

Pratiques de gestion et de valorisation des effluents dans les piscicultures en hors-sol au Bénin

Zoulfauou SIDI OROU MASSARA², Zariatou OROU KOBİ¹, Ibrahim IMOROU TOKO¹, Epiphane SODJINOUE²

(Reçu le 26/01/2026; Accepté le 07/03/2026)

Résumé

La gestion et la valorisation des effluents piscicoles s'inscrivent dans une dynamique de promotion et de développement d'une aquaculture durable pour accélérer la transition écologique dans ce sous-secteur au Bénin. A cet effet, nous avons évalué dans une logique d'économie circulaire, les pratiques de valorisation de ces effluents dans les piscicultures en hors-sol. Des données socio-économiques, professionnelles, de production, de gestion et de valorisation des effluents ont été collectées à l'aide d'un questionnaire, digitalisé sur KoBoToolBox, administré à 92% des piscicultures (n=40) hors-sol fonctionnelles dans les départements du Zou et des Collines. Les résultats obtenus révèlent que la pisciculture est une activité majoritairement masculine (81% des cas), pratiquée par des personnes matures (>30 ans), qui ont des charges et responsabilités familiales avérées (>82%), avec 75% ayant des niveaux d'instruction élevé. Plus de 94% des pisciculteurs appartiennent à une coopérative ou un groupement où ils pratiquent tous une pisciculture semi-intensive, utilisant un flux d'eau et d'aliments non négligeable. Les deux tiers des enquêtés valorisent les eaux usées, notamment pour le maraîchage (71% des cas). La reconnaissance des avantages tirés de l'utilisation de ces effluents est donc une garantie évidente d'adoption et de succès de toutes initiatives ou innovations, comme la pisciculture intégrée au maraîchage (PIM) et l'aquaponie, visant à optimiser les intégrations agropiscicoles.

Mots clés: Pisciculture hors-sol, Effluent piscicole, Agropisciculture, Aquaponie, Aquaculture durable

Wastewater management and reuse practices in soilless fish farms in Benin

Abstract

Wastewater management and reuse practices in fish farms are part of a drive to promote and develop sustainable aquaculture in order to accelerate the ecological transition in this sub-sector in Benin. To this end, we have evaluated, within a circular economy framework, the effluent reuse practices in soilless fish farms. Socioeconomic, professional, production, management, and effluent valorization data were collected using a structured and digitized questionnaire (KoboCollect) from 92% of operational fish farms (n=40). The results reveal that fish farming is a predominantly male activity (81%), practiced by mature individuals (>30 years old) who have proven family responsibilities (>82%), and at least 75% of whom have a high level of education. More than 94% of fish farmers belong to a cooperative or group where they all practice semi-intensive fish farming, using a significant flow of water and feed. However, 60% reuse wastewater, particularly for vegetable production (71%). The reported benefits of using this effluent are therefore a clear guarantee of the adoption and success of any initiatives or innovations, such as integrated fish farming (IFT) and aquaponics.

Keywords: Soilless fish farm, Fish effluent, Agro-fish farming, Aquaponics, Sustainable aquaculture

INTRODUCTION

L'aquaculture apparaît aujourd'hui comme une solution efficace dans le contexte où la demande mondiale en protéines d'origine halieutique est croissante. Elle est aussi perçue comme une alternative viable à la surpêche étant donné que depuis 2022 près de 59% des produits halieutiques et aquacoles consommés dans le monde en sont issus (FAO, 2024). Cependant, les exploitations aquacoles aussi bien intensives qu'extensives sont confrontées à différents défis aux plans technique, sociologique, économique, environnemental et climatiques. En effet, cette solution de plus en plus adoptée par plusieurs pays dans leurs stratégies de développement agricole et les stratégies de réduction de la pauvreté est fortement critiquée par les organisations de défense de l'environnement pour sa forte consommation en eau et les pollutions engendrées (Colmant et Delannoy, 2012). Elle est dépendante de la qualité et de la quantité d'eau disponible, et utilise des quantités importantes d'aliments composés qui génèrent en conséquence des rejets, sous forme de matières organiques solides et d'éléments inorganiques dissous (Foucard *et al.*, 2019). Tout comme l'agriculture, elle cherche aussi à réduire ses rejets afin de respecter des normes environnementales de plus en plus

strictes, mais aussi de répondre aux demandes des consommateurs qui accordent de plus en plus d'importance à la qualité des produits aquatiques (Meybeck *et al.*, 2017). Ces rejets sont étroitement liés aux pratiques d'élevage, au métabolisme, au stade de développement des poissons, et à la composition de l'aliment (Blancheton *et al.*, 2004). Les recherches menées sur la nutrition et l'alimentation des poissons d'élevages ont permis d'améliorer la qualité et la digestibilité des matières premières améliorant ainsi les taux de conversion alimentaire et réduisant les quantités de rejets produits dans les piscicultures (Kaushik, 1990; Breton, 2005). Aussi, le développement des circuits fermés d'élevages piscicoles qui permettent de recycler et de recirculer l'eau, grâce aux compartiments de filtration biologique associés, a-t-il permis de réduire l'impact environnemental de ces rejets. En circuit ouvert, l'eau d'élevage n'est utilisée qu'une fois avant rejet dans le milieu naturel impliquant des débits d'eau de l'ordre de 100 à 200 m³ par kg d'aliment distribué (Jimenez del Rio *et al.*, 1996; Lemarié *et al.*, 1998). Une autre alternative appelée système d'élevage en circuit «recyclé» ou «recirculé» consiste à équiper les bassins d'élevage d'une boucle de recyclage comprenant une filtration biologique pour permettre de

¹ Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Écotoxicologie Aquatique, Université de Parakou, Bénin

² Département d'Économie et Sociologie Rurale, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

traiter l'eau soit avant réutilisation, soit avant rejet dans l'environnement. Les besoins en eau neuve de ces systèmes d'élevage sont réduits entre 1 et 2 m³ par kg d'aliment (Pagand, 1999; Blancheton, 2000; Léonard, 2000). Ce système permet d'accroître la productivité sur une petite surface, de mieux contrôler les conditions d'élevage (Heinen *et al.*, 1996) et d'avoir une meilleure maîtrise des rejets moins abondantes et plus concentrés. En effet, le principal produit de l'excrétion azotée chez les poissons est l'ammoniaque (Fivelstad *et al.*, 1990; Kelly et Kahler, 1994), dont la forme non ionisée (NH₃) est hautement toxique pour les poissons (Poxton et Allouse, 1982). La filtration biologique réduit les teneurs en ammoniaque de l'eau, en transformant l'ammoniaque (NH₃/NH₄⁺) en nitrites (NO₂⁻) puis en nitrates (NO₃⁻), dont les concentrations élevées (>100 mg/l) sont tolérées pour la plupart des espèces aquacoles (Schram *et al.*, 2012; Monsées *et al.*, 2016). Ces composés azotés et autres nutriments accumulés dans les effluents piscicoles sont souvent valorisables en production végétale notamment maraîchère à travers différents systèmes de productions. Une gestion efficace des effluents piscicoles est donc nécessaire pour non seulement minimiser les impacts environnementaux de l'aquaculture mais aussi de gérer de façon rationnelle l'eau des exploitations piscicoles afin de produire de nouvelles sources de revenu dans une logique d'économie circulaire. C'est dans ce sens que cette étude s'intéresse aux pratiques de gestion et de valorisation des effluents piscicoles en bassins et bacs hors-sol. L'objectif de cette étude est d'évaluer leurs méthodes actuelles de gestions et de valorisation des effluents afin de proposer un modèle de référence pour une agriculture verte inclusive, intelligente et durable, basée sur l'intégration des cultures.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La présente étude a été réalisée de juin à octobre 2024; la phase de collecte des données sur le terrain a eu lieu du 20 août au 10 septembre 2024.

