

AQUAVET

INTRODUCTION DE L'AQUAPONIE DANS L'ENSEIGNEMENT ET
LA FORMATION PROFESSIONNELLE : INSTRUMENTS, UNITÉS
D'ENSEIGNEMENT ET FORMATION DES ENSEIGNANTS

Résultat n° 2 :

Description du système aquaponique



Lifelong
Learning
Programme



Cross borders
Gather experience
Enhance knowledge



Stiftung für eidgenössische Zusammenarbeit
Fondation pour la collaboration confédérale
Fondazione per la collaborazione confederale
Fundaziun per la collavraziun federala

SOMMAIRE

1	Description des résultats	3
2	Qu'est-ce que l'aquaponie ?.....	3
3	Vue d'ensemble du système aquaponique.....	4
3.1	L'utilisation des structures modulaires flottantes végétalisées en aquaponie.....	8
4	Paramètres essentiels d'un système aquaponique.....	9
5	Systèmes de production végétale.....	11
6	Poissons et cultures adaptés.....	17
7	Références & sources.....	18
8	Annexe	21
8.1	Aquaponic in classrooms as a tool to promote system thinking. Article rédigé par Junge et al.....	21
8.2	The multifunctional aquaponic system at zhaw used as research and training lab. Article rédigé par Graber et al.	21

1 Description des résultats

Ces résultats introduisent le thème de l'aquaponie, définissent son principe, les diverses méthodes possibles de sa réalisation et de sa mise en œuvre ainsi que les paramètres importants du système.

Le chapitre 2 définit brièvement l'aquaponie. Puis, le chapitre 3 présente les éléments de base composant un système aquaponique ainsi qu'une configuration possible de celui-ci. Étant donné qu'il est possible de réaliser divers systèmes, deux modes opératoires différents ont été représentés. L'un concerne la valorisation des boues, l'autre leur séparation. D'autre part, le chapitre 3 s'intéresse au modèle expérimental développé en Slovénie et, pour conclure, à l'utilisation des structures modulaires flottantes végétalisées en aquaponie.

Dans le chapitre 4, un tableau répertorie les paramètres essentiels qui servent à évaluer la fonctionnalité et l'état de santé d'un système aquaponique de manière régulière. Chaque paramètre est accompagné d'une petite explication.

L'ensemble du système aquaponique, mais également le système de production végétale, peuvent être conçus de diverses manières. Le chapitre 5 cite trois méthodes différentes de production végétale, puis la figure 6 illustre tous les systèmes de culture hors-sol. Ensuite, ce chapitre énonce les avantages et les inconvénients de ce type de culture, après quoi il présente de manière plus détaillée certains systèmes de culture présents sur la figure 6.

Le dernier chapitre énumère les poissons et les cultures qui peuvent être utilisés dans les systèmes aquaponiques. Les avantages et les inconvénients de chaque poisson sont identifiés. La liste des cultures est basée sur les différents types de végétaux employés au cours des recherches ou expériences sur l'aquaponie.

L'annexe contient deux articles publiés au cours du projet AQUA-VET. L'un traite des systèmes aquaponiques multifonctionnels servant de laboratoires de recherche et de formation ; l'autre examine l'intégration de l'aquaponie dans les salles de classe comme moyen d'encourager une approche systémique.

2 Qu'est-ce que l'aquaponie ?

L'aquaponie est une polyculture qui conjugue aquaculture (pisciculture) et hydroponie (culture des végétaux dans l'eau recyclée des réservoirs à poissons). Elle vise principalement à faire pousser des végétaux en réutilisant les nutriments contenus dans la nourriture et les déjections de poissons. (Graber & Junge 2009 : 148-149, Rakocy et al. 2003 : 63, Lennard & Leonard 2006 : 539-540) L'aquaponie représente une technique de production plus propre. En effet, elle utilise les effluents et les boues issus de la pisciculture dans un système intégré de production de légumes/fruits et tire parti des nutriments résiduels. Les végétaux absorbent les nutriments soit provenant directement des excréments de poissons, soit après transformation de l'ammoniac en nitrites, puis en nitrates par les bactéries.

(Rakocy 2012 : 343) La nourriture des poissons permet d'apporter des nutriments aux végétaux de manière constante. Ainsi, nul besoin de verser ni de remplacer des solutions dépourvues de nutriments ou d'adapter les solutions tel que c'est le cas dans l'hydroponie. La rentabilité du système est accrue, car il n'est pas nécessaire d'acheter des engrais pour les cultures. (Rakocy 2006 : 2) Les avantages possibles de l'aquaponie sont (Diver 2006: 4; The Aquaponics Doctors 2012) :

- la préservation des ressources en eau et des éléments nutritifs des végétaux
- l'utilisation efficace d'une source de nutriments (nourriture des poissons)
- l'absence d'herbicides ou de pesticides chimiques
- la réduction des coûts d'exploitation (comparés à ceux de l'aquaculture ou de l'hydroponie)

De plus, les systèmes aquaponiques exigent moins de suivi de la qualité de l'eau que les systèmes hydroponiques individuels ou les systèmes d'aquaculture en circuit recyclé et occupent moins d'espace que les étangs ou les jardins. (Rakocy 2006 : 2) On estime que l'aquaponie est un futur mode de production alimentaire locale qui pourrait, par exemple, convenir à un environnement urbain doté de petites unités de production pour les habitations et les restaurants. Elle peut être aménagée sous différents climats, dans n'importe quel endroit et peut accroître la productivité de l'espace disponible. (Karlsdottir et al. 2012 : 3)

3 Vue d'ensemble du système aquaponique

Il existe diverses manières de concevoir un système aquaponique. Au final, le choix du système dépend des objectifs visés de la production. R3 exposera de manière plus détaillée le fonctionnement du système fabriqué. Ce paragraphe s'attache à présenter les divers éléments présents dans tous les systèmes aquaponiques.

