

# L'aquaculture intégrée multi-trophique (AIMT) Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)

**Sylvain Gilles**

*Bureau d'études Expertises Aquacoles Tropicales, EAT, 214 rue de Sicile, 34080, Montpellier*

Correspondance :  
[sylvain.gilles@ird.fr](mailto:sylvain.gilles@ird.fr)

## Résumé

L'aquaculture intégrée multi-trophique, ou AIMT, est l'objet d'un intérêt croissant aussi bien de la part des producteurs que des chercheurs. Elle est dite circulaire en référence à l'économie ainsi nommée, qui consiste à recycler les déchets liés à son activité. Ce concept implique une variété de systèmes d'élevage dont nous faisons l'inventaire. Nous verrons que la complémentarité bactéries/algues y est fondamentale selon le rôle plus ou moins important joué par la photosynthèse. Cette aquaculture est pratiquée aussi bien en eau douce que marine ou saumâtre.

## Abstract

Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) is a subject of growing interest in the world of aquaculture, in terms of both research and production. The term "circular" refers to the economy of recycling waste. This concept implies a variety of farming systems, which we will now take stock of. We'll see that the bacteria/algae complementarity is fundamental, depending on

the more or less important role played by photosynthesis. This kind of aquaculture is practiced in fresh, marine or brackish water.

## Mots clés

aquaculture, déchets, bactéries, algues.

## Keywords

aquaculture, waste, bacteria, algae

## Définition, fonctionnement

L'aquaculture intégrée multi-trophique (AIMT) combine, au sein d'un même système de production, différentes espèces complémentaires, végétales et animales, appartenant chacune à un maillon d'une chaîne alimentaire, ou trophique (Troell, 2009 ; Granada *et al.*, 2015 ; Neori *et al.*, 2017). Les poissons et les crevettes retiennent seulement 20 à 30 %

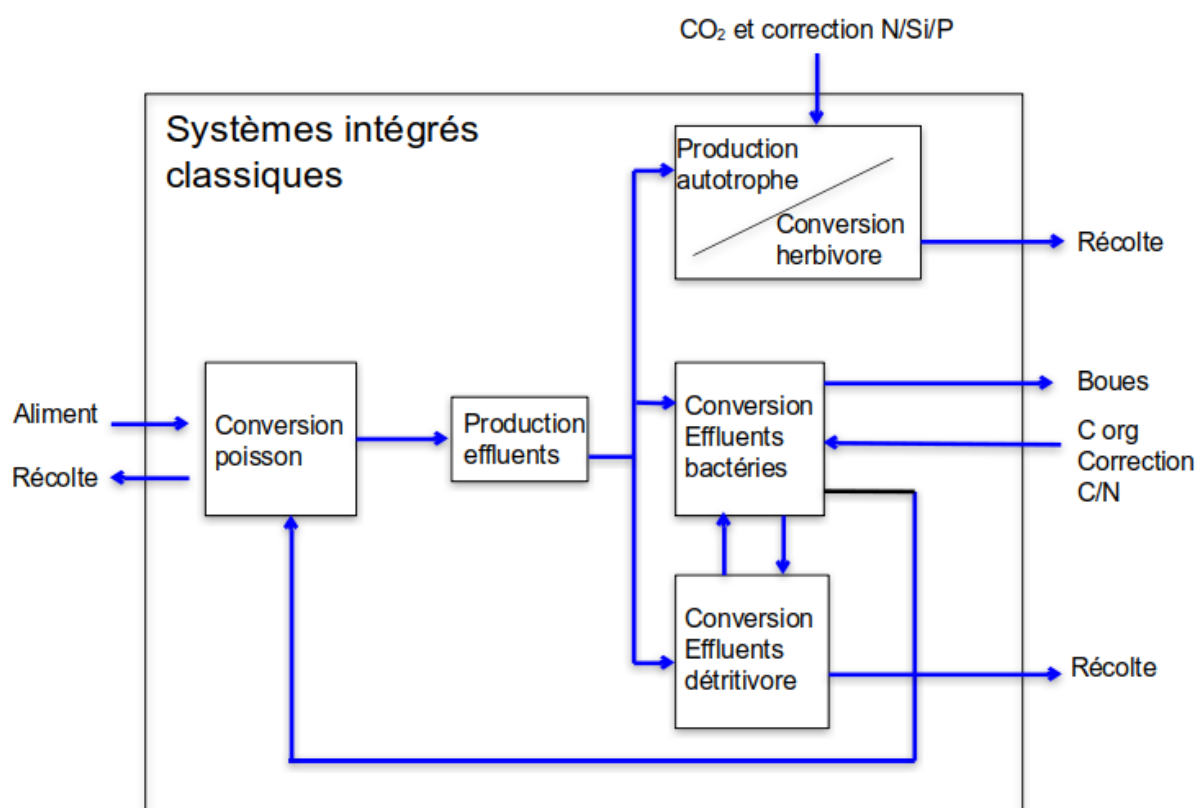


Figure 1. Concept du système intégré illustrant les flux de macronutriments (N et P), et identifiant les cinq modules possibles d'une aquaculture intensive intégrée (projet ZAFIRA, Schneider et al., 2005).