Milieu d'étude

La présente étude a eu lieu dans les départements du Zou et des Collines (Figure 1) situés au centre du Bénin. Ces deux départements ont été choisis du fait qu'ils abritent actuellement le plus grand nombre de piscicultures fonctionnelles en hors-sol du Bénin, suite à l'intervention, de 2020 à 2025, par le Projet d'Appui au Développement des Filières Protéiniques (PADéFiP C2). Le département des Collines comprend six communes (Bantè, Dassa-Zoumè, Glazoué, Ouèssè, Savalou et Savè) et compte une population de 716 558 habitants sur une superficie totale de 13 931 km² (RGPH 4, 2013). Il est caractérisé par des reliefs vallonnés, d'où son nom, avec une altitude moyenne de 200 m et des points culminants d'environ 465 m à Dassa-Zoumè. Il bénéficie d'un climat de type soudano-guinéen qui se traduit par deux saisons pluvieuses, s'étendant de mars à juillet et d'octobre à novembre, ainsi que deux saisons sèches, allant d'août à septembre et de décembre à mars. La pluviométrie annuelle dans cette région varie entre 80 et 110 jours de pluie. La population est majoritairement rurale, avec l'agriculture et l'élevage qui représentent des activités économiques importantes. L'aquaculture, notamment l'élevage de poissons, est un secteur en plein essor soutenu par plusieurs projets/programmes de développement au regard de la qualité et de la disponibilité des terres cultivables et des ressources en eau (DGCS-ODD, 2019).

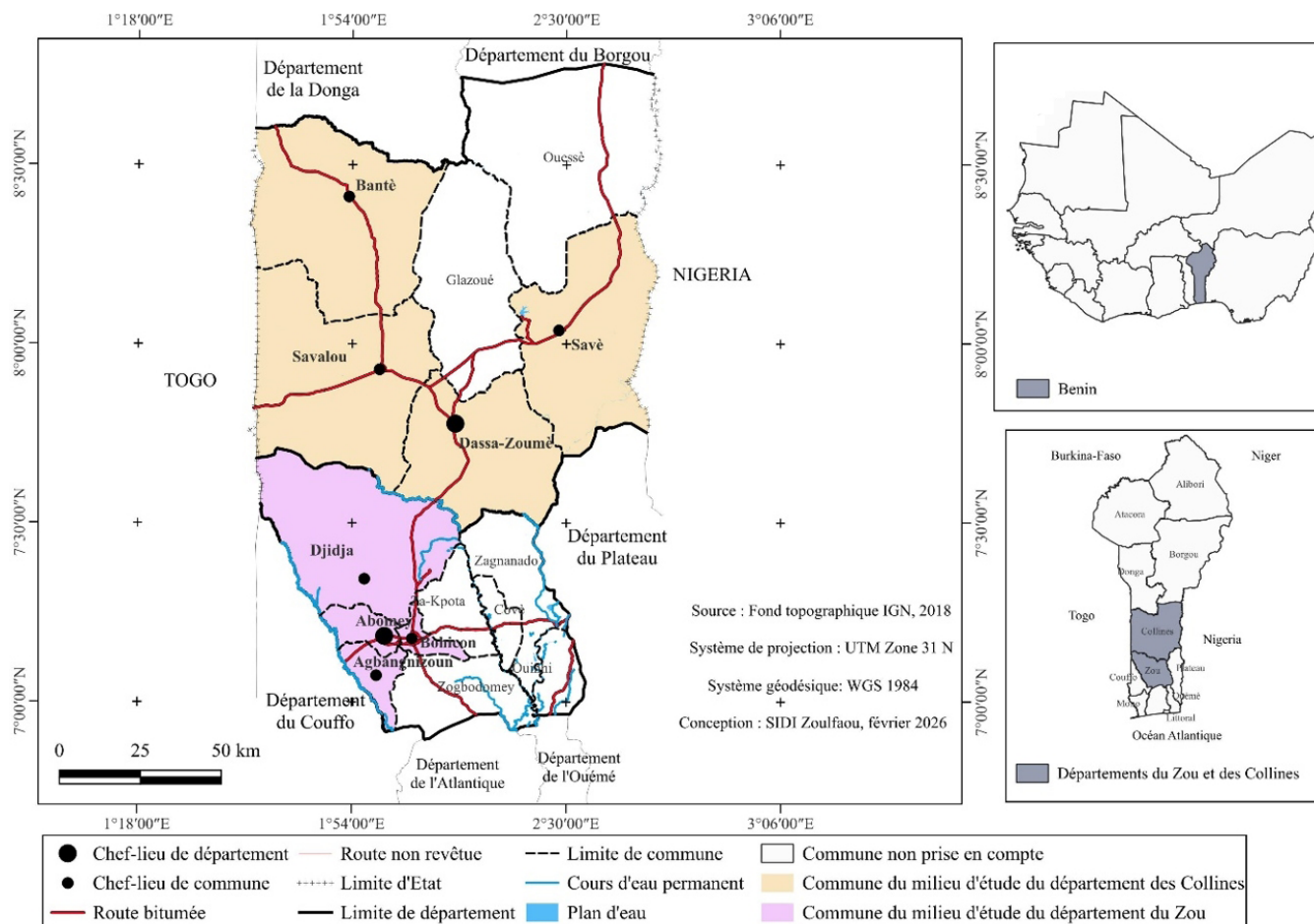


Figure 1: Carte de la zone d'étude

Le département du Zou, également tire son nom de la rivière Zou, un affluent de l'Ouémé qui le traverse. Ce département est composé de neuf communes (Abomey, Agbangnizoun, Bohicon, Covè, Djidja, Ouinhi, Zangnanado, Zakpota et Zogbodomey). Il s'étend sur une superficie de 5 243 km² et abrite une population de 851 580 habitants (RGPH 4, 2013). Il est caractérisé par un relief de plateau, avec une altitude variante entre 200 et 300 mètres, et bénéficie d'un climat subéquatorial, ainsi que d'un climat tropical humide. Ce département connaît également deux saisons de pluies (mars à juillet et août à octobre) et deux saisons sèches avec une pluviométrie annuelle variant entre 900 et 1 200 mm (DGCS-ODD, 2019). Bien que la pisciculture ne soit pas la principale activité économique dans le Zou, les interventions de plusieurs projets/programmes de développement ont permis de développer cette activité et de professionnaliser les acteurs.

Dans les deux départements ciblés, les exploitations piscicoles en hors-sol ont été investiguées dans huit communes (Figure 1), soit quatre communes dans les Collines (Bantè, Dassa-Zoumè, Savalou et Savè) et quatre dans le Zou (Abomey, Agbangnizoun, Bohicon et Djidja). Ces communes ont été retenues au regard de la disponibilité durant notre étude de piscicultures en hors-sol actives, disponibles et accessibles.

Échantillonnage

L'unité de recherche pour la présente était représentée par les pisciculteurs qui disposent des bassins ou bacs hors-sol fonctionnels, c'est-à-dire contenant des poissons en élevage durant les enquêtes. L'échantillonnage aléatoire simple a été utilisé pour sélectionner 40 pisciculteurs dans la base des animateurs conseillers piscicoles (ACP) du projet PADéFiP/C2 intervenant dans les huit communes sélectionnées (Tableau 1).

Méthodes et outils de collecte des données

La présente étude a été menée en trois phases. La première phase a consisté à la collecte et l'exploitation de documents scientifiques, de rapports techniques et autre informations/données en lien avec notre thématique de recherche. Les moteurs de recherche de Google, Google scholar, ResearchGate, et plusieurs autres sites internet ont été utilisés. Cette phase préparatoire a permis de mieux comprendre le sujet afin de bien élaborer la problématique et les objectifs de recherche, et de proposer un projet de fiche de collecte des données sur le terrain. La seconde phase a permis de faire une exploration de la zone d'étude afin de découvrir les réalités du milieu et de prendre contact avec les ACP

Tableau 1: Répartition des pisciculteurs enquêtés par département

Département	Commune	Effectifs	Pourcentage
Collines	Bantè	4	10,0
	Dassa-Zoumè	7	17,5
	Savalou	5	12,5
	Savè	5	12,5
Zou	Abomey	5	12,5
	Agbangnizoun	1	2,5
	Bohicon	8	20,0
	Djidja	5	12,5
Total		40	100

du projet PADéFiP/C2 intervenant dans la zone d'étude. Cette phase nous a permis de relever les insuffisances de notre questionnaire élaborer lors de la phase préparatoire et de réajuster les données à collecter ainsi que les variables pertinentes pour l'étude afin de les intégrer dans la version finale du questionnaire pour la collecte proprement dite.