L'aquaponie peut être considérée comme une forme particulière de système d'aquaculture en circuit recyclé. L'aquaponie étant la combinaison de l'aquaculture de poissons et de cultures en hydroponie, le système comporte un réservoir destiné à l'élevage des poissons. Les poissons sont nourris, puis ils excrètent leurs fèces et l'ammoniac issus du métabolisme dans l'eau. Les résidus de nourriture pour poissons génèrent également des nutriments dans l'eau. Toutefois, les fortes concentrations d'ammoniac sont toxiques pour les poissons. Par conséquent, les effluents du réservoir à poissons passent à travers un filtre qui élimine les solides en suspension ; ceci a pour effet de réduire le taux de matières organiques et d'empêcher l'engorgement des tuyaux et des racines des végétaux. Les bactéries nitrifiantes transforment l'ammoniac en nitrites, puis en nitrates, ce qui est relativement sans danger pour les poissons et constitue la forme d'azote la plus prisée pour la culture des végétaux tels que les légumes. (Rakocy 2006 : 1) Ce processus se déroule soit directement dans l'unité hydroponique, soit via un biofiltre séparé. Dans les deux cas, une surface va permettre la formation d'un biofilm (ex. : graviers, sable, argile expansée, support biofiltre). Les nutriments dissous (comme les nitrates) sont absorbés par les végétaux. Enfin, l'eau « traitée » s'écoule dans un réceptacle ou bassin collecteur puis repart vers le réservoir à poissons. (Rakocy 2012 : 345-346 ; Graber &

Junge 2009 : 147-149 ; Diver 2006 : 3) La figure 1 schématise ce processus. La figure 2 propose une configuration possible de système aquaponique de manière plus détaillée.

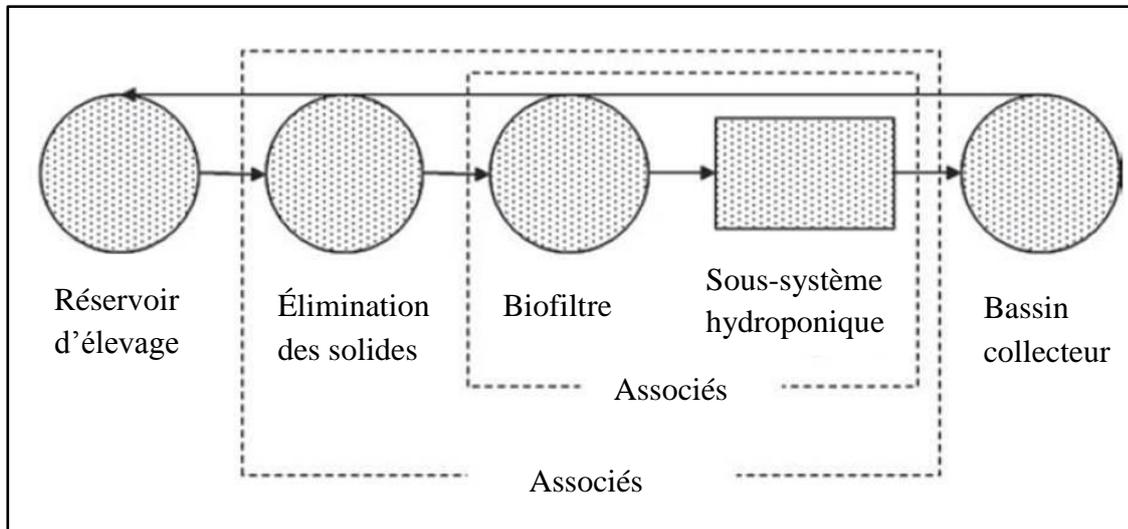


Figure 1 : éléments d'un système aquaponique (Rakocy 2012 : 346)

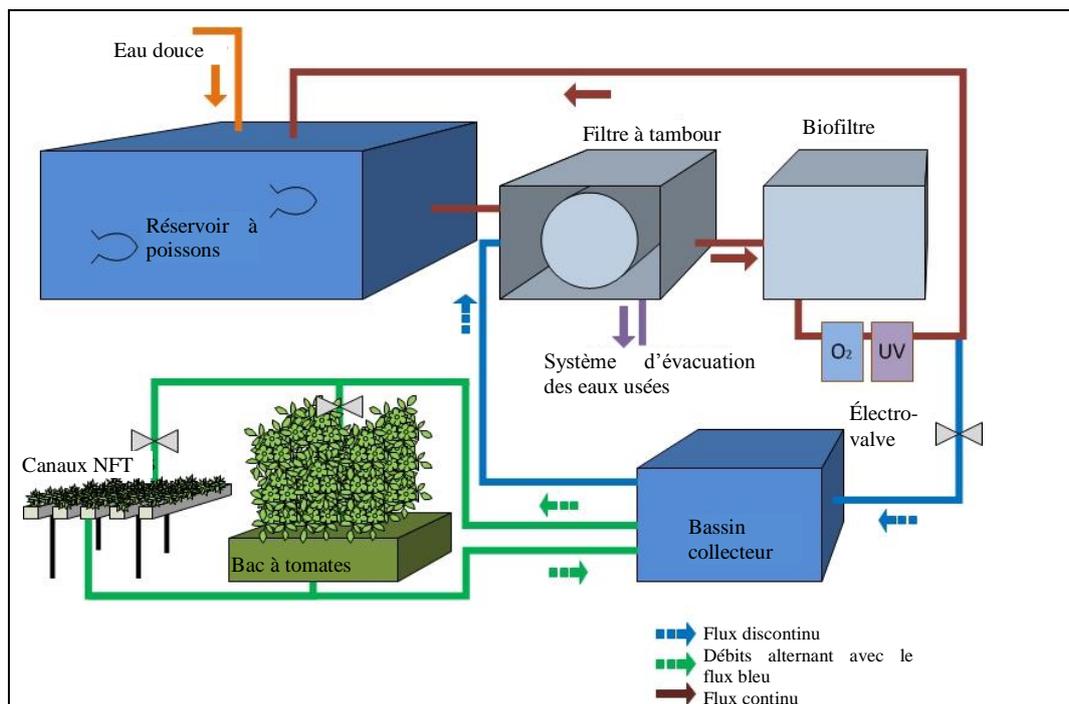


Figure 2 : configuration possible d'un système aquaponique

L'eau s'écoule du réservoir à poissons vers un filtre à tambour qui filtre les solides en suspension, puis les rejette. La nitrification s'effectue dans le biofiltre. Par la suite, il est possible de rajouter de

l'oxygène et d'avoir recours au rayonnement ultraviolet. L'eau circule en permanence entre le réservoir à poissons et les deux filtres. Au besoin, l'eau se dirige vers le bassin collecteur, puis vers les cultures. Elle retourne vers le bassin collecteur, le filtre à tambour et réintègre le circuit de l'eau entre le réservoir à poissons et les filtres.

Les différences indiquées ci-dessus apparaissent également dans les deux modes opératoires du système, à savoir la valorisation et la séparation des boues (figure 3).

