

1 Etude de cas d'innovations dans la pisciculture paysanne marchande en Afrique de l'Ouest
2 conduisant à l'intensification écologique.

3 Traduction de l'article : « Study case of innovations in the commercial family fish-farming of West
4 Africa leading to an ecological intensification. »

5

6 Lethimonnier D¹, Bentz B¹, Mikolasek O^{1&2}, Oswald M^{1&3}

7 d.lethimonnier@apdra.org, b.bentz@apdra.org, olivier.mikolasek@gmail.com, m.oswald@istom.fr

8 1: APDRA Pisciculture paysanne, 20 rue Ampère 91300 Massy, France

9 2: CIRAD, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

10 3: ISTOM, ADI-Suds, 4 Rue Joseph Lakanal, 49000 Angers, France

11

12 Abstract

13 Des développements piscicoles originaux sont décrits dans le Centre-Ouest et Sud-Ouest de Côte
14 d'Ivoire et en Guinée Forestière. L'*Oreochromis niloticus* et l'*Heterotis niloticus* sont les principales
15 espèces produites dans des étangs barrage peu ou pas nourris. La culture du riz inondé y est souvent
16 pratiquée. Les produits alimentent les marchés de proximité.

17 Dans cet article, on s'attache à comprendre les trajectoires d'innovations qui ont abouti à trois
18 pratiques caractéristiques de ces systèmes : « la production de gros tilapias en étangs de barrage peu
19 nourris », « la polyculture de l'*Heterotis* et du tilapia » et « la culture du riz inondé en étang ». L'article évalue ensuite la contribution de ces innovations à l'intensification écologique. Les pratiques
20 à l'origine des développements en cours ont été mises au point dans les années 1990 au sein
21 d'exploitations agricoles familiales. L'opportunité des choix techniques dépend à certains moments
22 clés intégralement du (ou des) paysan(s) pisciculteur(s) qui vont apprécier la technique testée sur des
23 registres qui leurs sont propres.

25 Notre évaluation a démontré que leur contribution à l'intensification écologique est positive. Ces
26 paysans, qui font face à des problèmes de trésorerie récurrents, ont privilégié les ressources et les
27 fonctions naturelles pour leur système d'élevage piscicole : densité d'empoissonnement optimisant
28 la valorisation de la ressource trophique naturelle, améliorée par une polyculture et une production
29 additionnelle de riz plus efficiente que la riziculture de bas-fond traditionnelle. La promotion des
30 savoir-faire et l'ancrage dans la culture locale renforcent la contribution à l'intensification écologique
31 de ces systèmes.

32 L'analyse de cette évolution de la pisciculture marchande intégrée aux exploitations familiales
33 questionne le paradigme de l'intensification écologique et de l'innovation en aquaculture.

34 **Mots clés** : Intensification écologique, *Oreochromis niloticus*, *Heterotis niloticus*, riz inondé,
35 innovation, pisciculture paysanne, étang barrage, Côte d'Ivoire, Guinée.

36 Introduction

37 Grâce à l'aquaculture, la contribution du poisson dans l'alimentation humaine s'est beaucoup
38 développée ces trente dernières années (FAO, 2020) et sa contribution à l'alimentation d'origine
39 animale se situe à des niveaux similaires de ceux du poulet et du porc, avec un peu plus de 100
40 millions de tonnes chacun (Edward et al. 2019). En Asie du Sud-Est, une forte proportion de
41 l'aquaculture est issue de petites entreprises, souvent des exploitations agricoles, parfois spécialisées
42 en aquaculture (HLPE, 2014). A l'inverse, le continent africain à quelques exceptions près (Egypte,
43 Nigéria), fait partie des continents où cette évolution a marqué le pas. Pourtant des auteurs ont
44 souligné que l'Afrique de l'Ouest subsaharienne dispose d'importants atouts pour développer son

45 aquaculture continentale (Chan et al. 2019 ; Aguilar-Manjarrez and Nath. 1998 ; Kapetsky 1994).
46 Dans les années 1990, si quelques petites fermes privées produisaient du poisson dans des zones
47 périurbaines de Côte d'Ivoire ou du Ghana, on constatait l'absence de modèles de production
48 aquacoles adaptés aux zones rurales (Prein et al. 1996 ; Koffi et al. 1993 ; Morissens et al. 1993). A ce
49 moment, dans ces pays, la pisciculture peinait à se développer et était déclarée inexistante en
50 Guinée (FAO 2020).

51 **Matériel et méthodes**

52 **2.1 Contexte et étude**

53 De nos jours, la pisciculture constitue dans ces pays une réalité socio-économique ; les recensements
54 montrent que la majorité des exploitations aquacoles de Côte d'Ivoire se situent dans des petites
55 exploitations agricoles en zone rurale (Amian et al. 2017 ; Yao et al. 2017 ; Kimou et al. 2016 ; Oswald
56 et al. 2015), tout comme en Guinée (Keita 2019). En l'absence d'un recensement exhaustif, les 1500
57 pisciculteurs du projet PDRPGF en Guinée (Keita, 2019) et les 664 piscicultures enquêtées en Côte
58 d'Ivoire (INS, 2014), ne révèlent qu'une partie de l'ampleur de cette activité. Pour ces auteurs, les
59 fermes pratiquent majoritairement un système d'élevage pas ou peu nourri (avec des sous-produits
60 locaux comme le son de riz). Cette pisciculture a une fonction commerciale : en Côte d'Ivoire, elle se
61 classe dans les cinq principales productions commerciales des agriculteurs et pour 23% d'entre eux,
62 c'est même leur première (Oswald et al., 2015). L'autoconsommation ou les fonctions sociales
63 concernent moins d'un tiers de la production de poisson. Ces spécificités ont été relevées par AFD et
64 al. (2017) qui proposent de diviser la catégorie des petites aquacultures en aquaculture commerciale
65 à petite échelle et aquaculture de subsistance.