Plusieurs données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire structuré et digitalisé sur KoBoToolBox, et d'observations directe sur le terrain. Ces données étaient relatives: (i) aux caractéristiques socio-économiques et professionnelles des enquêtés; (ii) aux méthodes et techniques de production dans les exploitations piscicoles; et (iii) aux pratiques de gestion et de valorisation des eaux usées dans les exploitations piscicoles.

Méthodes et outils d'analyses des données

Plusieurs méthodes et outils d'analyse ont été utilisés pour analyser les données. Ainsi, des statistiques descriptives (moyenne, écart-type, fréquence, etc.) ont été utilisées pour les données quantitatives. L'analyse de discours et de contenu a permis d'évaluer la perception des pisciculteurs sur le choix de certaines méthodes et techniques de productions de même que la gestion et la valorisation des eaux usées dans leurs exploitations. Le Least Significant Difference (LSD) de Fisher a été utilisé à l'aide du logiciel Statistica version 6 afin de comparer les moyennes des paramètres socio-économiques et professionnels mesurés par département. Les valeurs en pourcentage ont subi une transformation logarithmique à base (log(N+1)) à cet effet (Legendre et Legendre, 1998). Le seuil de significativité utilisé est de 0,05.

RÉSULTATS

Caractéristiques socio-économiques et professionnelles des enquêtés

Le tableau 2 présente les caractéristiques socio-économiques et professionnelles des pisciculteurs enquêtés dans les deux départements. Il ressort de ce tableau, que l'activité piscicole est majoritairement masculine (81,0 %) dans la zone d'étude, bien que ce sexe-ratio ne soit pas significatif dans le département du Zou. Plus de 86% des pisciculteurs enquêtés ont un âge inférieur à 60 ans, avec une grande majorité de marié ou vivant en concubinage (82,8 %). Bien que la proportion de personnes de 3^{ème} âge (>60 ans) impliquées dans les activités piscicoles ne soit pas négligeable (13,0), on peut retenir globalement qu'il s'agit d'une activité pratiquée par des personnes matures, majoritairement scolarisées (>92%), et ayant des responsabilités et charges familiales avérées. La majorité des pisciculteurs (53,6 %) est titulaire d'un certificat d'Études primaires (CEP), avec une proportion non négligeable d'universitaire (22,0 %).

La répartition des pisciculteurs enquêtés selon leur activité principale révèle que seul 30,6 % des répondants ont la pisciculture comme activité principale, et le reste (69 % des cas) l'exercent comme une activité secondaire. La pisciculture semble donc être une source complémentaire de revenus plutôt qu'une activité centrale dans la zone d'étude. Parmi ceux qui exercent la pisciculture comme activités secondaire, 40 % déclarent mener d'autres activités comme pépiniériste et élevage; tandis que 20 % se déclarent commerçants, 14,3% agriculteurs, 14,3 % artisans, 8,57 % opérateurs privés et 2,86% fonctionnaires de l'état. Par

ailleurs, la quasi-totalité (94,6 %) des pisciculteurs enquêtés appartiennent à une coopérative ou un groupement. Tous les pisciculteurs interrogés (100%) ont déjà reçu une formation ou un renforcement de capacité en matière de pisciculture. La part moyenne de revenu annuel provenant l'activité piscicole est de 14,2 %, avec un écart type de 19,5 %. Cette variabilité importante indique que les pisciculteurs tirent des proportions très différentes de leurs revenus de la pisciculture, allant de 0% (absence de revenu provenant de cette activité) à un maximum de 80%. Ces résultats suggèrent une hétérogénéité significative dans la contribution de la pisciculture aux revenus des producteurs agricoles dans la zone d'étude. Pour certains, la pisciculture représente une activité marginale, tandis que pour d'autres, elle constitue une source de revenus plus substantielle. Plus de la moitié des pisciculteurs (52,5%) gagnent moins de 30 000 FCFA/mois de cette activité, avec seulement 2,5% atteignant 200 000 à 300 000 FCFA/mois. Ces revenus modestes révèlent que, malgré l'intensification, la pisciculture reste une activité à faibles marges pour beaucoup de producteurs. Cela pourrait être la résultante des coûts élevés de production et l'accès limité aux marchés plus rémunérateurs (marchés de niches).

Méthodes et techniques de productions piscicoles en hors-sol

Caractéristiques des infrastructures piscicoles utilisées

Il ressort de nos investigations que 96,1% des infrastructures utilisées pour la pisciculture en hors-sol sont des bassins en béton (bassins), contre 3,9% de bac (tanks)

en polyéthylène de type IBC ou autres. Les pisciculteurs possèdent en moyenne 4,73 de bassins ou tanks avec un maximum de 16 pour un pisciculteur (Tableau 3). Sur un total de 178 bassins et de tanks, le volume moyen des infrastructures est de 18,7 m³. Cette large dispersion (écart-type élevé) suggère une grande variation de capacités des bassins et tanks utilisés par les pisciculteurs. Certains exploitants utilisent des bassins ou des tanks de très petite taille (1,2 m³), tandis que d'autres disposent de bien plus grands (215,6 m³), indiquant une diversité de pratiques dans le choix des infrastructures piscicoles utilisées.

Tableau 3: Caractéristiques des infrastructures piscicoles utilisées

Variables	Moyenne	Écart-type	Mini	Maxi	Total
Nombre de bassin/tank	4,73	2,87	1,0	16	178
Volume des bassins/tank (m ³)	18,7	37,9	1,22	216	40

Mini=Minimum; Maxi=Maximum

Sources d'alimentation en eaux des bassins et tanks

Plus de 85% des pisciculteurs approvisionnent leurs infrastructures en eaux souterraines à partir de forages ou puits traditionnels ou modernes disponibles dans leur exploitation, avec ou sans superstructure (tank ou réservoir). Cependant, des sources d'eaux alternatives comme les eaux de pluies recueillies et conservées dans des citernes, ou les eaux de rivières, ruisseaux ou marigots environnants prélevées par pompage ou par puisage, sont aussi utilisées dans 15% des cas.

Tableau 2: Synthèse des caractéristiques socio-économiques et professionnelles des pisciculteurs enquêtés

Département des Collines							Département du Zou						Synthèse Collines-Zou		
Modalités	Bantè (n=4)	Dassa (n=7)	Savalou (n=5)	Savè (n=5)	Moy_C (n=21)	ES_C	Abomey (n=5)	Agban. (n=1)	Bohicon (n=8)	Djidja (n=5)	Moy_Z (n=19)	ES_Z	Moy	ES	Probabilité
Sexe (%)															
Masculin	100	85,7	80	100	91,4 ^a	10,2	40	100	62,5	80	70,6 ^a	25,5	81,0 ^a	10,7	0,712 ^{NS}
Féminin	0	14,3	0	0	3,6 ^b	7,2	60	0	37,5	20	29,4 ^a	25,5	16,5 ^b	13,0	0,0296 ^{NS}
Classe d'âge (%)															
≤30 ans	0	14,28	0	60	18,6 ^a	28,4	40	100	0	20	40,0 ^a	43,2	29,3 ^a	10,4	0,367 ^{NS}
30 - 60 ans	75	71,42	80	40	66,6 ^a	18,1	40	0	75	80	48,8 ^a	37,1	57,7 ^a	13,4	0,395 ^{NS}
60 - 70 ans	25	14,28	20	0	14,8 ^a	10,8	20	0	25	0	11,3 ^a	13,1	13,0 ^a	1,66	0,594 ^{NS}
Situation matrimoniale (%)															
Marié	100	100	100	60,5	90,1 ^a	19,8	100	2	100	100	75,5 ^a	49,0	82,8 ^a	20,7	0,508 ^{NS}
Célibataire	0	0	0	39,5	9,9 ^b	19,8	0	98	0	0	24,5 ^a	49,0	17,2 ^b	20,7	0,858 ^{NS}
Niveau d'instruction (%)															
Aucun	0	0	19	0	4,8 ^a	9,5	20	0	12,5	0	8,1 ^a	9,9	6,44 ^a	0,26	0,563 ^{NS}
Primaire	25	0	40	21	21,5 ^a	16,5	0	0	37,5	20	14,4 ^a	18,1	17,9 ^a	1,11	0,456 ^{NS}
Secondaire	75	29	20	60	46,0 ^b	25,8	40	100	25	80	61,3 ^b	34,7	53,6 ^b	6,29	0,801 ^{NS}
Universitaire	0	71	20	20	27,8 ^a	30,3	40	0	25	0	16,3 ^a	19,7	22,0 ^a	7,49	0,454 ^{NS}
Appartenance à une coopérative de pisciculteurs (%)															
Oui	100	57,1	100	100	89,3 ^a	21,5	100	100	100	100	100,0 ^a	0,0	94,6 ^a	15,2	0,838 ^{NS}
Non	0	42,9	0	0	10,7 ^b	21,5	0	0	0	0	0,0 ^b	0,0	5,36 ^b	15,2	0,187 ^{NS}
Pisciculture comme activité principale (%)															
Oui	80	0	0	20	25,0 ^a	37,9	20	100	25	0	36,25 ^a	43,9	30,6 ^a	4,24	0,529 ^{NS}
Non	20	100	100	80	75,0 ^a	37,9	80	0	75	100	63,75 ^a	43,9	69,4 ^a	4,24	0,548 ^{NS}