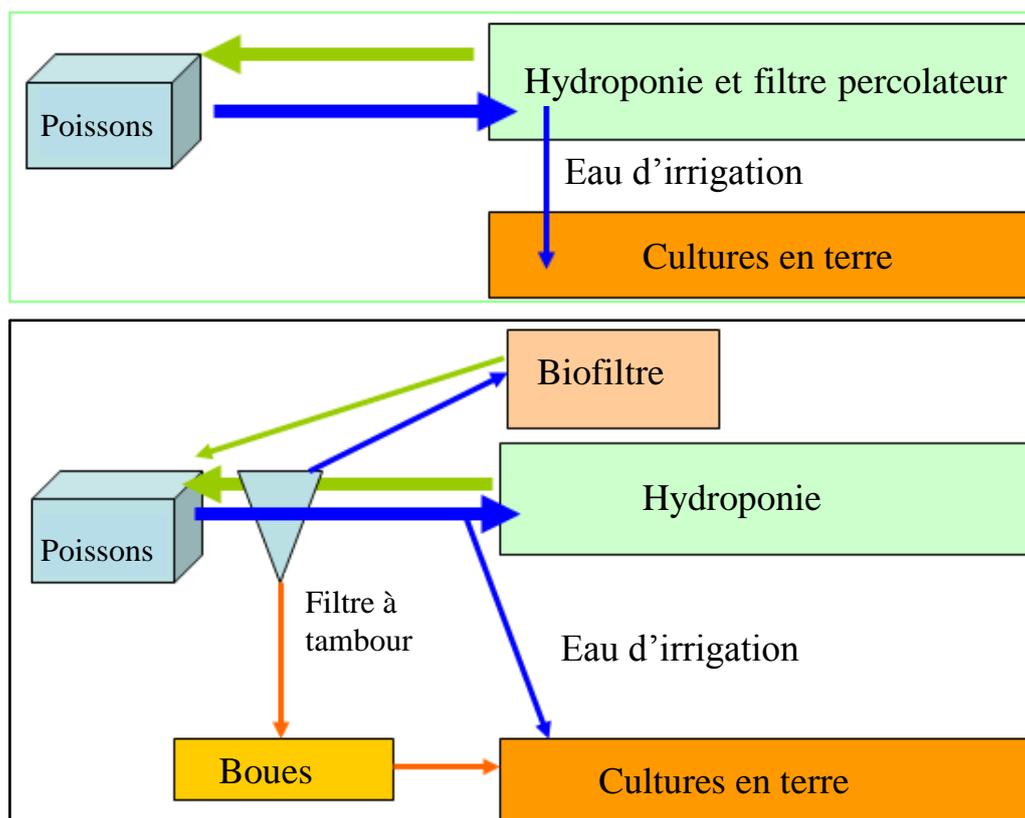


Figure 3. Dessus : système aquaponique avec valorisation des boues
Dessous : système aquaponique avec séparation des boues (Graber 2014).

Chaque mode présente des avantages et des inconvénients. La valorisation des boues permet un peuplement extensif pouvant atteindre 10 kg/m^3 ainsi qu'un recyclage complet des nutriments. Parmi les aspects négatifs du système, on note une eau trouble et un filtrage limité. Par contre, dans le système de séparation des boues, le peuplement intensif s'élève à 50 kg/m^3 . Ses points positifs sont : une eau claire, une teneur en D.B.O. (demande biochimique d'oxygène) plus faible, une charge microbienne également plus faible et un filtrage optimisé. Parmi ses points négatifs, on compte un recyclage seulement partiel des nutriments et l'ajout nécessaire d'une étape de traitement des boues (sur le site ou en dehors de celui-ci) telle que le lombricompostage (Graber 2014).

Le projet AQUA-VET offre un exemple de système aquaponique à l'essai. Griessler-Bulc et al. (2012) ont conduit une expérience en Slovénie. Son objectif était de réduire la pollution de l'eau dans un petit élevage de cyprinidés en détournant l'eau recyclée vers un système aquaponique. Ce circuit fermé consistait en une chaîne de traitement formée d'un décanteur lamellaire, d'un filtre dégrossisseur, d'une zone humide artificielle verticale comportant des tomates et d'un appareil à ultrasons. (Griessler-Bulc et al. 2012 : 1-2) Les auteurs partaient de l'hypothèse qu'un système composé de tels éléments « [...] pouvait retenir les solides en suspension et les nutriments dissous et empêcher la croissance des algues [...] ». (ibid. : 9) Les figures 4a et 4b montrent la disposition (4a) et la coupe transversale (4b) des différentes parties du système à l'essai.

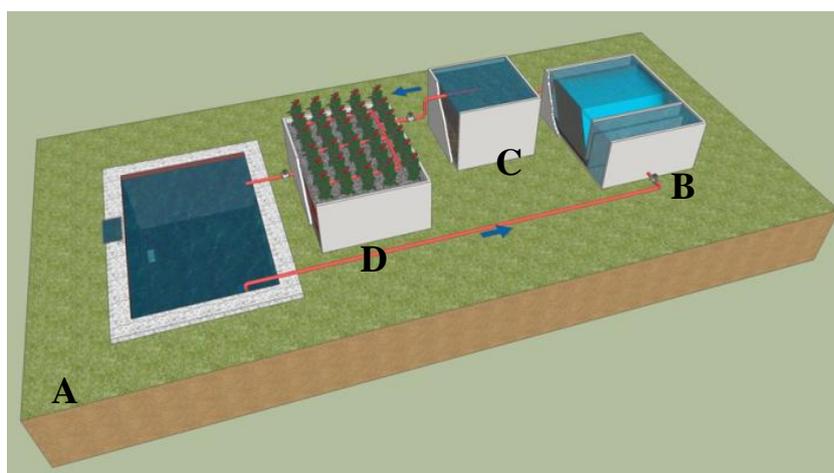


Figure 4a : configuration d'un système aquaponique expérimental en Slovénie (Griessler-Bulc et al. 2013)

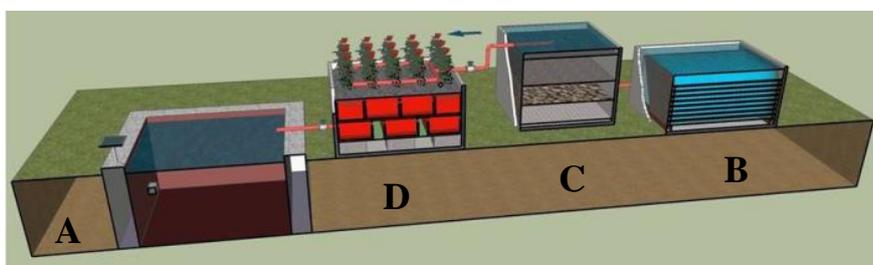


Figure 4 b : coupe transversale d'un système aquaponique expérimental en Slovénie (Griessler-Bulc et al. 2013)

L'eau part du réservoir à poissons (A), s'écoule vers le décanteur lamellaire (B), le filtre dégrossisseur (C), la zone humide artificielle verticale comportant des tomates (D) et retourne vers le réservoir à poissons. Le réservoir à poissons expérimental était équipé d'un dispositif d'aération et d'un détecteur à ultrasons. Près du bassin expérimental se trouvait un bassin de surveillance, non inclus dans le système en circuit recyclé (ibid. : 2-3). Le suivi des paramètres essentiels du système (voir également chapitre 4) a permis d'évaluer la performance du système. Les résultats ont démontré que le système a éliminé, et ce de manière efficace, tous les solides en suspension, la demande biochimique d'oxygène,

la demande chimique en oxygène, l'ammonium et la totalité du phosphore. Toutefois, les nitrates et les nitrites n'ont pas été éliminés de manière efficace. Les chercheurs ont conclu que, grâce à l'aquaponie, le secteur aquacole pouvait réduire ses besoins en eau ainsi que son utilisation des produits chimiques (ibid. : 9) excessifs. Pour obtenir des connaissances plus approfondies sur la croissance des algues par les ultrasons, se reporter à Krivograd Klemenčič et Griessler-Bulc (2010).