66 La croissance démographique renforce la demande de produits alimentaires et pousse à intensifier
67 davantage les systèmes agricoles pour nourrir la population alors que les activités anthropiques ne
68 cessent d'accroître la dégradation de l'environnement (Altieri, 1989). Pour l'aquaculture, Costa
69 Pierce (2002) propose une vision écologique qui permet d'interroger les évolutions des systèmes et
70 d'évaluer la contribution à l'intensification écologique des innovations qui sont des marqueurs de
71 l'évolution des différentes piscicultures. Plus récemment, Aubin et al. (2017) définissent
72 l'intensification écologique en aquaculture comme s'appuyant sur les processus et les fonctionnalités
73 écologiques afin d'améliorer sa productivité, renforcer les services éco-systémiques rendus et limiter
74 les disservices (services négatifs) et, plus largement, sur la gestion de la biodiversité et la valorisation
75 des ressources locales et connaissances traditionnelles.

76

77 La FAO (2004) souligne que les cheminements qui ont permis de faire de la pisciculture familiale en
78 Afrique une réalité s'avéraient être bien différentes des stratégies initialement envisagées en matière
79 de développement et de recherche en Afrique sub-saharienne (crédits, éclosion d'état, utilisation
80 d'aliment, espèces locales, amélioration génétique...). S'interroger sur les raisons de cet écart,
81 renvoie à la question des innovations qui n'ont pas été intentionnellement conduites par les
82 institutions en charge du développement. L'importance de l'innovation dans le développement
83 occupe une large place dans le débat d'idée et la littérature (Faure et al. 2018, Hoffecker 2018). La
84 petite pisciculture n'échappe pas à ce débat (Blythe, 2017).