des nutriments contenus dans l'aliment qu'ils reçoivent (Avnimelech et Ritvo, 2003). Ainsi les effluents produits par leur excrétion, sous forme de dérivés azotés (urines), toxiques pour les animaux élevés, et phosphorés, servent de nutriments à des bactéries et des végétaux macroscopiques ou microscopiques qui sont ensuite ingérées par des consommateurs primaires (zooplancton, mollusques), inclus dans l'écosystème artificiel mis en place. Ces derniers font l'objet d'une sous-production ou sont consommés par des consommateurs secondaires (crustacés, poissons). Ainsi l'AIMT épure le milieu des effluents d'élevage toxiques tout en contribuant à apporter un complément alimentaire, notamment protéique, aux animaux élevés.

L'AIMT a été initialement conceptualisée en milieu

ouvert autour de cages flottantes piscicoles à partir des effluents qui en sortent à travers les mailles des poches en filet (Chopin *et al.*, 2001). L'inconvénient de cette approche réside dans la difficulté à éviter la dispersion, dans le milieu naturel, des effluents qui ne sont pas intégralement utilisés par les producteurs primaires ciblés. Puis elle a été appliquée en milieu fermé, en bassins avec recyclage de l'eau (Neori *et al.*, 2004, 2017 ; Roel et Veerdegem, 2011 ; Wilfart *et al.*, 2020) ou en circuits fermés hors sol (Metaxa *et al.*, 2006 ; Muangkeow *et al.*, 2011). De cette façon, il est possible de maîtriser l'utilisation des effluents d'élevage dans chaque maillon de la chaîne trophique (Figure 1), en rapport avec le degré de recyclage de l'eau et des sédiments. Les risques de développement d'organismes pathogènes diminuent en raison

**Note de synthèse**

Tableau 1. La croissance des algues augmente inversement à leur taille, car elle est liée au rapport entre la surface de leur membrane utile aux échanges avec le milieu extérieur et le volume de leur milieu intérieur. L'absorption des nutriments et du carbone inorganique (CO<sub>2</sub>) s'en trouve facilitée. Les algues planctoniques sont d'autant plus efficaces qu'elles occupent la totalité du volume d'eau (Hargreaves, 2006).

Morphologie	Dimensions	Surface/Volume	Exemple	Croissance (% par jour)
Petite sphère planctonique	10 µm	150 000	<i>Tretraselmis suecia</i>	51
Feuille mince	2 cm x 5 cm x 80 µm	25 000	<i>Porphyra spp</i> <i>Ulva spp</i>	25
Feuille charnue	2 cm x 5 cm x 500 µm	4 100	<i>Gracilaria</i>	10

de l'isolement de l'élevage et de la concurrence entre micro-organismes au sein de l'écosystème artificiel qui contribue à un apport de pro-biotiques (Verschuere, 2000). La productivité de l'AIMT est équivalente à celle de l'aquaculture classique lorsque l'espèce ciblée alimentée, dite de nourrissage, est carnivore ou omnivore (Gilles *et al.* 2014). En revanche le recyclage de l'azote et du phosphore permet des économies en apports protéiques importantes quant à l'alimentation exogène et une production secondaire d'animaux filtreurs ou détritvovores. Un cortège de bactéries et de végétaux prend en charge les effluents solides (fèces, aliment exogène non consommé) et solubles (urine) pour les intégrer à l'écosystème. La dégradation de la matière organique doit être réalisée en aérobie afin d'éviter les pertes en azote sous forme gazeuse ; pour cela l'action complémentaire d'animaux détritvovores et bioturbateurs (Ritvo *et al.*, 2004), fousseurs du sédiment, est une plus-value (Avnimelech *et al.*, 1999). Selon l'importance accordée à la photosynthèse, au sein des systèmes d'élevage, l'action des bactéries vis-à-vis de celle des végétaux est variable. La capacité qu'ont les algues d'incorporer le carbone inorganique (CO<sub>2</sub>) issu de la respiration, dissous dans l'eau (formes H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), et les nitrates, contrairement aux bactéries, constitue un avantage. Cette capacité dépend de leur taille et

leur morphologie qui influe directement sur leur croissance (Tableau 1).