3.1 L'utilisation des structures modulaires flottantes végétalisées en aquaponie

Tel que le montrent Stefani et al. (2011) et Mietto et al. (2013), l'utilisation des structures modulaires flottantes végétalisées permet aussi de réduire la pollution de l'eau. La phytoremédiation flottante peut être réalisée avec les éléments flottants du système Tech-IA qui servent de supports pour les plantes. Le prototype Tech-IA, conçu et fabriqué par l'université de Padoue, en collaboration avec l'entreprise PAN s.r.l., est rectangulaire (90x50 cm) et pèse environ 2 kg (Figure 5). Ce système est composé d'un matériau recyclable, l'éthylène-acétate de vinyle (EVA). Il présente une haute résistance mécanique, une tolérance extrême aux produits chimiques, aux agents biologiques et climatiques et il peut tolérer des charges allant jusqu'à 20 kg. Chaque élément représente une structure fermée. Il est divisé en huit compartiments qui maintiennent les plantes et comprend six trous destinés à le fixer à d'autres éléments ou à la berge.

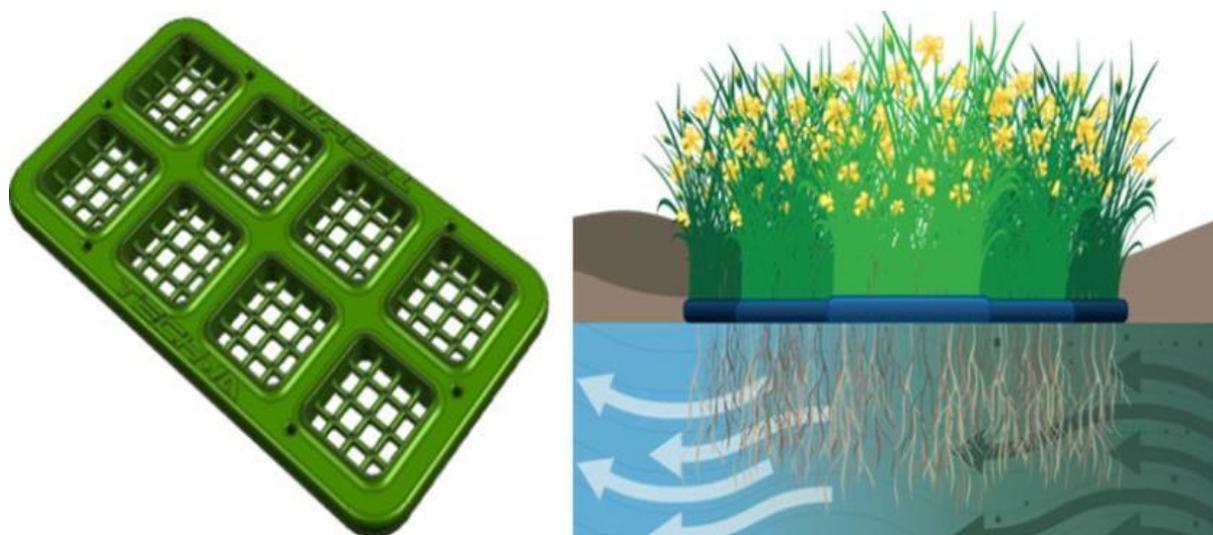


Figure 5 : élément flottant Tech-IA et sa mise en pratique (PAN 2014).

Ce système flottant permet à diverses espèces de macrophytes de pousser sur des plans d'eau. Elles absorbent les nutriments dissous et leur système racinaire subvient aux besoins des microorganismes qui vivent en symbiose avec les plantes. (De Stefani et al. 2011 : 158). En aquaponie, ces structures végétalisées peuvent également faire fonction d'éléments d'ombrage dans les réservoirs à poissons. En

Italie, des essais antérieurs concernant la reproduction des carpes ont révélé que la qualité de l'eau était meilleure et la croissance des poissons plus rapide dans le réservoir équipé du système Tech-IA (Figure 6).



Figure 6 : installation pilote interne pour la reproduction des carpes, avec et sans structures Tech-IA (Florio et al. 2014).

4 Paramètres essentiels d'un système aquaponique

Le tableau 1 énumère les paramètres importants qui devront faire l'objet d'un suivi régulier. Les commentaires devraient permettre de comprendre l'intérêt de chacun.

Tableau 1 : Paramètres essentiels d'un système aquaponique

Paramètres	Commentaires
Aliments pour poissons (g)	Apport de nutriments pour les poissons et les végétaux
Niveau d'eau	Assure le bon fonctionnement des pompes
Ajout d'eau	Compense l'évapotranspiration et les éclaboussures
Température de l'air	Influe sur la température de l'eau et la croissance des végétaux
pH	Diffère selon les espèces de poissons et les végétaux, est important pour leur survie
Température du réservoir d'eau	Importante pour la survie des poissons
Conductivité électrique	Indique la somme des concentrations ioniques, ex. : salinité
Oxygène dissous (O.D.)	Important pour la survie des poissons
Ammonium NH ₄	Pour s'assurer du fonctionnement du biofiltre
Nitrite NO ₂	Pour s'assurer du fonctionnement du biofiltre

Nitrate NO ₃	Mesure l'absorption des nutriments
Phosphate PO ₄	Mesure l'absorption des nutriments
Potassium K	Nécessaire à la croissance des végétaux (parfois déficitaire)
Apport d'hydroxyde de calcium	Maintient le pH à environ 7.0, apporte du calcium aux végétaux
Apport d'hydroxyde de potassium	Maintient le pH à environ 7.0, apporte du potassium aux végétaux
Lumière pour les réservoirs à poissons	De préférence, peu ou pas de lumière pour les réservoirs à poissons afin d'éviter la croissance des algues indésirables (lesquelles, entre autres, sont susceptibles de donner mauvais goût aux poissons). Méthode alternative : réservoirs recouverts par des éléments végétalisés flottants.
Lumière pour les végétaux	Ils nécessitent autant de lumière que possible.
État de santé des poissons	
État de santé des végétaux	
Croissance de la biomasse (poissons et cultures)	