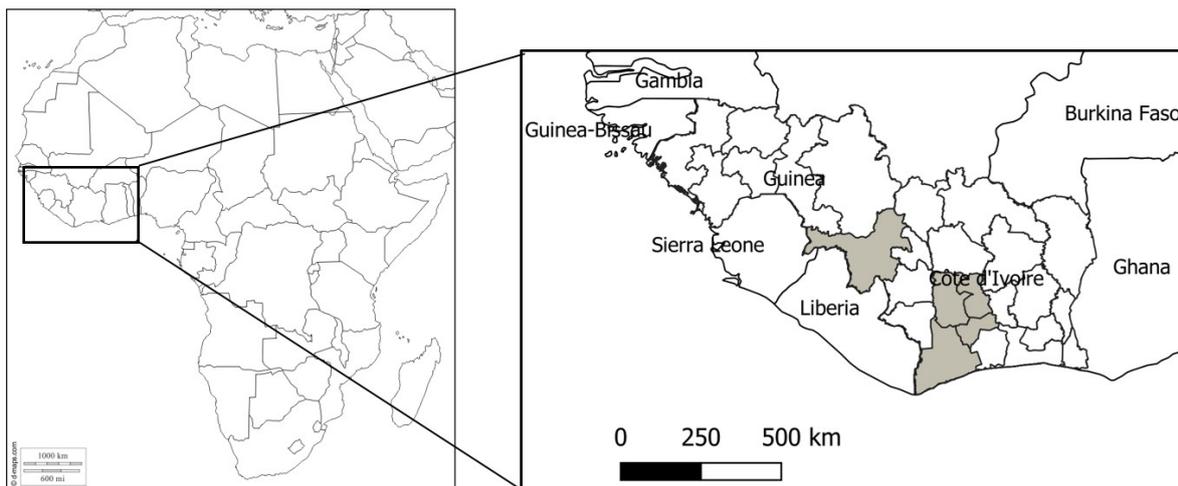


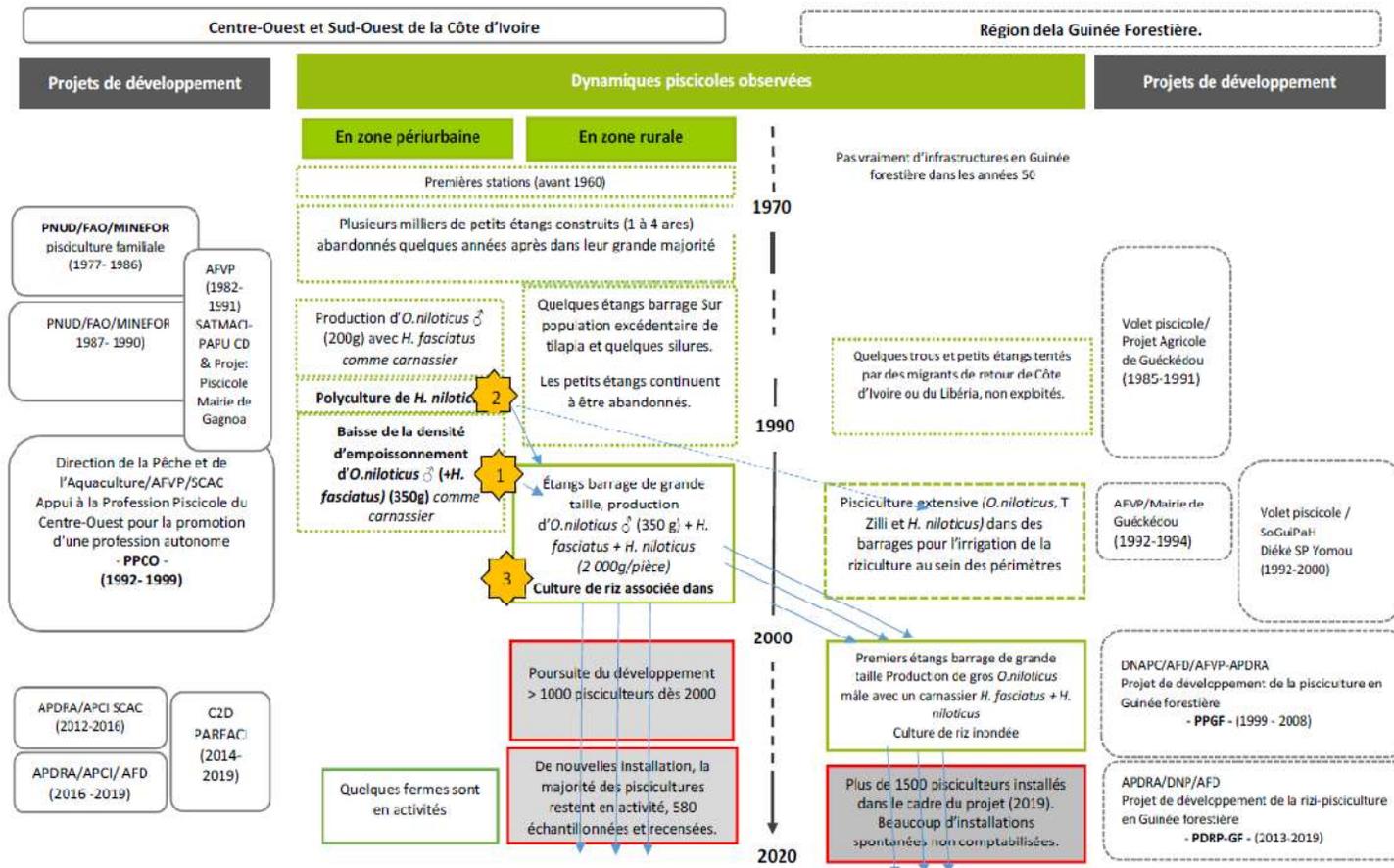
Figure 1 : En gris, les régions de Côte d'Ivoire et de Guinée où sont recensées les piscicultures familiales étudiées

85 Cet article analyse la trajectoire de trois innovations à l'origine de pratiques constitutives des
 86 systèmes d'élevage piscicole aujourd'hui présents en Côte d'Ivoire (Amian et al. 2017 ; Kimou et al.
 87 2016 ; Oswald et al. 2015) et en Guinée (Keita, 2019) : la production de « gros » tilapias dans des
 88 étangs pas ou peu nourris, la polyculture de l'*Heterotis niloticus* et la riziculture inondée avec des
 89 variétés de riz flottant. Une évaluation de leur contribution à l'intensification écologique des
 90 systèmes de pisciculture considérés est ensuite réalisée.

91 L'étude de cas porte sur les régions Centre-Ouest et Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire ainsi que dans le
 92 sud de la région forestière de Guinée (voir figure 1). Ces régions forestières bénéficient d'un climat
 93 de type équatorial avec des précipitations saisonnières abondantes.

94 Les promoteurs de ces développements sont des exploitations familiales de planteurs,
 95 principalement de cacao et café. Le fort développement de ces cultures dans les années 1970 s'est
 96 traduit par une déforestation massive en Côte d'Ivoire au fur et à mesure de l'avancée du front
 97 pionnier. A la fin des années 1980, la limitation de possibilité d'extension a amené les producteurs à
 98 chercher à diversifier leur production. Aujourd'hui, les espèces les plus produites sont le tilapia
 99 (*Oreochromis niloticus*) puis l'*Heterotis niloticus*. En Côte d'Ivoire la plupart des pisciculteurs dispose
 100 d'étangs barrage de l'ordre de 0.3 ha (Oswald 2015 ; Amian et al. 2017).

101 Pour cette étude, le matériel recueilli rassemble des entretiens (85 pisciculteurs et 21 non-
 102 pisciculteurs, 23 interviews de gestionnaires de projets de développement et de responsables
 103 gouvernementaux en charge de la pisciculture) et de la littérature grise issues des projets de
 104 développement, des publications scientifiques et des statistiques nationales des services sectoriels.
 105 La chronologie des actions de développement et de l'émergence des 3 innovations étudiées dans ce
 106 papier est présentée dans la figure 2.



107

Figure 2 : Chronologie de la mise en place et de la diffusion des trois innovations dans les régions étudiées (les étoiles représentent leur apparition : 1 - production de gros poissons, 2 - polyculture de l'*Heterotis niloticus* ou 3 - culture de riz inondé). Les colonnes extérieures à gauche et à droite présentent les principales opérations de développement de la pisciculture dans les régions étudiées en Côte d'Ivoire et en Guinée. Les principales évolutions techniques sont décrites dans les colonnes du centre. Les flèches illustrent le trajet de leur diffusion. Les cartouches grises présentent les pisciculteurs actuels.