**L'aquaponie**

L'aquaponie combine un élevage de poissons dans un circuit fermé en eau claire et douce, et une production de légumes destinés essentiellement à la consommation humaine, en structures hors-sol selon la technique de l'hydroponie (Ibrahim *et al.*, 2023). Le principe est d'utiliser l'eau, chargée en effluents, issue des bacs d'élevage, pour irriguer les plantes cultivées et leur apporter les nutriments nécessaires à la croissance. Des bactéries aérobies (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) implantées sur un filtre biologique transforment l'urine des poissons, sous forme d'ammoniaque, en nitrates directement assimilables par la végétation. Ces bactéries sont dites chimio-autotrophes, car elles assimilent des éléments minéraux azotés pour leur croissance.

En revanche, la valorisation des effluents solides, constitués de matière organique, en sortie d'un filtre mécanique est plus délicate. Pour être « utiles », ils doivent faire l'objet d'une dégradation bactérienne hétérotrophe aérobie (ammonification) qui nécessite un surplus d'énergie indispensable à l'oxygénation du milieu par aération. Un apport complémentaire

*Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*  
*Academic Notes from the French Academy of Agriculture*  
 (N3AF)  
**Note de synthèse**

*Tableau 1. Avantages et inconvénients de la TBF comparée aux bassins semi-intensifs classiques et aux circuits fermés au sens large (Hargreaves, 2013).*

	<b>Bassins</b>	<b>Circuits fermés</b>
<b>Avantages</b>		
Amélioration de la sécurité de l'élevage	✓	
Amélioration de la conversion de l'aliment	✓	✓
Amélioration de l'utilisation de l'eau	✓	
Augmentation de l'efficacité de l'occupation de l'espace	✓	
Amélioration du contrôle de la qualité de l'eau	✓	
Réduction la sensibilité aux fluctuations de la lumière solaire	✓	
<b>Inconvénients</b>		
Augmente les besoins en énergie pour l'aération et le brassage	✓	✓
Réduit le temps d'intervention en raison du taux de respiration élevé du milieu	✓	✓
Période de démarrage requise	✓	
Augmente l'instabilité de la nitrification		✓
Nécessité de maintenir une alcalinité élevée	✓	
Augmente les risques de pollution liée à l'accumulation des nitrates	✓	
Variations saisonnières de l'efficacité des systèmes dépendant de la lumière solaire		✓

en oligo-éléments (N, Si) dans l'eau d'irrigation (Figure 1) est nécessaire. L'eau non consommée par les plantes, épurée des nitrates, retourne dans le volume d'élevage.

### **La technologie bio-floc**

La technologie bio-floc (TBF) connaît un fort engouement depuis deux décennies (Avnimelech, 2007 ; Castro-Nieto *et al.*, 2012 ; Emerenciano *et al.*, 2013 ; 2015 ; 2017 ; Cardona, 2015 ; Mugwanya *et al.*, 2021 ; Nisar *et al.*, 2022). Elle est destinée à élever dans un volume unique des animaux filtreurs, à l'origine, des crevettes pénéides en eau de mer (Blancheton *et al.*, 1987 ; Hopkins *et al.*, 1993 ; Browdy *et al.*, 2014 ; Nisar *et al.*, 2022), puis des tilapias en eau douce ou saumâtre (Avnimelech, 2007 ; Ogello *et al.*, 2014 ; Caipang et Avillanosa, 2019), enfin des carpes, des silures (Becerril-Cortés *et al.*, 2017) et des anguilles (Vinatea *et al.*, 2023). Dans ce volume

sont remis en suspension les effluents solides (fèces) et l'aliment non consommé sous forme de floculats à l'aide d'un fort bullage provenant d'une soufflante d'air à basse pression (Avnimelech *et al.*, 1994). Un des avantages est la faible consommation d'eau, seules les pertes liées à l'évacuation des excédents de matière organique sédimentée (boues) et à l'évaporation sont compensées (Burford *et al.*, 2003). Les floculats, composés de matière organique associée à des bactéries, des micro-algues et du zooplancton, permettent une économie en protéines dans l'aliment exogène de l'ordre de 50 % avec un taux d'alimentation moyen de 2 % par jour (Avnimelech, 2007). La matière organique mise en suspension est consommée par des bactéries hétérotrophes en aérobiose (Jamal *et al.*, 2020 ; Wasave *et al.*, 2020 ; Padeniya *et al.*, 2022). Ces dernières utilisent l'oxydation du carbone organique en CO<sub>2</sub> comme source d'énergie et excrètent de l'azote