(Illustration personnelle. Informations tirées de Graber & Junge 2009 : 149-154 ; Lennard & Leonard 2006 : 543; Rakocy 2012 : 352 ; Palm et al. 2014 : 21 ; De Stefani et al. 2011 : 158 ; Rakocy 2006 : 2-11)

Le chapitre 3 présentait le système expérimental slovène de Griessler-Bulc et al. (2013) pour lequel les chercheurs ont mis au point une méthode de suivi. Celle-ci est représentée sur la figure 5. Le schéma indique les paramètres mesurés en six points d'échantillonnage (en bleu), soit deux fois par jour, soit toutes les semaines.

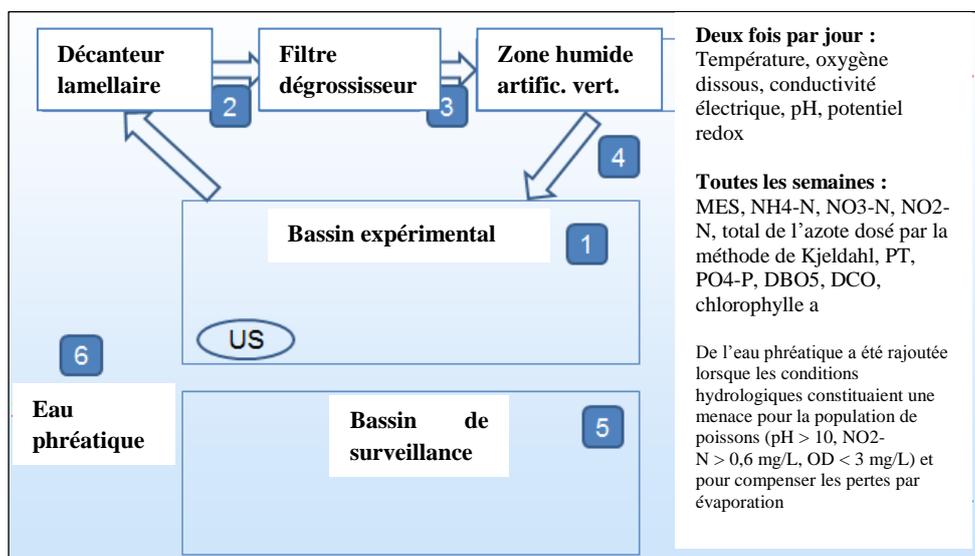


Figure 7 : méthode de suivi pour le système aquaponique en Slovénie (Griessler-Bulc et al. 2013).

5 Systèmes de production végétale

Rakocy (2012 : 373) distingue trois systèmes de production végétale : la culture échelonnée, la culture en discontinu et la culture associée. Dans la culture échelonnée, les végétaux présentant différents stades de développement sont cultivés en même temps. Par conséquent, les récoltes sont régulières et les nutriments présents dans l'eau sont utilisés en permanence. Par contre, dans la culture en discontinu, l'ensemble de la production est récolté au même moment, puis la culture sera cultivée de nouveau ultérieurement (Rakocy 2012 : 373 ; Rakocy et al. 2003 : 65). Enfin, la culture associée suppose qu'au minimum deux cultures différentes soient plantées et cultivées en même temps. L'absorption de nutriments et les récoltes sont étalées dans le temps en raison des rythmes de croissance différents des végétaux et des fruits.

Il est également possible d'établir une distinction entre les diverses formes de cultures hors-sol. La figure 8 offre un aperçu de ces différents types.

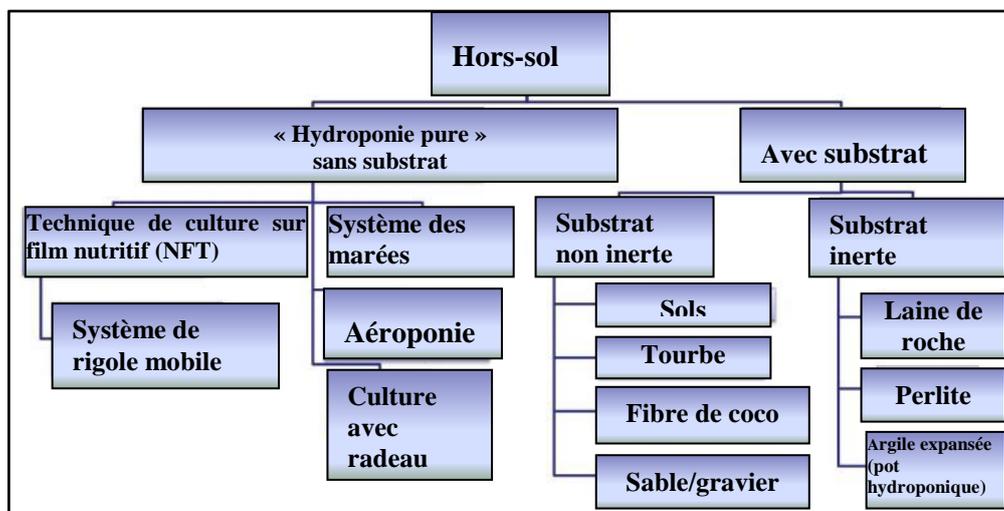


Figure 8 : différents types de cultures hors-sol (Junge 2014, Baumann comm. pers.)

Mathis (2014 : 15-16) résume les avantages et les inconvénients de la culture hors-sol. Les avantages comprennent :

« la préservation de l'eau et des nutriments → réduction de la pollution des sols et des ruisseaux par les produits chimiques qui ne devraient pas s'éparpiller dans la nature ; possibilité de cultiver des cultures là où le sol est soit inapproprié aux cultures, soit contaminé, par exemple par des maladies de plantes ; importante élimination du travail de tallage, de culture, de fumigation, d'arrosage et d'autres pratiques ; rentabilité maximum possible, d'où un système économiquement réalisable dans les zones rurales chères et à forte densité ; éradication des maladies telluriques des végétaux dans des systèmes fermés et réduction des volumes des eaux usées grâce aux systèmes recyclés. »

Toutefois, il existe aussi des inconvénients :