108 Si la Côte d'Ivoire a bénéficié dès les années 1970 de projets de développement successifs jusqu'à
109 nos jours, avec une interruption pendant la période de crise, la Guinée n'a fait l'objet d'action de
110 développement piscicole que 10 ans plus tard. La première et la seconde innovation décrites,
111 respectivement la production de gros tilapias en milieu peu ou pas nourris et la polyculture de *H.*
112 *niloticus* ont été initiées dans de petits étangs en zone périurbaine en Côte d'Ivoire (respectivement 1
113 et 2 dans la figure 2). Ces techniques ont ensuite été reprises dans des systèmes d'élevages en étangs
114 barrage de grande taille dans lesquels la culture de riz à grande tige a été intégrée et décrite comme
115 troisième innovation (3 dans la figure 2). Ces 3 innovations sont reprises dans les systèmes d'élevage
116 actuels décrits en Guinée forestière.

117 **Analyses**

118

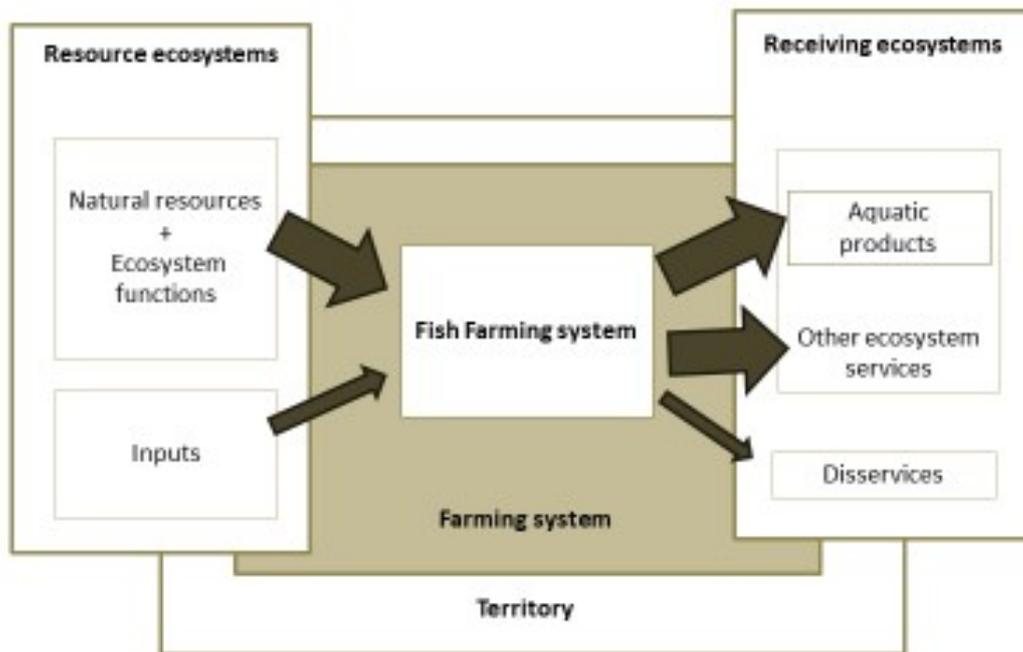
119 Pour chacune de ces trois innovations, l'analyse sera menée en deux parties. Dans un premier temps,
120 en remontant jusqu'à leur première description, cet article propose un récit des conditions de
121 l'émergence de chacune de ces innovations. Pour ce faire, ce récit reprendra la méthodologie de
122 l'étude de cas appliquée aux innovations telle que présentée par Douthwaite et Hoffecker (2017).
123 Elle permet de mettre l'accent sur la complexité du processus d'innovation au travers d'une
124 description du contexte historique de l'émergence de l'innovation, de son mécanisme de mise au
125 point en réponse à des contraintes, et du rôle des différentes personnes et institutions impliquées
126 dans le processus, en particulier les institutions composées de producteurs, celles faisant partie des
127 structures d'encadrement et celles de recherche.

128 L'analyse historique choisie permet de situer les évolutions passées et les hypothèses de
129 développement piscicole formulées à un moment donné dans un contexte donné. Les choix retenus
130 par les producteurs sont analysés au regard des systèmes d'élevage piscicole en place.

131 Dans un deuxième temps, ces innovations seront analysées au regard de leur contribution à
132 l'intensification écologique de l'étang barrage, sur la base du cadre d'analyse proposée par Aubin et
133 al. (2017). Ils proposent 7 principes de l'intensification écologique qui doivent être pris en compte
134 pour apprécier le processus d'intensification écologique. Quatre sont à l'échelle de l'exploitation
135 (tableau 1) et trois sont à l'échelle du territoire (tableau 2).

136 Pour remplir cette grille d'analyse, on compare les contributions additionnelles des 3 innovations
137 dans l'étang barrage. La situation initiale considérée est celle qui préexistait en zone rurale : des
138 étangs barrage pas ou peu nourri avec une population excédentaire de tilapia et quelques silures, le
139 plus souvent des *Heterobranchus isopterus* (Lazard and Oswald 1995 ; Oswald 2013). Les éléments
140 factuels issus de l'ensemble des informations recueillies ont été retenus avec une attention
141 particulière portée aux perceptions des producteurs pour comprendre ce qui a motivé leur choix vis-
142 à-vis de ces innovations. Il faut rappeler que ces processus se sont produits dans des petites
143 exploitations et ont été mis en œuvre par des petits planteurs, les données les renseignant ne sont
144 pas de la nature de celles produites dans le cadre d'une expérimentation.

145 Les deux tableaux (1 et 2) compilent ces informations afin de donner une vision synthétique de la
146 contribution nouvelle de chaque innovation à l'intensification écologique principalement à l'échelle
147 du système d'élevage aquacole puis à l'échelle de l'exploitation agricole et du territoire.