## Note de synthèse

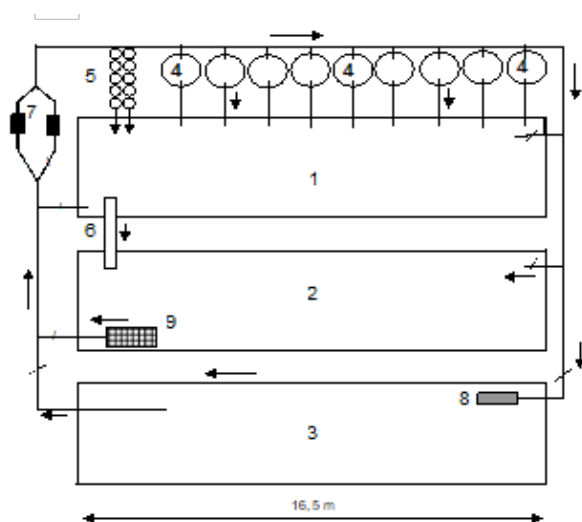


Figure 2. Schéma et photographie du prototype installé sur le centre IRD de Mbour au Sénégal : 1 et 2 bassins de lagunage, 3 bassin dédié à croissance du zooplancton, 4 bacs de grossissement, 5 bacs d'alevinage, 6 écoulement entre les bassins 1 et 2, 7 pompes fonctionnant en alternance, 8 et 9 filtres (© N. De Wilde).

sous forme ammoniacale (ammonification). Elles assimilent ensuite cet azote ammoniacal, ainsi que celui produit par l'ensemble des organismes hétérotrophes (poissons, zooplancton), et, ainsi faisant, synthétisent des protéines qui sont consommées par les crevettes ou les poissons (Crab *et al.*, 2007 ; 2012). Toutefois elles n'ont pas la capacité d'incorporer le  $\text{CO}_2$ , comme les algues, via la photosynthèse. Pour effectuer cette synthèse protéique, elles ont besoin d'un apport complémentaire de carbone organique (Figure 1) sous forme de mélasse ou d'amidon de blé selon un ratio C/N élevé, de l'ordre de 15 (Avnimelech *et al.*, 1994 ; Avnimelech et Kochba, 2009).

L'azote ammoniacal issu de la respiration globale est transformé en  $\text{NO}_2$  (nitritation), puis en  $\text{NO}_3$  (nitratation) par des bactéries chimio-autotrophes, *Nitrosomonas sp.* et *Nitrobacter sp.* Ces dernières produisent en bout de chaîne des nitrates qui ne sont pas valorisés par la communauté bactérienne, mais uniquement par les algues via la photosynthèse. Deux grands types de bio-flocs sont représentatifs – mixotrophe et hétérotrophe – selon la quantité de phytoplancton présente dans les floculats (Cardona, 2015). La quantité de boues (sédiments) et de nitrates à évacuer du système est nettement plus importante lorsque le milieu est uniquement hétérotrophe et chimio-autotrophe. Cela est compréhensible, car les floculats, contrairement aux algues, ne sont pas enveloppés par une membrane et ainsi se désagrègent en partie en particules trop fines pour être absorbées par les animaux en élevage. Ainsi, avec la TBF, l'élimination de ces boues non consommées implique l'absence de recyclage intégral des éléments organiques et minéraux. Le zooplancton présent dans les floculats est principalement composé de copépodes, de rotifères, de ciliés, de protozoaires flagellés et de nématodes (Azim et Little, 2008 ; Ballester *et al.*, 2010 ; Cardona, 2015) ; il constitue un complément alimentaire dont la composition et la quantité sont variables selon la qualité du milieu (salinité, luminosité, eutrophisation). Un effet bénéfique de la TBF sur la survie des animaux élevés serait dû à la présence de composants bioactifs, de micro-organismes probiotiques contenus dans les floculats, et d'une compétition interspécifique bactérienne dans le milieu d'élevage, notamment entre les genres *Vibrio* et *Bacillus* (Browdy *et al.*, 2013).

### Les circuits fermés planctoniques

L'AIMT en circuit fermé planctonique (Hargreaves, 2006), en eau verte liée à la couleur du phytoplancton, a d'abord été étudiée expérimentalement en Israël (Diab *et al.*, 1992). L'idée était d'associer en boucle, dans un rapport volumétrique 1/6, des bacs d'élevage (10