« coûts de réalisation par zone relativement élevés ; nécessité d'avoir recours à un personnel bien formé. Connaissances approfondies en nutrition et croissance des végétaux ; dans un circuit fermé, les maladies telluriques et les nématodes peuvent se propager rapidement vers tous les lits du réservoir de nutriments ; travailler avec des variétés végétales adaptées à des conditions de croissance contrôlées suppose des travaux de recherche et développement ; les végétaux réagissent rapidement à une nutrition de bonne ou de mauvaise qualité. Le producteur doit surveiller les végétaux tous les jours. »

Lennard et Leonard (2006) ont comparé trois sous-systèmes hors-sol les plus couramment utilisés - lit de gravier, radeau flottant et technique de culture sur film nutritif (*Nutrient film technique* ou *NFT* en anglais) - dans les systèmes aquaponiques qui intègrent des morues de Murray (*Maccullochella peellii*) et des laitues (*Lactuca sativa*). Selon les auteurs, chaque sous-système présente certains avantages. Le sable/gravier peut filtrer les solides et servir de substrat aux bactéries nitrifiantes, rendant de ce fait l'utilisation d'un biofiltre indépendant inutile. La technique de culture sur film

nutritif a l'avantage d'être peu onéreuse, facile à réaliser et de bénéficier d'une structure plus légère que les deux autres options. (Lennard & Leonard 2006: 540) L'objectif de cette étude était de savoir si l'un de ces sous-systèmes permettait de mieux extraire les nutriments, économiser de l'eau et d'obtenir de meilleurs rendements végétaux ainsi qu'une meilleure croissance des poissons. S'agissant de l'élimination de l'azote, la NFT s'avère moins efficace que le lit de gravier ou les radeaux flottants. Par contre, quel que soit le cas, les poissons se sont développés de manière identique. Les chercheurs en ont conclu que la NFT pouvait constituer un bon choix de sous-système aquaponique, car il se traduit par des coûts d'investissement moindres et, tel que déjà mentionné ci-dessus, il est facile à gérer et à réaliser. Néanmoins, lors de la conception du système, il convient de prendre en compte que la NFT élimine moins bien les nutriments. (ibid. : 547-549)

Mathis (2014 : 19-29) livre un aperçu des différents systèmes de production hydroponiques et aquaponiques ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Certains d'entre eux ont également été testés à l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW, PO) à Wädenswil.

Système flottant / système de radeau / culture en eau profonde

Le système du radeau flottant est largement utilisé en hydroponie et en aquaponie. Sa construction simple et son unité hydroponique présentent des avantages par rapport aux autres méthodes. Ce système offre également un excellent tamponnage de l'eau, des nutriments et présente peu de risques de production. Toutefois, il est nécessaire d'apporter de l'oxygène supplémentaire lorsque l'eau coule trop lentement, ce qui représente un des aspects négatifs du système. La matière organique peut entraîner l'engorgement du système. De plus, les algues se propagent si la surface de l'eau n'est pas totalement recouverte. Par ailleurs, les pompes fonctionnent pratiquement en continu et l'équipement est onéreux. (Mathis 2014 : 19-20)

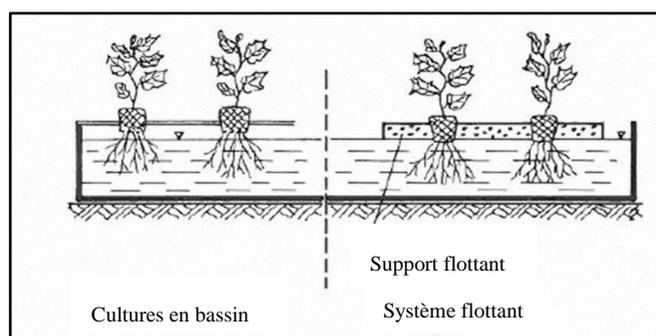


Figure 9 : radeaux de chou chinois (source : <http://theolleys.wordpress.com>)

Systèmes utilisant la technique de culture sur film nutritif (NFT)

Les systèmes utilisant la technique de culture sur film nutritif, ou systèmes NFT, conviennent particulièrement bien à l'aquaponie. Leur réalisation est peu coûteuse et ils représentent un investissement à peu de frais. Certains risques sont associés à la NFT. Par exemple, selon le diamètre des capillaires d'irrigation et la conception des rigoles de ruissellement, ces dernières peuvent s'obstruer ce qui peut conduire à la défaillance du système d'irrigation. L'inclinaison de la pente doit être au minimum de 2% et le débit de l'eau de 2 l par minute et par rigole. (Mathis 2014 : 21-22)

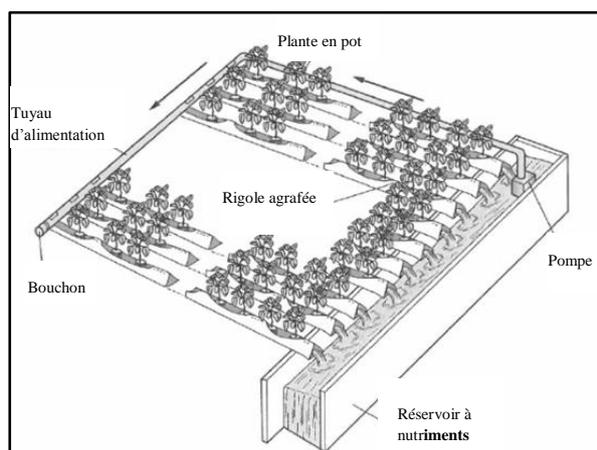


Figure 9 : rigoles de ruissellement NFT et réservoir à nutriments (source : Resh 2013)



Figure 10 : système NFT (source : ZHAW)

Aéroponie

L'aéroponie est, dans une certaine mesure, adaptée à l'aquaponie. Le système d'irrigation peut défaillir et ainsi compromettre inévitablement la production. Suivant le diamètre de ses capillaires d'irrigation et sa durée de fonctionnement, il est possible que le système s'engorge. Par ailleurs, l'équipement est coûteux, mais la production de déchets est pratiquement nulle. (Mathis 2014 : 23-24)

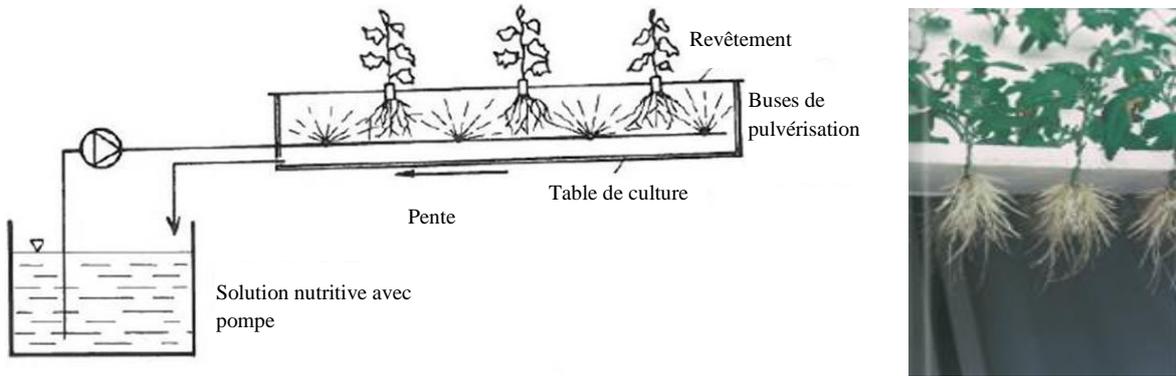


Figure 12 : système aéroponique (source : Göhler & Molitor 2002)