148

Figure 3 : Schéma simplifié des compartiments impliqués dans l'intensification écologique d'un système aquacole (adapté de Aubin et al., 2017)

149 3 Résultats

150 3.1 Le récit des innovations

151 3.1.1 La production de « gros » tilapias dans des étangs pas ou peu nourris

152 Le modèle de pisciculture proposé en Côte d'Ivoire dans les années 1980 est constitué de plusieurs
 153 étangs de dérivation ($\pm 200\text{m}^2$ à 400m^2), d'*O. niloticus* parfois sexés manuellement à la densité de 2
 154 poissons/m² et d'apports d'intrants comme le son de riz (Galbreath and Ziehi, 1988). Les projets de
 155 l'Association Française des Volontaires du Progrès (AFVP) adaptent ce modèle en systématisant
 156 notamment l'usage de *Hemichromis fasciatus* utilisé comme prédateur pour contrôler les
 157 reproductions non désirées issues d'erreurs de sexage ou la prolifération d'espèces indésirables. Ce
 158 système s'est implanté dans des zones périurbaines (Oswald et Copin, 1988). Les hypothèses initiales
 159 visant à transférer les modèles techniques dominants se sont confrontées aux contraintes des
 160 planteurs de ces régions, limités par leurs capacités de trésorerie et par la disponibilité locale de
 161 sources de fertilisation. La petite taille des tilapias produits (autour de 50 g) ne répond pas aux
 162 exigences des populations rurales qui ont accès, dans les années 1990, à un réseau de distribution du
 163 poisson congelé déjà bien implanté. Des tests de commercialisation ont cependant montré qu'au prix
 164 du marché du poisson congelé (500 F CFA/kg), le tilapia frais de plus de 330 g était préféré à
 165 l'ensemble des poissons congelés.

166 Dans le cadre du volet de recherche-développement du Projet Piscicole du Centre-Ouest (PCO -
 167 années 1992 à 1994), des essais réalisés en station et chez des producteurs avaient montré que dans
 168 des étangs pas ou peu nourri, une baisse des densités (0,1 à 0,2 individus/m²) permettait de produire
 169 des tilapias de plus 300 g (Glasser and Oswald, 1997). Mais ces résultats n'avaient pas trouvé de
 170 traduction sur le terrain et le discours du projet était de freiner les demandes d'installations de tous
 171 les nouveaux candidats.

172 La situation bascule lorsque, en 1993, un groupe de cacaoculteurs, candidats à la pisciculture du
173 village de Gnatroa qui avaient démarré des constructions d'étangs de petite taille et non
174 vidangeables, insiste pour que le projet vienne les appuyer. Comme il était rapporté par Oswald
175 (1997) : « Une animation fut tentée pour encourager les gens à arrêter ces constructions dont ils ne
176 tireraient aucun profit. S'ils étaient assez d'accord [...], certains déclarèrent [...] avoir [...] l'intention
177 de continuer [...]. Il [leur] fut donc proposé [...] d'utiliser ce travail pour la réalisation d'installations
178 piscicoles correctes [bonne gestion de l'eau et des poissons, plus grande surface d'eau utilisable] [...].
179 Un groupe de formation fut constitué [...]. [Ses membres] apprécièrent la qualité des nouveaux
180 aménagements [des grands étangs de barrage vidangeables]. Des empoissonnements à très faible
181 densité furent tentés dans ces barrages de grande taille, les croissances furent remarquables et
182 l'engouement se prolongea. [...] En 1995, 21 barrages étaient construits au sein de ce groupe ».

183 C'est sur cette combinaison de pratiques innovantes portée par les paysans que le service
184 d'encadrement va organiser une première diffusion jusque dans les années 1999.

185 Tout en conservant une partie des techniques (tilapia mâle sexé et *Hemichromis* comme prédateur),
186 cette innovation (empoissonnement à très faible densité et grand étang barrage vidangeable) permet
187 à ces promoteurs ruraux de produire de manière attractive de gros poissons, très vite écoulés
188 puisque vendus au prix du poisson congelé.

189 La maîtrise du cycle complet des *O. niloticus* et des *H. fasciatus* auquel sera associé l'*Heterotis*
190 *niloticus* puis la culture du riz (cf. ci-dessous) nécessite un authentique savoir-faire. Ce même
191 référentiel a été promu en Guinée dans le cadre du Projet Piscicole de Guinée Forestière (1999-
192 2008). Pour Simon et Benhamou (2009), cette intervention est à l'origine du plus important
193 développement de pisciculture dans ce pays avec des effectifs passant de 350 producteurs en 2007 à
194 1500 dans le cadre du PDRPGF (Keita, 2019), chiffres ne comptabilisant pas les installations
195 spontanées jugées au moins aussi nombreuses par des sources de terrain.

196 3.1.2 La polyculture du tilapia et de l'*Heterotis*

197 Très tôt, l'*Heterotis* a été repéré par la recherche coloniale ou post indépendance (Moreau, 1982). En
198 Côte d'Ivoire, il est introduit notamment en provenance du Cameroun à la fin des années 50 et les
199 services des Eaux et Forêts en entretiennent des petits effectifs dans leurs stations piscicoles pour
200 l'empoissonnement des retenues. Ce poisson jouit alors d'une très mauvaise réputation culinaire et
201 son prix de vente est le plus bas sur les marchés du poisson frais issus de la pêche continentale (Koffi,
202 1989).