Note de synthèse

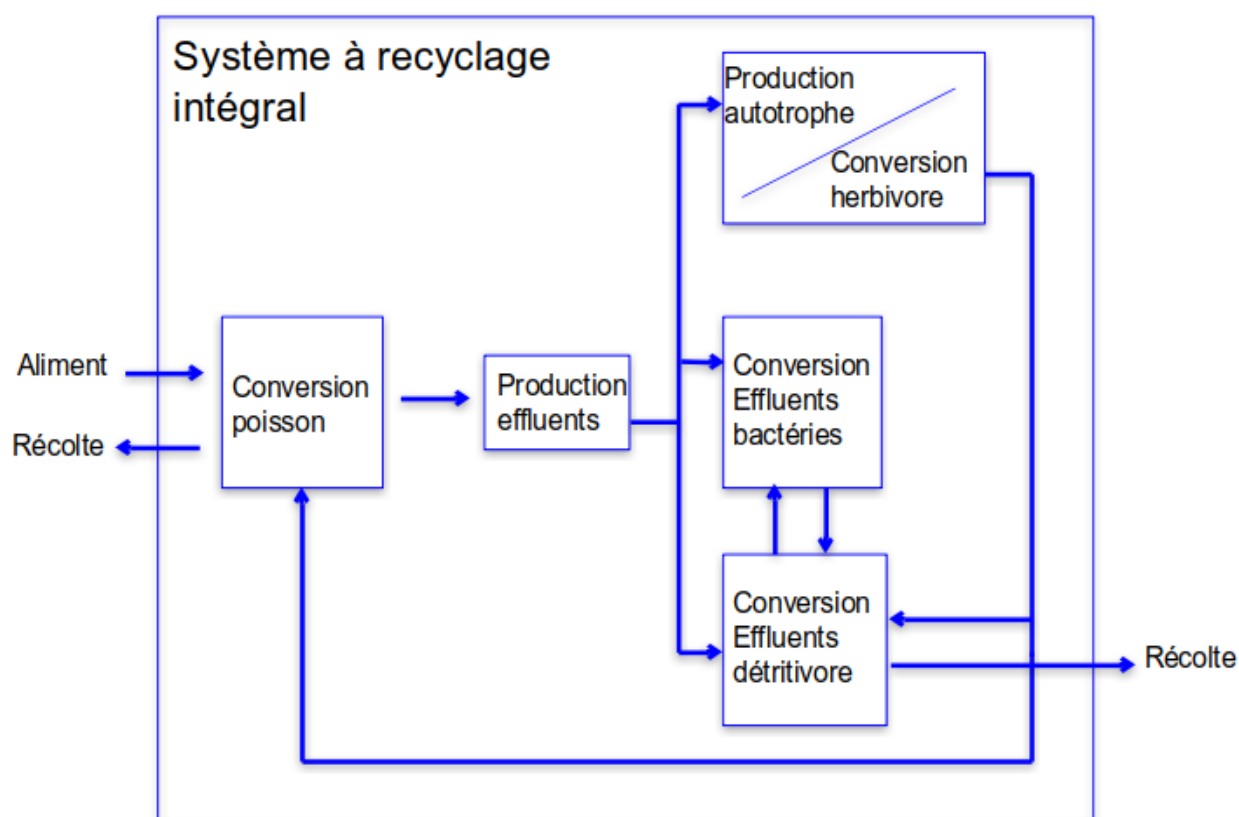


Figure 3. Représentation schématique d'un système à recyclage intégral dérivée de la figure 1. Le recyclage des effluents est réalisé via la photosynthèse, l'activité bactérienne et la détritivorie.

kg/m<sup>3</sup>) de tilapias (*Oreochromis aureus*) alimentés, à un grand bassin de lagunage en élevage extensif (0,25 kg/m<sup>2</sup>), où des carpes (*Cyprinus carpio*) se nourrissaient uniquement des effluents solides reçus des premiers. L'eau du bassin de lagunage était recyclée par pompage vers les bassins d'élevage après avoir été épurée par le phytoplancton et les bactéries chimio-autotrophes de l'azote ammoniacal. Cependant le sédiment accumulé dans le lagunage lié surtout aux algues mortes (Hargreaves, 2001 ; 2006) impliquait des pertes en azote sous forme gazeuse (N<sub>2</sub>), car sa consommation par les carpes, en trop faible densité, était insuffisante. Il était aussi difficile de quantifier l'abattement de la concentration en algues à effectuer devant l'impossibilité de contrôler le flux d'entrée d'eau dans le lagunage.

Une décennie plus tard, Brune *et al.* (2003) ont mis au point le *partitioned aquaculture system*

(PAS). Ce système d'élevage (Drapcho, 2000), divisé en différents volumes réservés à chaque maillon de la chaîne trophique, diffère du précédent par le fait que le phytoplancton est récolté par filtration. Il est appliqué notamment à un élevage de silures (*Ictalurus punctatus*), mais aussi de crevettes d'eau douce (*Macrobrachium sp.*), dont les effluents solides sont piégés dans un volume (digesteur), où ils sont consommés par des tilapias omnivores ; puis l'eau chargée en nutriments est envoyée dans un chenal de lagunage réservé à la croissance du phytoplancton. La consommation en eau est réduite à 12 % de son usage conventionnel.