Agban.=Agbangnizoun; départ.=Département; Moy=Moyenne; Moy_C=: Moyenne Collines; Moy_Z=Moyenne Zou; ES=Erreur standard; ES_C =Erreur standard Collines; ES_Z=Erreur standard Zou; NS=Non significatif. Dans les colonnes Moy_C et Moy_Z, les valeurs de chaque paramètre qui portent des lettres différentes sont significativement différentes.

Espèces de poissons élevées et raisons de leur choix

Dans les départements des Collines et du Zou, le poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*) est l'espèce la plus élevée en monoculture (87,5 %) en hors-sol, suivi du tilapia *Oreochromis niloticus* (5%). Cependant, plusieurs pisciculteurs (37,0 %) font la polyculture des deux espèces. La plupart des pisciculteurs justifie le choix de *Clarias* à cause de sa forte croissance (94,7 %), sa résistance aux conditions d'élevage telles que la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH et la turbidité de l'eau (100 %), et son faible coût de production (63,2 %). Les quelques rares pisciculteurs qui élèvent du tilapia en hors-sol justifie leur choix par sa reproduction rapide (58,8 %) et sa préférence sur le marché (88,2 %).

La figure 2 permet de visualiser les principales raisons évoquées par les pisciculteurs pour chaque espèce, en mettant en lumière les caractéristiques distinctives qui influencent leur choix.

Alimentation des poissons et objectifs de production

Tous les pisciculteurs (100%) enquêtés ont déclaré utiliser de la provende comme aliment pour nourrir leurs poissons. 94% utilisent des provendes extrudées commerciales (titrant 30 à 40% de protéines) achetées localement mais provenant généralement du Nigeria ou du Ghana. En complément aux aliments commerciaux importés, 68% des pisciculteurs utilisent des provendes de fabrication locale (taux de protéines variant de 25 à 35%) sous formes granuleuse ou farineuse. Dans tous les cas, bien que les objectifs de production soient variables (Tableau 4), l'apport généralisé d'aliments exogènes par les pisciculteurs indiquent qu'ils sont conscients de l'importance de l'alimentation dans l'élevage piscicole.

L'analyse des objectifs de productions piscicoles en hors-sol dans les départements des Collines et du Zou révèle que la majorité des enquêtés (72,5%) produisent du poisson en hors-sol à des fins à la fois de vente et d'autoconsom-

mation, tandis que 27,5% ne produisent que pour la vente exclusivement. Cela souligne l'importance de l'élevage piscicole non seulement comme une activité commerciale, mais aussi comme une source de sécurité alimentaire et nutritionnelle non seulement pour les ménages des pisciculteurs, mais aussi ceux riverains des zones de productions.

Techniques de production des poissons en bassins et tanks hors-sol

Tous les pisciculteurs enquêtés utilisent des méthodes semi-intensives d'élevage en hors-sol. Les techniques utilisées bien que variant d'une exploitation à une autre, sont dépendantes des espèces élevées.

Le cycle d'élevage dure généralement 4 à 8 mois chez *clarias* pour avoir une taille marchande de 200 g à 1,2 kg, tandis que chez *tilapia* le cycle est généralement plus court de 3 à 5 mois pour une taille commercialisable de 60 à 200 g en raison des difficultés de gestion de la qualité des eaux piscicoles.

Les alevins de *tilapia* monosexes mâles de taille comprise entre 5 et 10 g sont utilisés par tous les pisciculteurs en monoculture; en cas de polyculture, la taille des alevins non sexés de *tilapia* utilisés varie de 15 à 30 g. Pour le *clarias*, la taille des alevins utilisés en monoculture comme en polyculture est comprise entre 2 et 10 g.

La densité de mise en charge dépend de l'espèce utilisée mais aussi de plusieurs facteurs, notamment la fréquence de renouvellement de l'eau dans les bassins et la disponibilité d'oxygénateur lorsqu'il s'agit d'élever le *tilapia*. Chez le *clarias*, elle varie généralement de 10 à 100 poissons/m³, avec une tendance à la baisse lorsque le volume d'eau du bassin est élevé. Chez le *tilapia*, les densités relevées varient de 10 à 75 poissons/m³, avec une tendance plus élevée lorsque le pisciculteur a la possibilité de renouveler régulièrement l'eau dans ses bassins, ou quand il dispose d'énergie pour faire fonctionner des aérateurs. En polyculture, la densité du *clarias* est généralement 3 à 5 fois

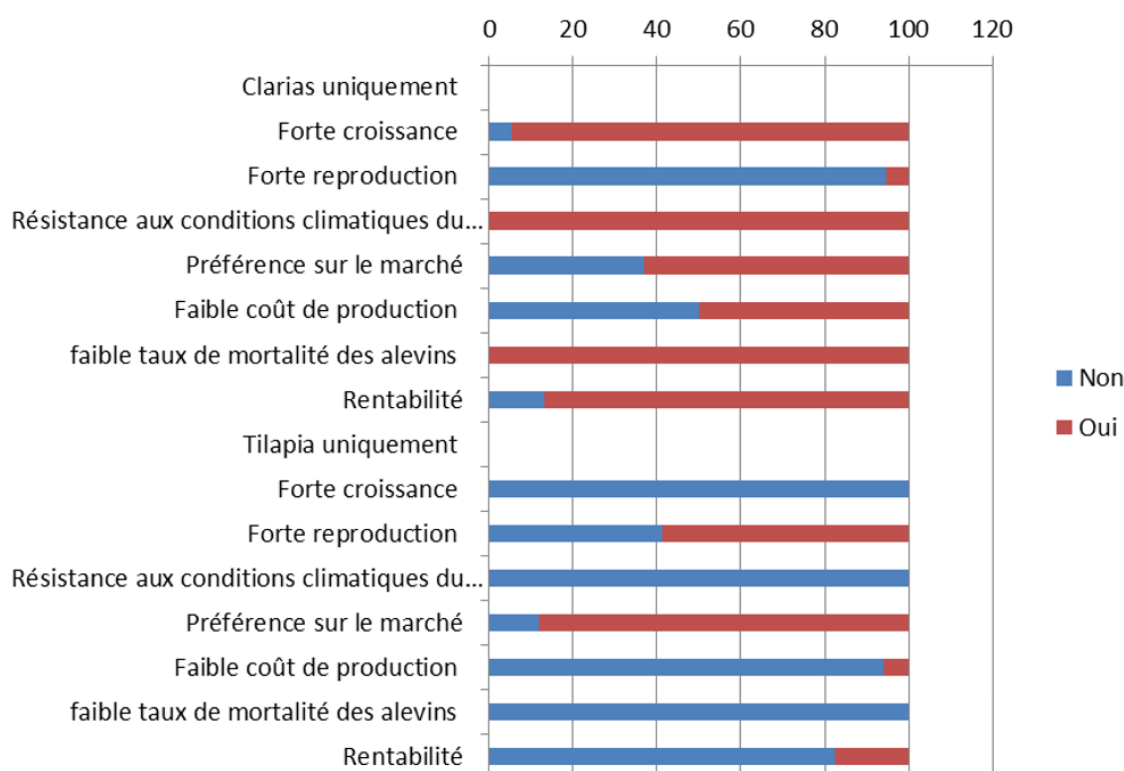


Figure 2: Raisons du choix de *Clarias* et de *Tilapia* par les pisciculteurs en hors-sol

plus faible que celle du tilapia, les clarias étant généralement utilisés pour contrôler la population de tilapia en cas d'élevage de sexes mélangés, et pour valoriser les restes d'aliments non consommés et de poissons morts.

