'une rivière (et/ou d'un forage et/ou d'une source) pour l'acheminer aux bassins d'élevage et puis la renvoyer dans des cours d'eau après utilisation. Dans ce type de système, il s'avère problématique de gérer les déchets solides (matières en suspensions) et dissous (azote et phosphore) en raison des débits importants. De même, les autres systèmes en milieu ouvert du type élevages en cages en mer ou étangs continentaux sont dépendants des conditions du milieu extérieur. Les réglementations européennes de plus en plus strictes (appliquées souvent plus durement en France) font peser une lourde charge sur ces activités économiques et entravent leur développement en raison de problématiques liées aux rejets d'effluents, de continuité écologique, et de droits liés à l'usage de l'eau.

À l'opposé des systèmes conventionnels en milieu « ouvert », les systèmes « recirculés » se développent depuis une trentaine d'années et leur domaine d'utilisation tend à s'élargir progressivement de l'écloserie à la phase de grossissement, et ce pour tous les types d'élevage (Timmons et Ebeling, 2007). Ils permettent de recycler une grande partie de l'eau utilisée pour l'élevage suite à différentes étapes