#### Vers un recyclage intégral en circuit fermé « eau verte »

Le prototype d'un circuit fermé destiné au

## Note de synthèse

recyclage intégral des éléments organiques et minéraux a été mis en place au Sénégal (Gilles *et al.*, 2008 ; 2013) en eau saumâtre autour de la détritivorie du tilapia lagunaire euryhalin *Sarotherodon melanotheron* (Pauly, 1976) endémique des lagunes d'Afrique de l'Ouest.

Des volumes d'élevage intensif étaient associés à des bassins de lagunage selon un rapport 1/6. Ce tilapia était à la fois placé dans la partie intensive, alimenté, et dans le lagunage, non alimenté. La conversion herbivore, c'est-à-dire la régulation du phytoplancton, était réalisée à l'aide de zooplancton, dans un bassin placé en dérivation du circuit principal (Figure 2), qui fonctionnait en discontinu selon une fréquence de 48 heures avec un remplissage dont l'amplitude était fonction de l'abattement de la concentration en phytoplancton à réaliser dans le circuit principal. L'eau de vidange de ce bassin était renvoyée dans le circuit principal, appauvrie en algues et riche en zooplancton.

Ce dernier était alors consommé par les tilapias. Le système d'élevage a étéensemencé naturellement par la micro-algue *Nannochloris sp.* ( $35 \times 10^6$  cellules/mL) et le rotifère *Brachionus plicatilis*. L'élimination du sédiment a été totale dans le lagunage, et partielle dans le bassin régulateur du phytoplancton. Seule l'évaporation de l'eau était compensée, soit 1,5 % par jour du volume total. La détritivorie a fait l'objet d'une récolte en tilapias complémentaire.

Ce système d'élevage a fonctionné en Amazonie péruvienne en eau douce, avec des espèces endémiques : le silure *Pseudoplatystoma punctifer* en tant que poisson de nourrissage, en ayant recours dans le lagunage à la détritivorie de Loricariidés (Gilles *et al.*, 2014). Le rotifère *Trichocerca sp.*, qui avait colonisé spontanément l'écosystème, était consommé par des Cichlidés endémiques, placés aussi dans le lagunage, afin de maintenir constante la concentration en phytoplancton. Naturellement le milieu a été occupé par *Chlorella sp.* à des densités beaucoup plus faibles qu'au Sénégal en raison du différentiel en sels nutritifs. Au sein du système d'élevage le recyclage des éléments organiques et minéraux fut intégral (Figure 3).

## Conclusion

L'AIMT joue un rôle de plus en plus important face au changement global en permettant d'isoler les élevages des pollutions et des intempéries (FAO, 2018). Le recyclage des effluents va dans le sens d'une autonomie pour l'alimentation des élevages et implique des économies d'énergies et financières. Elle ouvre des champs de recherches importants notamment pour la formulation d'aliments de synthèse adaptés au fonctionnement des écosystèmes artificiels, et la quantification des flux entre leurs niveaux trophiques.

## Références

- Avnimelech Y, Kochba M, Diab S. 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio, *Bamidgeh*, 46(3), 119-131.
- Avnimelech Y, Kochva, M, Hargreaves JA. 1999. Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds, *Journal of the World Aquaculture Society*, 30, 401-409.
- Avnimelech Y, Ritvo G. 2003. Shrimp and fish pond soils: processes and management, *Aquaculture*, 220, 549-567.
- Avnimelech Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds, *Aquaculture*, 264(1), 140-147.
- Avnimelech Y. 2009. *Biofloc Technology - A practical guide book*, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana (USA).
- Avnimelech Y, Kochba M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using  $^{15}\text{N}$  tracing, *Aquaculture*, 287(1), 163-168.