La majorité des pisciculteurs (72,5%) nourrissent leurs poissons (tilapia ou clarias) sans utiliser de tables de rationnement adaptés à l'espèce. Seuls 27,5% des pisciculteurs font usage de ces tables, le nourrissage des poissons se faisant souvent soit à satiété par 72,5% d'entre eux, ou par expérience par 27,6% d'eux. En polyculture, seuls les tilapias sont nourris, les alevins de clarias valorisent les restes d'aliments non consommés, de même que les poissons morts et les larves /alevins de tilapia issus des reproductions incontrôlées dans le milieu.

La période d'alimentation est généralement diurne (entre 7 h et 19 h) mais la fréquence de nourrissage des poissons varie elle d'une exploitation à une autre; 57,5 % des pisciculteurs distribuent l'aliment 3 fois /jour, 22,5 % le font 2 fois /jour et très peu d'entre eux (2,5 %) le font une fois par jour. Il existe cependant des pisciculteurs qui déclarent nourrir les poissons plus d'une fois par jour (5%) et d'autres encore (12,5 %) qui n'ont pas une fréquence fixe pour divers raisons (absence du pisciculteur ou ses employés, indisponibilité/rupture d'aliment, etc.), les poissons parfois pouvant faire plus de 48 h sans nourrissage.

Durant le cycle de production, indépendamment de l'espèce élevée, la majorité des pisciculteurs (95 %) déclare entretenir leurs infrastructures d'élevage une fois par mois (65,8 %), une fois par quinzaine (13,2 %) ou une encore fois par semaine (7,9 %). Certains pisciculteurs (13,2 %) font ces entretiens au besoin et n'observent donc pas une fréquence fixe et régulière d'entretien de leurs bassins ou tanks. L'entretien consiste à nettoyer les parois des bassins/tanks, enlever poissons morts et éventuellement les feuilles mortes et autres objets en suspension dans le milieu d'élevage, procéder à des pêches de contrôle pour évaluer l'évolution de la croissance et réajuster la ration distribuée, et renouveler partiellement ou totalement l'eau dans les bassins/tanks d'élevage. Cependant, 5% des pisciculteurs enquêtés ne jugent pas nécessaires de faire ces entretiens durant le cycle de production; selon eux, sauf en cas de force majeure, une fois mis en charge les poissons sont conduits jusqu'à l'obtention de la taille marchande sans renouvellement de l'eau des bassins/tanks et sans contrôle de la croissance.

Pratiques de gestions et de valorisation des eaux usées dans les exploitations piscicoles

Perception paysanne des eaux usées dans les exploitations piscicoles

L'analyse des propos des pisciculteurs enquêtés sur les effluents piscicoles révèle que les producteurs perçoivent positivement les bienfaits agronomiques des effluents piscicoles. Voici les avis de quelques-uns à ce propos:

Selon le Pisciculteur X: *«les eaux piscicoles sont riches en éléments nutritifs qui sont indispensables pour les cultures; mais par manque d'espace ils ne me servent pas pour le moment, mais je pense les valoriser plus tard pour le maraîchage».*

Pour le Pisciculteur Y: *«Les eaux des poissons constituent de l'or blanc pour moi parce que je les cherchais depuis des années pour développer le maraîchage dans ma ferme et voilà grâce au PADéFiP, j'ai pu avoir des bassins dont les eaux me permettent de donner régulièrement de l'eau riche en engrais à mes cultures».*

Le Pisciculteur Z quant à lui déclare: *«Les eaux usées issues de la pisciculture sont très bon pour moi car ils permettent*

à mes cultures et mes palmiers d'avoir régulièrement de l'eau, et comme cette eau renferme beaucoup de nutriments cela favorise la croissance de mes cultures ce qui me permet d'avoir un bon rendement».

Fréquence de renouvellement et traitement des effluents avant leur rejet ou utilisation

D'après les pisciculteurs enquêtés, le temps pour que l'eau des bassins deviennent verte dépend de l'aliment utilisés par le producteur et aussi du nombre de poissons présent dans l'infrastructure, ce temps peut varier de 3 à 7 jours si les poissons sont bien nourris. La couleur verte des effluents est perçue comme bénéfique pour les poissons car elle indique présence d'éléments nutritifs, généralement azotés, qui favorisent le développement des algues et par conséquent du zooplancton. Les poissons se nourrissent de ces organismes en complément, voire en substitut, de la provende qui leur ait servi. Après généralement une semaine d'élevage, la couleur des eaux, surtout si elle n'est pas renouvelée, continue par verdir davantage engendrant une eutrophisation pouvant conduire à l'hypoxie du milieu. Cet état de chose justifie généralement le choix de la fréquence de renouvellement de l'eau dans les bassins et tanks d'élevage.

Le Tableau 4 présente la fréquence de renouvellement des eaux usées des bassins et tanks de productions piscicoles dans la zone d'étude. Il ressort de ce tableau que plus 82 % des pisciculteurs en hors-sol renouvellent au moins une fois par quinzaine les eaux usées de leurs infrastructures piscicoles. Une minorité des enquêtés le fait toutes les trois semaines (5 %) ou une fois par mois (5 %). Selon les résultats de notre étude, 60% des pisciculteurs disposent de systèmes de récupération des eaux usées tel que les fosses, les bassins, et les étangs contre 40 % qui n'en ont pas et qui déversent ces effluents directement dans la nature (ruisseaux, marécages, etc.). On peut donc noter un effort significatif de gestion durable des effluents piscicoles dans la majorité des piscicultures.

Les résultats de notre étude montrent que 100 % des bassins et tanks utilisés dans la zone d'étude disposent de dispositif de vidange qu'est une vanne mais les effluents ne sont pas traités avant leurs rejets ou leur réutilisation. 92,5 % des pisciculteurs déclarent ne pas avoir observé un impact négatif du rejet de leur effluents dans la nature ou de sa réutilisation en maraîchage notamment. Ils ont donc une perception limitée des conséquences environnementales des effluents piscicole, ou par une minimisation des impacts réels dans les zones étudiées. Parmi les 7,5 % qui affirme avoir observé des impacts négatifs, seuls 33,3 % ont déjà pris des mesures tel que le changement de lieu de déversement des effluents ou la mise en place de dispositifs de récupération «sécurisée» (fosse, notamment) pour minimiser ces impacts. Ceci témoigne d'une prise de conscience avérée de quelques pisciculteurs des impacts potentiels de leur activité sur l'environnement, de même que des solutions de remédiation possible pour atténuer leurs effets.

Tableau 4: Fréquence de renouvellement des bassins

Temps de renouvellement	Effectif	Pourcentage
>1 fois/ semaine	7	17,5
1 fois/ semaine	14	35
1 fois/ 2 semaines	12	30
1 fois/ 3 semaines	2	5
1 fois/ mois	2	5
Sans fréquence fixe	3	7,5
Total	40	100

Valorisation des effluents par les pisciculteurs

Dans les départements des Collines et du Zou, en dehors de la pisciculture et sur le plan agronomique, 75 % des enquêtés pratiquent l'élevage (volailles, lapins, porcs, ovins, caprins, bovins, etc.) et 55 % s'adonnent au maraîchage. 60 % des pisciculteurs en hors-sol déclarent valoriser leurs effluents piscicoles; ceux qui ne font pas prétexte souvent du manque de connaissances, d'espace, de moyens ou encore de disponibilité pour le faire. Parmi ceux qui valorisent leurs effluents piscicoles, la majorité (70,8 %) les utilisent comme sources d'eau pour irriguer les plantes en horticulture (maraîchage, pépinière, floriculture, notamment). La Figure 3 montre que, 12,5 % se servent de ces effluents comme sources d'engrais pour les cultures, 16,7 % les utilisent pour abreuver les animaux d'élevage, 12,5 % valorise ces eaux piscicoles pour divers nettoyages (surface, outils ou de matériel de production, loges d'élevage, etc.) et 4,2 % ne sont pas conscients des bénéfices agronomiques potentiels de ces effluents, mais s'en débarrassent dans les champs par exemple pour faciliter le labour, ou encore dans les cours d'habitation ou les voies d'accès de leur exploitation pour limiter la poussière.