203 En 1987, le service des Eaux et Forêts propose quelques jeunes spécimens au responsable du projet
204 de l'AFVP à Daloa. Au cours d'une discussion avec un pisciculteur expérimenté, ce dernier marque un
205 intérêt pour l'élever malgré la mauvaise réputation du poisson. Il déclare même que, s'il ne peut pas
206 le vendre, la famille le mangera. L'*Heterotis* élevé à des densités très faibles (1 à 3 individus/are) ne
207 montre aucune compétition avec la polyculture en place (*O. niloticus* sexés manuellement à une
208 densité de 2 individus/m² et *H. fasciatus*). Moins d'une année après, de premières reproductions en
209 étang et des récoltes de fingerlings indiquent la voie d'une autonomie possible de l'élevage (Oswald
210 and Copin, 1988). Le pisciculteur affiche une réelle satisfaction vis-à-vis de ce poisson.

211 Autour des années 1990, l'*Heterotis* est élevé en polyculture avec le tilapia dans les petits étangs
212 fertilisés périurbains du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire (Copin and Oswald, 1993). Acheté vivant, un
213 savoir-faire apparaît pour sa commercialisation : si ses organes supra branchiaux sont rapidement
214 retirés, la chair de ce poisson n'a pas mauvais goût, contrairement aux spécimens pêchés dans les
215 lacs. Vendu sur le marché local avec un prix équivalent à celui du tilapia, voire parfois plus élevé, il

216 contribue pour 10 à 20 % de la production de l'étang. Son élevage n'entraîne pas de baisse apparente
217 du rendement du tilapia.

218 Au début des années 1990, en Côte d'Ivoire, suite à la première innovation décrite dans cet article,
219 les projets de développement de la pisciculture vont réorienter leur action vers des systèmes en
220 étangs barrage (Oswald et al., 1997) où *Heterotis* a une contribution beaucoup plus importante au
221 rendement, de l'ordre de 30 % et plus.

222 En 1994, ce poisson est acheminé de Côte d'Ivoire vers la Guinée, avec l'appui de l'AFVP et de
223 l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Il s'agit alors de valoriser par la pisciculture les
224 retenues hydroagricoles de la SOGUIPAH, SOCIÉTÉ GUINÉENNE de Palmier à huile et Hévéa (Hem et
225 al., 2001). Le Projet Piscicole de Guinée Forestière s'approvisionnera auprès de cette société pour
226 constituer son stock initial et généraliser l'élevage de cette espèce.

227 Un recensement des fermes piscicoles de Côte d'Ivoire mené en 2014 montre que *Heterotis niloticus*
228 est la deuxième espèce de poissons les plus élevés (57 %) derrière *Oreochromis niloticus* (97 %)
229 (Kimou et al., 2016). La pratique de cette polyculture d'*O. niloticus* et d'*H. niloticus* initialement
230 observée dans les régions du Centre-Ouest s'est élargie à certaines régions de l'Ouest, de l'Est, du
231 Sud et du Centre (Yao et al., 2017). En Guinée, ce poisson jouit même d'une meilleure position car il a
232 été associé aux premières expériences et était contenu dans les messages du conseil technique dès le
233 départ (Keita, 2019).

234 **3.1.3 La riziculture inondée**

235 Les premières descriptions de riziculture inondée en étangs barrage apparaissent dans le milieu des
236 années 1990, en particulier dans la zone rurale de Gnatroa (cf. innovation 1 ci-dessus). Un planteur
237 d'origine malienne va associer le riz au poisson ; d'après ses voisins, il détenait des variétés de chez
238 lui aptes à prospérer dans de grandes hauteurs d'eau. Le nom donné localement à cette première
239 variété qui était la plus cultivée était le « Djou Keme », c'est-à-dire le grain qui en donne cent (de
240 grains), plus tard la variété améliorée IR4 qui peut être cultivée comme un riz flottant est également
241 utilisée. Cette pratique prend de l'ampleur et amène, à la fin des années 1990, le PPCO à s'interroger
242 sur les interactions entre le riz et le poisson en étang barrage. Les rapports du projet parlent de 30 %
243 de barrages piscicoles cultivés en riz. Niamien (2016) estime que plus de 70 % des pisciculteurs
244 pratiquent la rizi-pisciculture dans au moins un de leurs étangs barrage.

245 En Guinée, dans la zone forestière, à la différence de la Côte d'Ivoire, les bas-fonds convertis en
246 retenues piscicoles au début des années 2000 sont déjà cultivés en riz. La culture du riz dans l'étang
247 barrage est concomitante des premiers cycles piscicoles, les pisciculteurs nouvellement installés
248 ayant bénéficié de conseils, mais aussi d'échanges et de visites avec des producteurs ivoiriens.

249 Toute la surface en eau peut être cultivée, à l'exception de la zone située devant le moine et du lit du
250 cours d'eau. L'utilisation de variétés de riz flottant permet de cultiver le riz avec des hauteurs d'eau
251 dépassant 1 mètre – voire 2 mètres. La connaissance du riz par les paysans guinéens et l'extrême
252 éventail de variétés utilisées (Barry et al., 2008) fait que partout certaines variétés locales sont jugées
253 adaptées : le choix de la variété de riz et sa place dans l'étang devient un sujet de discussion. Un
254 élément technique crucial est la maîtrise de la remontée du niveau d'eau au fur et à mesure de la
255 croissance de la tige de riz (une remontée trop rapide fait que le riz est détruit par les poissons, une
256 remontée trop lente fait que le riz commence son épiaison alors que le barrage n'est pas encore
257 rempli, amputant d'autant la production de poisson). La présence de moine dans chaque étang rend
258 ceci facile. Dès le début du remplissage, les *Hemichromis* et les fingerlings de tilapia d'environ 30 g
259 sont stockés pour le grossissement. La récolte du riz peut avoir lieu sans interrompre le cycle
260 piscicole (Simon and Benhamou, 2009).