Note de synthèse

- Azim ME, Little DC. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Aquaculture*, 283, 29-35.
- Ballester ELC, Abreu PC, Cavalli RO, Emerenciano M, De Abreu L, Wasielesky JW. 2010. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system, *Aquaculture Nutrition*, 16, 163-172.
- Becerril-Cortés D, Monroy-Dosta MC, Coelho-Emerenciano MG, Castro-Mejía G, Cienfuegos-Martinínez K, Lara-Andrade R. 2017. Nutritional importance for aquaculture and ecological function of microorganisms that make up Biofloc, a review, *International Journal of Aquatic Science*, 8(2), 69-77.
- Blancheton JP, Calvas J., Michel AH, Vonau V, 1987. Intensive shrimp breeding process, USA Patent number: 4,640,227.
- Browdy C, Hargreaves J, Hoang T, Avnimelech Y. 2013. *Proceedings of the Biofloc Technology and Shrimp Disease Workshop*. December 9-10, 2013, Ho Chi Minh City, Vietnam, The Aquaculture Engineering Society. Copper Hill, VA USA.  
[http://www.aesweb.org/shrimp\\_health.php](http://www.aesweb.org/shrimp_health.php).
- Brune DE, Schwartz G, Everole AG, Collier JA, Schwedler TE. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems, *Aquacultural Engineering*, 28, 65-86.
- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP, Bauman RH, Pearson DC. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize, *Aquaculture*, 219, 393-411.
- Caipang CMA, Avillanosa AL 2019. Backyard farming of tilapia using a biofloc-based culture system. *The Palawan Scientist*, 11. Western Philippines University.
- Cardona E. 2015. Influence de l'environnement trophique de l'élevage en biofloc sur les performances physiologiques de la crevette *Litopenaeus stylirostris* : Étude de paramètres de la nutrition, de l'immunité et de la reproduction. Thèse de doctorat. École doctorale du Pacifique (ED 469).
- Castro-Nieto LM, Castro-Barrera T, De Lara-Andrade R, Castro-Mejía J, Castro-Mejía, G. 2012. Biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture, *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1 (1), 1-5.
- Chopin T, Buschmann AH, Halling C, Troell M, Kautshy N, Neori A, Kraemer GP, Zertuche-Gonzalez JA, Yarish C, Neefus C. 2001. Integrating seaweeds into mariculture systems: a key towards sustainability, *Journal of Phycology*, 37, 975-986.
- Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production, *Aquaculture*, 270, 1-14.
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, 351-357.
- Diab S, Kochba M, Mires D, Avnimelech Y. 1992. Combined intensive-extensive (CIE) pond system. A: inorganic nitrogen transformation, *Aquaculture*, 101, 33-39.
- Drapcho CM, Brune DE. 2000. The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production, *Aquacultural Engineering*, 21, 151-168.



Note de synthèse

- Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry, *InTech*. DOI : [10.5772/53902](https://doi.org/10.5772/53902).
- Emerenciano M, Lemos de Mello G, Ribeiro F, Miranda-Baeza A, Martinez-Cordova L. 2015. Recent Advances in Aquaculture Systems Based on Microorganisms: The Biofloc Technology (Bft) Case, *Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo*. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, 51-61.
- Emerenciano M, Martinez-Cordova L, Martinez-Porchas M, Miranda-Baeza A. 2017. Biofloc Technology (BFT): A tool for Water Quality Management in Aquaculture, *InTech*, DOI : [10.5772/66416](https://doi.org/10.5772/66416).
- FAO. 2018. *Impacts du changement climatique sur les pêches et l'aquaculture*. Résumé du Document technique sur les pêches et l'aquaculture n°627. Rome. 48 p.
- Gilles S, Lacroix G, Corbin D, Bâ N, Ibañez Luna C, Nandjui J, Ouattara A, Ouedraogo O, Lazzaro X. 2008. Mutualism between euryhaline tilapia *Sarotherodon melanotheron heudelotii* and *Chlorella* sp. – implications for nano-algal production in warm water phytoplankton-based recirculating systems, *Aquacultural Engineering*, 39, 113-121.
- Gilles S, Fargier L, Lazzaro X, Baras E, De Wilde N, Drakidès C, Amiel C, Rispal B, Blancheton JP 2013. An integrated fish-plankton aquaculture system in brackish water. *Animal*, 7, 322-329.
- Gilles S, Ismiño R, Sánchez H, David F, Núñez J, Dugué R, Darias M and Römer U. 2014. An integrated closed system for fish-plankton aquaculture in Amazonian fresh water, *Animal*, 1-10.
- DOI : [10.1017/S1751731114001165](https://doi.org/10.1017/S1751731114001165).
- Granada L, Sousa N, Lopes S and Lemos MFL. 2015. Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? A review, *Reviews in Aquaculture*, 6, 1-18.
- Hargreaves JA. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture, *Aquacultural Engineering*, 34, 344-363.
- Hargreaves JA. 2013. Biofloc Production Systems for Aquaculture. *SRAC Publication* No. 4503.
- Hopkins JS, Hamilton RD, Sandifer PA, Browdy CL, Stokes AD, 1993. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds, *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 304-320.
- Ibrahim LA, Shaghaleh H, El-Kassar GM, Abu-Hashim M, Elsadek EA, Alhaj Hamoud Y. 2023. Aquaponics: A Sustainable Path to Food Sovereignty and Enhanced Water Use Efficiency, *Water*, 15, 4310. DOI : [10.3390/w15244310](https://doi.org/10.3390/w15244310).
- Jamal M, Broom M, Al-Mur B, Al-Harbi M, Ghandourah M, Al-Otaibi A, Haque MDF. 2020. Biofloc Technology: Emerging Microbial Biotechnology for the Improvement of Aquaculture Productivity. *Polish Journal of Microbiology*, 69(4), 401-409. DOI : [10.33073/pjm-2020-049](https://doi.org/10.33073/pjm-2020-049).
- Metaxa E, Deviller G, Pagan P, Alliaume C, Casellas C, Blancheton JP. 2006. High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: Water purification and fish health, *Aquaculture*, 252, 92-101.
- Muangkeow B, Ikejima K, Powtongsook S, Gallardo W. 2011. Growth and nutrient conversion of white shrimp *Litopenaeus*