Les avantages observés et déclarés par les maraîchers dans la réutilisation de ces effluents sont: la croissance rapide des plantes, la réduction des dépenses liée à l'eau d'irrigation des cultures et la réduction des coûts de fertilisation. Les principales cultures maraîchères observées dans la zone d'étude sont la laitue, le concombre, la carotte, le piment, la tomate, le chou, les légumes feuilles, les bananiers et les papayers). Cette filière semble donc capitale pour la valorisation des effluents piscicoles dans la zone d'étude.

Par ailleurs, dans logique d'optimisation des intégrations agropiscicoles observées dans la zone d'étude, les besoins identifiés par les enquêtés incluent principalement l'accès aux financements adaptés, aux équipements et technologies d'irrigation adaptés, aux équipements et technologies de traitement et de gestion des effluents piscicoles, et aux formations et conseils agricoles spécialisés.

DISCUSSION

Il ressort de la présente étude que la pisciculture en systèmes hors-sol dans les départements des Collines et du Zou est une activité majoritairement masculine (81,0 %), généralement pratiquée par des personnes matures (>30 ans), qui ont des charges et responsabilités familiales avérées (>82%) et dont au moins 75% ont des niveaux d'instruction leur permettant de lire et écrire couramment le français. Ces caractéristiques socio-démographiques relevées dans la zone d'étude sont bien cohérentes avec les tendances observées dans de nombreuses régions ouest africaines où les hommes sont généralement plus impliqués dans les activités agricoles comme la pisciculture qui nécessitent une force physique et un accès au capital (Abdullahi, 2000; Dolan, 2004; Franklin, 2007; Lemke *et al.*, 2009; Aviles, 2015). Veliu *et al.* (2009) et Omeje *et al.* (2021) ont aussi rapporté des tendances similaires en Afrique de l'Ouest, et concluent que les hommes, souvent adultes sont généralement plus impliqués dans la pisciculture que les femmes. Le niveau d'instruction élevé de pisciculteurs est crucial pour comprendre les pratiques de gestion des exploitations piscicoles. Un plus haut niveau de scolarité est souvent corrélé à des compétences en gestion améliorées et à une plus grande réceptivité aux nouvelles pratiques (Smith et Watson, 2019). Ceci augure donc de belles perspectives de développement de cette filière en termes de professionnalisation et d'adoption des résultats de recherches scientifiques et d'innovations technologiques.

La grande majorité des pisciculteurs enquêtés (>94%) appartiennent à une coopérative ou un groupement. La collaboration collective apparaît donc comme une stratégie clé pour renforcer la production piscicole étant donné que l'appartenance à une organisation professionnelle structurée permet aux producteurs de bénéficier plus facilement du soutien des projets/programmes et d'avoir un meilleur accès aux financements, à la formation et aux marchés (Gava *et al.*, 2021; Berthomé et Pesche, 2023; Njenga *et al.*, 2023).

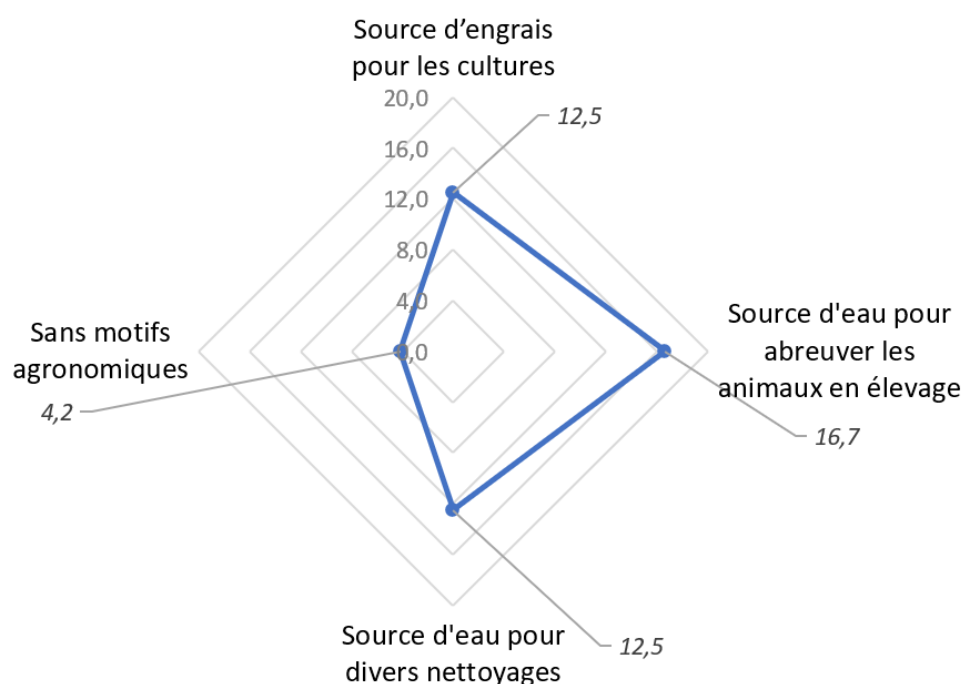


Figure 3: Motifs de valorisation des effluents piscicoles par les pisciculteurs (%)

Par ailleurs tous les enquêtés pratiquent une pisciculture semi-intensive, utilisant généralement un flux d'eau et d'intrants (provenant notamment) non négligeable pour la production. L'approvisionnement en eau est un facteur crucial pour la réussite de la pisciculture en hors-sol, car il est essentiel pour maintenir des conditions saines pour les poissons. Si cette forme de pisciculture offre un potentiel de production élevé, elle impose cependant une gestion rigoureuse des ressources et des rejets pour prévenir les impacts négatifs sur les écosystèmes (Jatteau *et al.*, 1993; Dabi et Dzorvakpor, 2015; Liu *et al.* 2023). Pour optimiser ces pratiques de gestion en lien avec la durabilité, il est donc important de former davantage les pisciculteurs sur des thématiques spécifiques (Ahouandjinou, 2022; Jarir *et al.*, 2025).

La majorité des pisciculteurs enquêtés (60 %) récupèrent les eaux usées et valorisent ces effluents notamment pour l'irrigation des cultures (70,8 %). Cette pratique répond aux critères d'une pisciculture durable, qui minimise les impacts environnementaux et maximise l'utilisation des ressources (FAO, 2021).

La proportion non négligeable de pisciculteurs (40 %) qui ne valorisent pas leurs effluents, indique un potentiel réel d'amélioration pour une gestion plus durable et efficace des ressources afin de minimiser l'empreinte écologique de la pisciculture sur l'environnement. De plus la majorité des pisciculteurs (92,5 %) n'ayant pas observé d'impacts environnementaux liés à la gestion de leurs effluents révèle un manque de sensibilisation aux enjeux écologique et sanitaire de leur exploitation (Ssekyanzi, 2023). En outre, les réponses des pisciculteurs concernant les mesures prises pour minimiser les impacts environnementaux montrent que 66,7 % n'ont pas encore adopté des stratégies spécifiques. Brown *et al.* (2020) soulignent que pour assurer une gestion durable de la pisciculture, il est indispensable de développer des pratiques respectueuses de l'environnement et de renforcer les compétences des pisciculteurs par des formations continues.

Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux de plusieurs autres travaux sur la pisciculture en Afrique de l'Ouest (Hassan *et al.*, 2020; Arshad *et al.*, 2024) qui montrent également une prévalence de la pisciculture semi-intensive avec des besoins accrus de gestion des effluents. Cependant, des divergences apparaissent dans les stratégies de gestion et de prévention des impacts environnementaux, soulignant la nécessité d'adapter les solutions aux contextes locaux.