Culture en sacs

À l’instar de l’aéroponie, la culture en sacs est, dans une certaine mesure, adaptée à l’aquaponie. Les risques de production sont faibles, car l’unité de culture hydroponique est déjà mise au point. Néanmoins, il peut y avoir un risque d’obturation si les filtres ne fonctionnent pas convenablement. Si l’eau est suffisamment renouvelée, la structure du support devra permettre un drainage suffisant ainsi qu’un écoulement de l’eau en continu. En outre, l’équipement coûte cher et l’irrigation est commandée par un système informatique. (Mathis 2014 : 25-26)

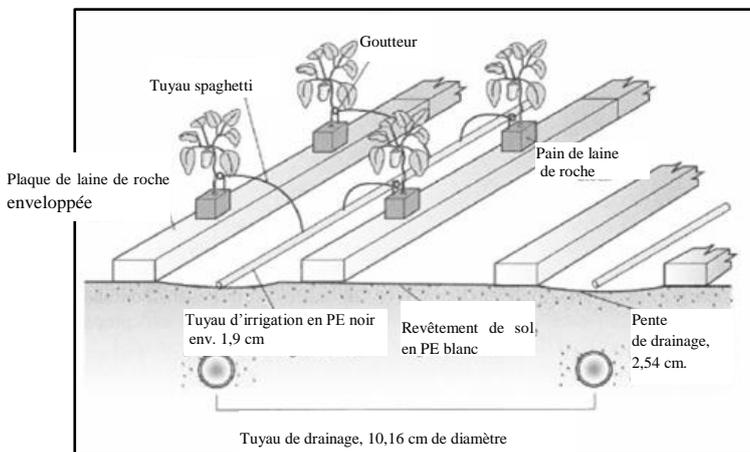


Figure 13 : culture sur pains de laine de roche Grodan (Source : Resh 2013)



Figure 14 : culture sur pains de laine de roche Grodan ou fibre de coco (Source : ZHAW)

Système à marée

En aquaponie, il est également possible d'utiliser les systèmes à marée. Les risques de production sont limités en raison du tamponnage de l'eau et des nutriments dans le pot. Le risque d'obturation est faible et le renouvellement de l'eau limité. Le système d'irrigation et les tables sont coûteux si on utilise des vannes. (Mathis 2014 : 27-28)

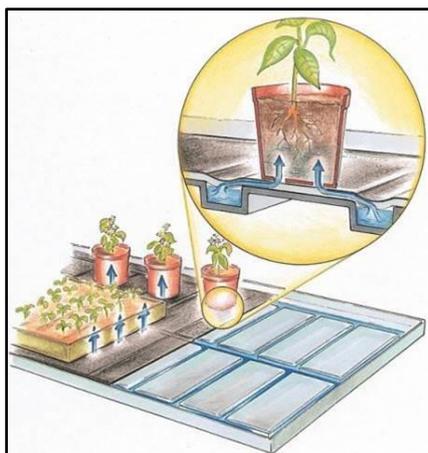


Figure 15 : système des marées (source : www.kriegergmbh.de/Gewaechshauszubehoer/Bewaesserungswanne-1)

Autres cultures hors-sol composées de substrats différents

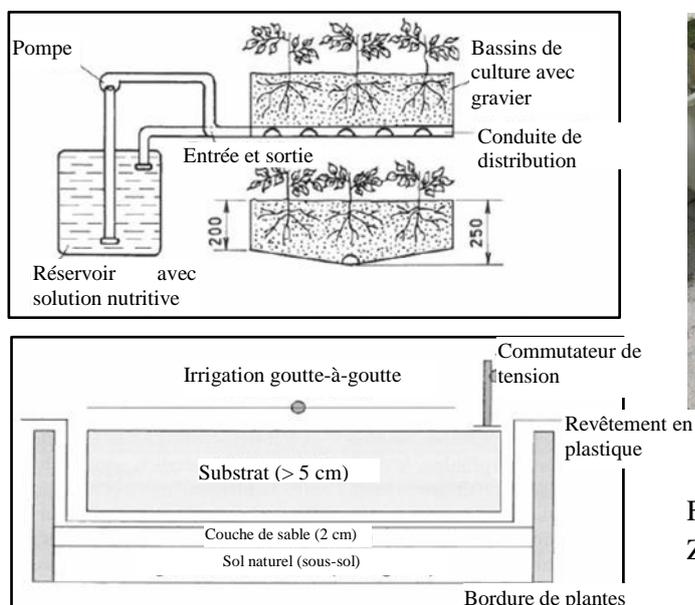


Figure : culture avec perlite (source : ZHAW)

Figure 16 : Système de lit avec support de gravier (source : Göhler & Molitor 2002)

6 Poissons et cultures adaptés

Tableau 2 : liste de poissons adaptés à l'aquaponie (Rod 2014).

Espèces	Avantages	Inconvénients
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Le tilapia est un poisson robuste qui se développe très vite dans de bonnes conditions. Cette espèce omnivore possède un régime alimentaire très varié et peut se nourrir également de sources de protéines végétales.	C'est un poisson d'eau chaude qui requiert des températures d'eau élevées. Ce poisson est peu consommé en Europe. Ce n'est pas un produit de masse compétitif sur le marché. Par conséquent, il est utilisé dans des secteurs fonctionnant dans des conditions bien spécifiques (serres tropicales, aquaponie).
Carpe koï (<i>Cyprinus carpio</i>)	Un poisson robuste à la croissance rapide. Omnivore, il peut donc bénéficier d'un régime alimentaire très varié (protéines végétales). Il peut aussi bien se développer dans les eaux chaudes que dans les eaux froides.	Ce n'est pas toujours un poisson des plus appréciés par les consommateurs. Son prix sur le marché est relativement bas. De plus, comparée à d'autres poissons, la carpe nécessite de grands volumes d'eau et endommage les végétaux si elle parvient à s'en approcher.
Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Une truite relativement robuste. Cette espèce est largement utilisée en pisciculture. Il existe des produits alimentaires et des dispositifs techniques qui lui sont bien adaptés. Elle présente un bon indice de consommation et sa reproduction artificielle est fiable. Elle se vend bien.	Sa demande en oxygène est relativement élevée et sa température maximale est proportionnellement faible (eau froide). Se nourrit principalement de protéines animales.
Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)	Se développe bien dans de bonnes conditions. Son tempérament est calme.	N'est pas encore (largement) utilisé en aquaculture. Reproduction artificielle non fiable et peu d'alternatives en matière de produits alimentaires et d'infrastructures techniques. Nécessite un développement en eau chaude et une grande quantité de protéines animales pour se nourrir.