Note de synthèse

- vannamei* (Boone) and Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. in an integrated closed recirculating system, *Aquaculture Research*, 42, 1246-1260.
- Mugwanya M, Mahmoud AO, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. 2021. Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review, *Sustainability*, 13, 7255.
- Neori A, Chopin T, Troell M, Buschmann AH, Kraemer GP, Halling C, Shpigel M, Yarish C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture, *Aquaculture*, 231, 361-391.
- Neori A, Shpigel M, Guttman L, Israel A. 2017. Development of Polyculture and Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in Israel: A Review. *The Israeli Journal of Aquaculture*, 69, 1385.
- Nisar U, Peng D, Mu Y, Yu Sun Y. 2022. A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste: A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry, *Frontiers in Nutrition*, 8, 791738. DOI : [10.3389/fnut.2021.791738](https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738).
- Ogello EO, Safina M, Musa SM, Aura CM, Jacob O, Abwao J, Mbonge Munguti J. 2014. An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc Technology: A review. *International Journal of Aquatic Science*, 2008-8019. 5(1), 21-39.
- Pauly D. 1976. The biology, fishery and potential for aquaculture of *Tilapia melanotheron* in a small West African lagoon, *Aquaculture*, 7, 33-49.
- Padeniya U, Davis DA, Wells DE, Bruce TJ. 2022. Microbial interactions, growth, and health of aquatic species in biofloc systems, *Water*, 14, 4019. DOI : [10.3390/w14244019](https://doi.org/10.3390/w14244019)
- Ritvo G, Kochba M, Avnimelech Y. 2004. The effects of common carp bioturbation on fishpond bottom soil, *Aquaculture*, 242, 345-356.
- Roel H, Verdegem CJ. 2011. Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits, *Livestock Science*, 139, 58-68.
- Schneider O, Sereti V, Eding EH, Verreth JAJ. 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems, *Aquacultural Engineering*, 32(3-4), 379-401.
- Troell M. 2009. *Integrated marine and brackish water aquaculture in tropical regions: research, implementation and prospects*. In D. Soto (ed.). A global review of integrated marine aquaculture, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529, Rome.
- Vinatea L, Carbó R, Andree KB, Gisbert E, Estévez A. 2023. Rearing European Eel (*Anguilla anguilla*) Elvers in a Biofloc System, *Animals*, 13, 3234. DOI : [10.3390/ani13203234](https://doi.org/10.3390/ani13203234).
- Verschuere L, Rombaut G, Sorgeloos P, Verstraete W. 2000. Probiotic bacteria as bio-control agents in aquaculture, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4), 655-671.
- Wasave SS, Chavan BR, Naik SD, Wasave SM, Pawase AS, Tibile RM, Ghode GS, Meshram SJ, Shivalkar VS. 2020. Role of microbes in biofloc systems: a review, *Journal of Experimental Zoology of India*, 23 (S1), 903-906.
- Wilfart A, Favalier N, Metaxa I, Platon C, Pouil S. 2020. *Integrated multi-Trophic Aquaculture in ponds: what environmental gain? An LCA point of view*. 12th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2020 (LCA Food 2020), Towards Sustainable Agri-Food Systems, Berlin (Germany), 206-208. hal-03219808.

*Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*  
*Academic Notes from the French Academy of Agriculture*  
*(N3AF)*

**Note de synthèse**

**Edité par**

Anonyme

**Rapporteurs**

1. Anonyme
2. Anonyme
3. Philippe Chemineau, directeur de recherche émérite INRAe, membre de l'Académie d'agriculture de France.

**Rubrique**

Cet article a été publié dans la rubrique « Notes de synthèse » des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

**Reçu**

12 avril 2024

**Accepté**

30 juin 2024

**Publié**

23 août 2024

**Citation**

Gilles S. 2024. L'aquaculture intégrée multi-trophique (AIMT)-Integrated Multi-Trophic Aquaculture, *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF)*, 18(2), 1-11. DOI : 10.58630/pubac.not.a784968.



Sylvain Gilles a intégré l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) en tant qu'ingénieur d'études pour mener des recherches aquacole en Afrique de l'Ouest puis en Amazonie. Pour le bureau d'études (Expertise Aquacole Tropicale (EAT), il effectue des missions au Sénégal et en Haïti pour la mise en place d'élevages de tilapias selon l'Aquaculture Intégrée Multi-Trophique (AIMT).