En définitive, l'association du maraîchage comme de l'élevage à la pisciculture observée durant notre étude augure d'une intégration agro-piscicole maîtrisable dans une logique d'économie circulaire où les déchets des uns peuvent servir d'énergie aux autres, principale de base du développement durable. Les bienfaits visibles et palpables de l'utilisation des effluents piscicoles par les maraîchers est donc une garantie évidente d'adoption et de succès de toutes initiatives ou innovation visant à promouvoir les systèmes de pisciculture intégrée au maraîchage (PIM) en vogue depuis plusieurs décennies en Asie et dans plusieurs pays tropicaux, y compris certaines régions du Bénin (Balvay, 1980; Pullin et Shehadeh, 1980; Enabel, 2018; Kifufu, 2019; Prein, 2002). Il est donc nécessaire, voire urgent de promouvoir localement des modèles de références agro-

piscicole pour une agriculture verte inclusive, intelligente et durable, basée sur l'intégration des cultures.

Dans ce contexte, l'aquaponie qui permet de combiner l'aquaculture et l'hydroponie, apparaît comme une solution innovante pour améliorer la viabilité et la résilience des exploitations piscicoles (Goddek *et al.*, 2019). Dans ce système, la génération continue de nutriments assimilables par les plantes à partir de ces rejets évite donc leur accumulation et la pollution de l'environnement (Rakocy *et al.*, 2006; Delaide *et al.*, 2016). Selon Goddek et Körner (2019), elle est particulièrement adaptée aux régions arides et aux zones dépourvues de terres arables à cause des possibilités de recyclage de l'eau et des déchets et nutriments contenus dans les effluents piscicoles. Selon Meybeck *et al.* (2017), elle est l'une des techniques modernes d'aquaculture intégrée multi-trophique qui résulte d'une logique de recyclage des rejets et qui favorisant une production de qualité au plus près des consommateurs. Elle fait partie intégrante de l'agriculture de demain, orientées vers la durabilité et la complémentarité des systèmes de production agricoles (Foucard *et al.*, 2015) qui offrent une source complémentaire de revenus aux pisciculteurs et assurent la sécurité alimentaire et sanitaire des ménages de pisciculteurs et de consommateurs de poissons. Cependant, l'adoption dans le contexte local actuel de ce système innovant de production agro-piscicole nécessitera la levée de plusieurs contraintes (énergétique, technologiques, zootechniques, phytotechniques et phytosanitaires) qui minent encore son adoption et son développement dans plusieurs pays en développement.

Aussi, bien que l'aquaponie apparaisse aujourd'hui comme une solution écologique adaptée, les systèmes de type «couplé» qui se pratiquent à petite échelle ne permettent encore de combler les besoins du marché et de valoriser de façon optimale les effluents aquacoles, notamment les boues aquacoles qui contiennent plus de 80% du phosphore disponible (Yogev *et al.*, 2016; Goddek *et al.*, 2016). Cependant, l'aquaponie de type «découplé» qui est une forme de mise à l'échelle de ce système peut être facilement promue et adoptée localement. Elle permet d'accroître les productions aussi bien maraîchères que piscicoles car elle permet une maîtrise plus fine des paramètres de qualité de l'eau pour se rapprocher au mieux des préférences des plantes et des organismes aquatiques tout en permettant un meilleur recyclage des nutriments provenant des effluents aquacoles (Goddek *et al.*, 2016; Goddek et Keesman, 2018; Knaus et Palm, 2022; Guerini *et al.*, 2023). En effet, dans ce type de système, il est possible d'associer un système de filtration ou de biofiltration des eaux piscicoles afin de les recyclées et recirculées, de même qu'une boucle de minéralisation pour transformer les boues aquacoles, très peu valorisées dans les systèmes de type couplé, en biofertilisants pour le compartiment maraîcher (Goddek *et al.*, 2018; Goddek et Keesman, 2018; Zang *et al.*, 2024).

La levée des contraintes citées ci-dessus semble aussi indispensable pour une meilleure adoption de cette innovation dans le contexte local. Ceci impliquera le développement de recherches scientifiques et technologiques adaptées pour un fonctionnement optimal de ce système en conditions locales.

CONCLUSION

L'évaluation des pratiques de gestion et de valorisation des eaux usées dans les exploitations piscicoles du centre Bénin, met en évidence un secteur en plein essor, caractérisé par une grande diversité de profils d'exploitants. L'étude révèle une nette dominance des hommes, reflétant peut-être des contraintes socioculturelles et professionnelles couramment observées dans le secteur agricole en Afrique et dans plusieurs pays en développement. De plus, la majorité des pisciculteurs sont âgés de 30 à 60 ans, bien que l'on constate une présence non négligeable de jeunes (<30 ans), ce qui augure de belles perspectives de renouvellement générationnel. Par ailleurs, le niveau d'instruction des pisciculteurs est hétérogène, allant de l'analphabétisme à un niveau universitaire. Il est à noter que la pisciculture est souvent une activité complémentaire, exercée en parallèle d'autres activités agricoles, artisanales, commerciales, entrepreneuriales ou salariales.

Concernant les pratiques de production, on note que les exploitations piscicoles sont généralement de petites tailles utilisant un nombre limité de bassins et ou de tanks. Le choix des espèces se porte principalement sur le *Clarias gariepinus*, réputé pour sa croissance rapide et sa résistance aux conditions écologiques du milieu. En ce qui concerne la gestion des effluents piscicole, une majorité d'exploitants procèdent à leur récupération et leur valorisation en horticulture, en élevage ou autres. Cette pratique témoigne d'une prise de conscience locale de l'importance de valoriser ces effluents, notamment pour l'irrigation et la fertilisation des cultures, afin d'accroître la contribution de la pisciculture à une agriculture tropicale contemporaine plus intégrée et durable.