Tableau 3 : liste de cultures susceptibles d'être utilisées en aquaponie

Culture	Utilisé dans l'étude
Salade	Lennard & Leonard 2006; Rakocy 2012 : 359 ; Palm et al. 2014
Concombres	Graber & Junge 2009 ; Palm et al. 2014
Tomates	Griessler-Bulc et al. 2012 ; Graber & Junge 2009 ; Palm et al. 2014
Aubergine	Graber & Junge 2009 ; Palm et al. 2014
Piment	Palm et al. 2014
Basilic	Rakocy et al. 2003 ; Palm et al. 2014
Herbes culinaires	Mathis 2014 ; Palm et al. 2014
Micro-verdure	Mathis 2014

7 Références & sources

De Stefani, G., Tocchetto, D., Salvato, M. et M. Borin (2011) : "Performance of a floating treatment wetland for in-stream water amelioration in NE Italy" *Hydrobiologia*, 674 (1), 157-167.

Diver, S. (2006) : "Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture." URL : http://www.extension.org/mediawiki/files/2/28/Hydroponics_with_Aquaculture.pdf [accès : 04.07.14].

Florio, G., Arnosti, C., Breschigliaro, S., Bortolini, L. Met. Borin (2014) : "Preliminary results of a floating wetland system in carps breeding" *présenté à la 3e Conférence avec participation internationale, conférence VIVUS sur l'agriculture, l'environnementalisme, l'horticulture, la botanique, la transformation et la production alimentaires, la nutrition, « transmission des innovations, des connaissances et des expériences pratiques dans la pratique quotidienne », 14 et 15 novembre 2014, centre biotechnique Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenie.*

Göhler, F. et H.-D. Molitor (2002) : *Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau*, Stuttgart: Ulmer.

Graber, A. (2014) : Aquaponics engineering and operation management. Présentation pour le séminaire Aquavet II , 25 mars 2014, Wädenswil. Non publié.

Graber, A. et R. Junge (2009) : "Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production" *Desalination*, 246 (1-3), 147-156.

Griessler-Bulc, T., Krivograd Klemenčič, A., Kompare, B. et K. Jarni (2013) : Innovative Aquaponic Technologies for Water Reuse in Cyprinid Fish Farms. Présentation pour la réunion et le séminaire I du consortium Aquavet, 11-13 février 2013, Wädenswil. Non publié.

Griessler-Bulc, T., Šajn-Slak, A., Kompare, B., Jarni, K. et A. Krivograd Klemenčič (2012): Innovative Aquaponic Technologies for Water Reuse in Cyprinid Fish Farms. BALWOIS 2012 – Ohrid, République de Macédoine – 28 mai, 2 juin 2012.

Junge, R., Mathis A., Graber A. (2014) : Building integrated food production. Présentation pour le 4e colloque international ZEBISTIS, 8 avril 2014, Bundang. URL : http://www.zebistis.ch/images/documents/workshop4/ZEBISTIS_WS4_Presentation11.pdf [accès : 28.08.14].

Karlsdottir, S.K., Homme, J.M. et R. Bjornsdottir (2012) : “Aquaponics – Grønn vekst” Projet NORA No 510-072, rapport final du projet. URL : http://www.nora.fo/fileadmin/user_upload/files/13/20121024112120176.pdf [accès : 28.08.14].

Krivograd Klemenčič, A. et T. Griessler-Bulc (2010) : The efficiency of ultrasound on algal control in a closed loop water treatment system for cyprinid fish farms. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(5 A), 919-931.

Lennard, W.A. et B.V. Leonard (2006) : “A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system” *Aquaculture International*, 14 (6), 539-550.

Mathis, A. (2014) : Aquaponic from the viewpoint of a crop cultivator. Présentation pour le séminaire Aquavet II, 28 mars 2014, Wädenswil. Non publié.

Mietto, A., Borin, M., Salvato, M., Ronco, P. et N. Tadiello (2013) : “Tech-IA floating system introduced in urban wastewater treatment plants in the Veneto region – Italy” *Water Science & Technology*, 68 (5), 1144-1150.

Palm, H.W., Seidemann, R., Wehofsky, S. et U. Knaus (2014) : “Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part I: system design, chemo-physical parameters and general aspects” *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation. International Journal of the Bioflux Society*, 7 (1), 20-32.

PAN s.r.l. (2014) : Tech-IA floating systems installation. URL : <https://sites.google.com/site/panspinoff/home> [accès : 04.05.14].

Rakocy, J.E. (2012) : “Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture” in : Tidwell, J.H. (Ed.): *Aquaculture Production Systems*. Ames : John Wiley & Sons, 343-386.

Rakocy, J.E., Masser, M.P. et T.M. Lesordo (2006) : “Recirculating Aquaculture Tank Production Systems : Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture” *Southern Regional Aquaculture Center*, Publication No. 454. URL : <http://ces3.ca.uky.edu/westkentuckyaquaculture/Data/Recirculating%20Aquaculture%20Tank%20Production%20Systems/SRAC%20454%20Recirculating%20Aquaculture%20.pdf> [accès : 28.08.14].

Rakocy, J.E., Schultz, R.C., Bailey, D.S. et E.S. Thoman (2003) : “Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System” *Acta Horticulturae (ISHS)*, 648, 63-70. URL : http://uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/AES/Aquaculture/Tilapia_and_Basil.pdf [accès : 04.07.14].

Resh, H.M. (2013) : *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*, 7th Edition, Boca Raton: CRC Press.

Rod, R. (2014) : Fish. Présentation pour le séminaire Aquavet II, 28 mars 2014. Non publié.

The Aquaponics Doctors (2012): Why Aquaponics? URL : <http://www.theaquaponicsdoctors.com/why-aquaponics.php> [accès : 04.07.14].

8 Annexe

8.1 Aquaponic in classrooms as a tool to promote system thinking. Article rédigé par Junge et al.

8.2 The multifunctional aquaponic system at zhaw used as research and training lab. Article rédigé par Graber et al.