261 En Guinée forestière, la pratique de la riziculture inondée est quasi systématique, dans plus de 90 %
262 des étangs barrages. Cet engouement s'explique par le fait que dans l'étang, le labour est supprimé,
263 les plants de riz sont directement repiqués dans la vase lors de l'assec de l'étang et le désherbage se
264 limite à la périphérie de l'étang dans les zones les moins profondes. Le rendement est deux fois
265 supérieur aux rendements du riz de bas fond avant aménagement. Les estimations oscillent entre 1,9
266 et 3,5 t/ha, avec la plupart des données situées entre 2,5 et 2,7 t /ha contre 0,8 à 1,2 t /ha pour les
267 rizières bénéficiant d'un aménagement traditionnel (Delarue et Naudet, 2007).

268 **3.2 Analyse de la contribution à l'intensification écologique**

269 Comme indiqué dans la partie méthode, les changements induits par les 3 innovations décrites sont
270 regroupés à l'échelle du système d'élevage piscicole (Tab. 1) et du territoire (Tab. 2).

271 Les tableaux 1 et 2 montrent des contributions nettes à l'intensification écologique des trois
272 innovations analysées. Dans le contexte où ces innovations sont mises en œuvre, elles génèrent une
273 transition dans le sens de l'intensification écologique dans le milieu spécifique de l'étang de barrage.
274 La première innovation repose sur une transformation de la valeur de la production par rapport à la
275 situation d'un étang surpeuplé de tilapias. Cette innovation a transformé la perception de la
276 rentabilité de la pisciculture pour les paysans de ces régions, en la faisant passer d'une activité de
277 subsistance à une activité commerciale. La deuxième innovation combine des savoirs locaux et des
278 connaissances scientifiques mobilisées en réponse à la demande des producteurs ; elle montre une
279 intensification nette (plus de poisson produit pour la même quantité d'intrant) contre un peu de
280 travail supplémentaire (Copin and Oswald, 1988). La troisième innovation transforme davantage le
281 système : deux productions, une végétale et une animale, se combinent sur le même agrosystème
282 avec leurs contraintes respectives. La valeur produite par unité de surface augmente de façon nette.

283 Le tableau 2 montre que, pour chaque innovation, la dimension territoriale joue un grand rôle. La
284 capacité des producteurs à produire un poisson de taille marchande, se substituant au poisson
285 importé, fait reconnaître cette pisciculture comme une activité économique qui a toute sa place. La
286 coopération entre les producteurs permet d'assurer la transmission des savoirs et le cadre d'échange
287 qui permettra leur diffusion. La reconnaissance par les autorités locales et l'administration, et la
288 promotion de cette aquaculture devient alors possible. La légitimité des dynamiques est d'abord
289 locale à l'échelle des villages, cette reconnaissance est ensuite variable en fonction des pays (les
290 autorités de Guinée lui accordent une place plus importante). Des travaux scientifiques ont participé
291 à cette dynamique : Dabbadie (1996) étudie la viabilité de la pisciculture rurale à faible niveau
292 d'intrants ; pour l'*Heterotis*, les quelques expérimentations menées le sont alors que la technique est
293 déjà largement répandue, il en est de même pour le riz qui a suscité des études dans les deux pays de
294 la part d'institutions scientifiques extérieures aux actions de développement.

295 La séparation des trois trajectoires historiques de ces innovations perd progressivement son sens car
296 elles deviennent associées dans le même système technique ; ainsi, dans les années 2000, certains
297 rizi-pisciculteurs guinéens ont fait de la pisciculture pour les avantages que l'étang barrage offre pour
298 le riz.

299 **Tableau 1** : Caractérisation des changements cumulés par les 3 innovations décrites au travers des 4 principes l'intensification écologique retenus à 'échelle
300 du système d'élevage piscicole par Aubin et al. (2017)