RÉFÉRENCES

- Abdullahi M.R. (2000). Women in agriculture: The role of African women in agriculture. National Agricultural Extension and Research Liaison Service, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigerian.
- Ahouandjinou N.O.D. (2022). Analyse de la durabilité et de la performance des systèmes de production piscicole au Sud-Bénin. Thèse de doctorat; École Doctorale des Sciences de la Vie et de la Terre (ED-SVT), Université d'Abomey-Calavi (UAC). 218p.
- Arshad S., Arshad S., Afzal S., Tasleem F. (2024). Environmental impact and sustainable practices in aquaculture: A Comprehensive Review. *Haya Saudi J. Life Sci.*, 9: 447-454.
- Aviles D. (2015). Gender in agriculture: Closing the knowledge gap. *Gender and Development*, 23: 167-169.
- Balvay G. (1980). Notes sur l'intégration de la pisciculture dans les activités agricoles: l'exemple de la Chine. *Bulletin Français de Pisciculture*, 278: 46-47.
- Barker M., Smith J., Jones D. (2018). Sustainable Aquaculture Practices. Cambridge University Press.
- Berthomé J., Pesche D. (2023). Analyse et capitalisation des démarches d'appui aux organisations de producteurs (OP) de la coopération française (MAE et AFD): Le Bénin. Ministère des Affaires Étrangères.
- Blancheton J.P., Dosdat A., Deslous-Paoli J.M. (2004). Minimisation des rejets biologiques issus d'élevages de poissons. In C. Paquot (Ed.), *Aquaculture et environnement*. Éditions de l'Ifremer; 67-78.
- Blancheton, J.P. (2000). Developments in recirculation systems in France. *Aquacultural Engineering*, 22: 17-31.
- Breton B. (2005). La truite et son élevage. Collection aquaculture pisciculture. Eds TEC et DOC. Lavoisier. 378p.
- Brown T., Davis A., Garcia M. (2020). Environmental Management in Aquaculture: Best Practices and Innovations. Routledge.
- Colmant, A. and Delannoy E. (2012). Aquaponie et agriculture urbaine évaluation et proposition de scénario. Institut INSPIRE Marseille, 43p.
- Dabi M., Dzorvakpor S.E.A. (2015). The Impact of Aquaculture on the Environment: A Ghanaian Perspective. *The International Journal of Science and Technoledge*, 3: 106-113.
- Delaide B., Goddek S., Gott J., Soyeurt H., Jijakli M. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water*, 8: 467.
- Direction Générale de la Coordination et du Suivi des Objectifs de Développement Durable (DGCS-ODD) (2019). Spatialisation des cibles prioritaires des ODD au Bénin: Monographie. Cotonou, Ministère du Plan et du Développement, 102p.
- Dolan C.S. (2004). "I sell my labour now": gender and livelihood diversification in Uganda. *Canadian Journal of Development Studies*, 25: 643-661.
- Enabel (2018). Intégration maraîchage et pisciculture, une innovation dans l'Atacora.
- FAO (2021). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2024). La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2024 – La transformation bleue en action. Rome.
- Fivelstad, S., Thomassen, J. M., Smith, M. J., Kjartansson, H., Sanni, S. (1990). Metabolite production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single pass land-based systems. *Aquacultural Engineering*, 9: 1-21.
- Foucard P., Tocqueville A., Gaumé M., Labbé L., Baroiller J.F., Lejolyet C., Lepage S.D.B. (2015). Tour d'horizon du potentiel de développement de l'aquaponie en France: présentation et regard critique sur cette voie de développement alternative pour les productions piscicoles et horticoles. *Innovations Agronomiques*, 45: 125-139.
- Foucard P., Tocqueville A., Gaumé M., Labbé L., Baroiller J.F., Lejolyet C., Darfeuille B. (2019). Potentiel de développement de l'aquaponie en France: Le programme APIVA «Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture». *Innovations Agronomiques*, 71: 385-400.
- Franklin S. (2007). Gender inequality in Nigeria. Taking IT Global Online Publication.
- Gava O., Ardakani Z., Delalić A., Azzi N., Bartolini F. (2021). Agricultural cooperatives contributing to the alleviation of rural poverty. The case of Konjic (Bosnia and Herzegovina). *Journal of Rural Studies*, 82: 328-339.
- Goddek S., Schmautz Z., Scott B., Delaide B., Keesman K., Wuertz S., Junge R. (2016). The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. *Agronomy*, 6: 37.
- Goddek S., Boris P.L., Delaide B., Joyce A., Wuertz S., Haïssam Jijakli M., Gross A., Eding E.H., Bläser I., Reuter M., Keizer L.C.P., Morgenstern R., Körner O., Verreth J., Keesman K.J. (2018). Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS-based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. *Aquacultural Engineering*, 83: 10-19.
- Goddek S., Espinal C., Delaide B., Jijakli M., Schmautz Z., Wuertz S. (2016). Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. *Water*, 8: 303.
- Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M. (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer Nature. Suisse, 619p.
- Goddek S., Keesman K.J. (2018). The necessity of desalination technology for designing and sizing multi-loop aquaponics systems. *Agricultural Water Management*, 199: 173-181.
- Goddek S., Koner O. (2019). A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems*, 171: 143-154.

- Guerini S., Forchino A., Borin M. (2023). Comparison of coupled and decoupled aquaponic systems: Productivity and environmental performance through Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 385: 135706.
- Hassan M., Hossain S., Rahman M. (2020). *Aquaculture Management and Production Systems in Developing Countries*. CRC Press.
- Heinen J.M., Hankins J.A., Summerfelt S.T. (1996). Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet. *Aquaculture Research*, 27: 699-710.
- Jarir D.V., Fatwasari F., Bafdah M.A. (2025). Education and Training for Fish Farmers in East Sinjai District, South Sulawesi on the Use of Equipment and Monitoring of Water Quality in Ponds. *Majalah Pengabdian Indonesia*, 2: 35-39.
- Jatteau P., Petit J., Duret J. (1993). Impact de l'aquaculture sur l'environnement: Prévention et contrôle. In *Aquaculture et Environnement*, Nantes; Actes de Colloques 16, Brest, Editions de l'IFREMER 1994: 69-86.
- Jiménez del Río M., Ramé-López A., Knösche R. (1996). A comparative study of two fish culture systems: nutrient biotransformation and waste management. *Aquaculture*, 144: 199-211.
- Kaushik S.J. (1990). Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles. *Lapisciculture française*, 101: 14-23.
- Kelly S.J., Kohler C.C. (1994). Influence of dietary protein and lipid on nitrogen and phosphorus excretion by Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25: 240-246.
- Kifufu G.F.J. (2019). Intégration de la pisciculture dans les activités agricoles de la population rurale de Bagata/Kwilu en République Démocratique du Congo. *Congo Sciences*, 7: 56-62.
- Knaus U., Palm H.W. (2022). Production of African Catfish (*Clarias gariepinus*) in Decoupled Aquaponics. *Sustainability*, 14: 13344.
- Legendre P., Legendre L. (1998). *Numerical Ecology*. 2nd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, 853p.
- Lemarié G., Martin J.L.M., Cam D., Masse J. (1998). Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-based farm of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 11: 247-254.
- Lemke S., Bellows A.C., Heumann N. (2009). Gender and sustainable livelihoods: Case study of South African farm workers. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*. 4: 195-205.
- Léonard N. (2000). Recherche et élimination des facteurs inhibiteurs de croissance dans les élevages piscicoles en circuit fermé. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 165p.
- Liu Y., Li S., Wu S., Guo Z., Li G., Hu Z., Yuan J. (2023). Nutrient discharge and environmental impact of freshwater aquaculture: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 862: 160764.
- Meybeck A., Laval E., Lévesque R., Parent G. (2017). Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques. In actes du colloque international organisé par le gouvernement du Québec en collaboration avec la FAO. 134p.
- Njenga M.W., Hevi W., Neave S., Karanja L., Bitange N. Kansiime M.K. (2023). Insights into farmer group effectiveness for promoting the adoption of food production standards. *CABI Study Brief*, 46 Learning.
- Omeje J.E., Achike A.I., Sule A.M., Arene C.J. (2021). Gender roles and economic differentials in aquaculture of Kainji Lake Basin, Nigeria. *Research on World Agricultural Economy*, 2: 1-10.
- Pagand P. (1999). Traitement des effluents piscicoles en circuit fermé par lagunage à haut rendement algal. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, France; 220p.
- Poxton M.G., Allouse S.B. (1982). Water quality criteria for marine fisheries. *Aquacultural Engineering*, 1: 153-191.
- Prein M. (2002). Integration of aquaculture into crop-animal systems in Asia. *Agricultural Systems*, 71: 127-146.
- Pullin R.S.V., Shehadeh Z.H. (1980). Integrated agriculture-aquaculture farming systems. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM) and Southeast Asian Center for Graduate Study and Research in Agriculture; 258p.
- Rakocy J.E., Masser M., Losordo T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. *SRAC Publication*, n° 454.
- Schram E., Roques J.A.C., van Kuijk T., Abbink W., van de Vis J. W., Flik G. (2012). The impact of elevated water nitrate concentration on physiology and growth performance of Pikeperch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*, 344-349: 101-108.
- Smith L., Watson C. (2019). *Education and Economic Development in Rural Areas*. Oxford University Press.
- Somerville C., Moti C., Edoardo P., Austin S., Alessandro L. (2014). Production alimentaire aquaponique à petite échelle. FAO.
- Ssekyanzi A., Nevejan N., Kabbiri R., Wesana J., Van Stappen G.V. (2023). Knowledge, attitudes, and practices of fish farmers regarding water quality and its management in the Rwenzori Region of Uganda. *Water*, 15: 42.
- Veliu A., Gessese N., Ragasa C., Okali C. (2009). Gender analysis of aquaculture value chain in Northeast Vietnam and Nigeria. *Agriculture and Rural Development Discussion Paper*, n° 44. Washington, DC, World Bank.
- Yogev U., Barnes A., Gross A. (2016). Nutrients and energy balance analysis for a conceptual model of a three loops off grid, aquaponics. *Water*, 8: 589.
- Zhang W., Zhang Z., Huang Y., Wu W. (2022). Environmental footprint of aquaculture systems: A comparative study of different species and intensification levels. *Journal of Environmental Management*, 306: 114445.