	Innovation 1 : La production de « gros » tilapias dans des étangs pas ou moyennement nourris	Innovation 2: polyculture avec l'<i>Heterotis</i>	Innovation 3 : la riziculture inondée
1 - Minimiser la dépendance aux ressources externes	Les pisciculteurs produisent du tilapia de 250 à 400g sans besoin d'aliment supplémentaire. Précédemment les tilapias produits ne dépassaient pas les 50-100g.	La nouvelle espèce élevée ne nécessite pas d'intrant supplémentaire. Elle est complémentaire sur le plan trophique . La reproduction naturelle d' <i>Heterotis</i> en étang produit quelques centaines d'alevins ou de juvéniles qui s'échangent au sein des réseaux de pisciculteurs. Sa double respiration facilite son transport.	La production de riz (1,9 à 3,5 t/ha) est supérieure à celle des bas-fonds alentours sans intrant spécifique (0,8 à 1,2 t/ha). La fertilité de la parcelle non cultivée est « épargnée ».
2 - Accroître la performance des systèmes d'élevage aquacole et la qualité des produits	Le tilapia de plus de 300 g est bien apprécié par le consommateur (plus de chair/biomasse) et préféré au poisson importé. Il est très demandé.	Le producteur a 30% de poisson à vendre en plus, avec peu de travail en plus. Vendu au même prix que le tilapia, l' <i>Heterotis</i> est qualifié de « bon poisson » grâce au retrait des organes péri branchiaux.	Cette culture ne diminue pas la production de poisson, les restrictions d'eau après le repiquage et la récolte sont compensées par le meilleur entretien de l'étang.
3 - Améliorer la robustesse, la plasticité et la résilience des systèmes par l'intégration de la complémentarité fonctionnelle	Les risques de mévente sont faibles car c'est un produit de grande consommation. La pisciculture s'insère bien dans les autres activités et demande peu de travail supplémentaire. Le chargement en poisson est adapté au gradient des productivités des milieux peu ou pas nourris des étang (de 0,2 à 1 <i>O.n</i> /m ² nourris et de 0,015 à 0,040 <i>O.n</i> /m ² pas nourris). En cas de sécheresse, l'allongement possible des cycles pour garder l'eau de 180j à 320j ne réduit pas trop le rendement.	Deux productions indépendantes (l' <i>Heterotis</i> et le tilapia) et des consommateurs différents rendent plus robuste le système. La vente additionnelle d'alevins d' <i>Heterotis</i> est possible et génère des revenus. L' <i>Heterotis</i> empêche la prolifération des mollusques dont celle des bulins hôtes intermédiaires de la bilharziose (<i>Bulinus sp.</i>).	Le travail sur le riz est allégé (pas de labour, peu de désherbage). La gestion de l'eau dans l'étang barrage sécurise la production (peu de risques de crue ou de sécheresse). La lame d'eau bloquée élimine les adventices. Le riz limite le développement de plantes aquatiques envahissantes (nénuphars, <i>Pistias</i>).
4 - Diversifier les services écosystémiques marchands des systèmes aquacoles	Gage de qualité et de fraîcheur, le poisson local est prisé par les consommateurs et disponible toute l'année.	Ce nouveau produit, un gros poisson (1 à 2 kg/individu), est adapté à d'autres consommations au village (plats festifs de familles nombreuses). Les différentes productions sont combinées sur un même site avec d'éventuelles ventes d'alevins.	Le riz est d'abord produit pour l'auto consommation de la famille, le poisson est surtout vendu tout en assurant l'essentiel des besoins familiaux. Globalement, augmentation de 60 % de la valeur annuelle produite.

302 **Tableau 2** : Caractérisation des changements induits par les 3 innovations au travers des 3 principes l'intensification écologique retenus à l'échelle du
 303 territoire par Aubin et al. (2017).

	Innovation 1 : La production de « gros » tilapias dans des étangs pas ou moyennement nourris	Innovation 2: polyculture de l'<i>Heterotis</i>	Innovation 3 : la riziculture inondée
1 - Promouvoir la reconnaissance des services et valoriser les compétences et le savoir-faire	<p>Le poisson est apprécié dans les villages. De plus, il permet de générer une richesse supplémentaire en donnant l'opportunité aux transformatrices locales de le cuisiner, tandis que d'autres femmes se spécialisent dans sa commercialisation vers les villes périphériques. Ces faits sont une source de fierté.</p> <p>Les noyaux de producteurs en se densifiant, améliorent la performance des services : (sennes, alevins) et l'échange de savoirs.</p> <p>La coopération est encouragée par des structures de développement autour de l'information et l'organisation des services.</p>	<p>L'<i>Heterotis</i> est le poisson spectacle dans les piscicultures par sa grande taille (jusqu'à 3,5 kg dans les étangs) et ses sauts et confirme le savoir-faire acquis.</p> <p>L'achat et l'échange d'alevins d'<i>Heterotis</i> dynamise des réseaux professionnels.</p> <p>De nouvelles connaissances et de nouveaux savoirs sont transmis, des questions se partagent comme « le sexe des <i>Heterotis</i> ».</p> <p>Des connaissances de la recherche sont diffusées.</p>	<p>Des variétés locales de riz inondé à cycle long se diffusent spontanément au sein des réseaux où les connaissances et savoir-faire rizicoles sont valorisés. Au sein des réseaux locaux, les savoir-faire se peaufinent : sélection des variétés en fonction de la lame d'eau ou gestion des empoisonnements de la lame d'eau.</p> <p>Les pisciculteurs s'inscrivent dans une saisonnalité pour la culture du riz afin de mutualiser le risque lié aux oiseaux.</p>
2 - Améliorer l'intégration territoriale des systèmes aquacoles en favorisant la production de services écosystémiques non marchands	<p>Ce système productif est reconnu comme faisant partie de la culture agricole territoriale.</p> <p>Les retenues sont assimilées à des réserves d'eau et comme un atout contre les feux de brousses</p> <p>Ce système restaure des zones humides pérennes</p>	<p>L'<i>Heterotis</i> est devenu l'un des symboles de cette pisciculture au niveau local.</p> <p>L'<i>Heterotis</i> fait partie intégrante d'une culture agricole et culinaire de ces territoires.</p>	<p>La culture de riz contribue à l'entretien de l'étang et au maintien de ses services</p> <p>La variété de riz en fonction de la lame d'eau est questionnée par la recherche.</p> <p>Les organisations de producteurs se revendiquent en Guinée de « pisci-riziculteurs ».</p> <p>Cette production est affichée par les pouvoirs publics en Guinée pour l'autosuffisance alimentaire.</p>
3 - Adapter des dispositifs et instruments de gouvernance territoriale et faire participer les parties prenantes	<p>La reconnaissance de cette activité par les autorités locales facilite les transactions foncières périphériques à l'aménagement des étangs et la reconnaissance de la propriété privée des poissons produits.</p> <p>Des organismes de développement impliquent la recherche.</p>	<p>L'<i>Heterotis</i> est facile à lever et il participe à la reconnaissance de celle-ci.</p>	<p>La pisci-riziculture est perçue comme un marqueur du développement en Guinée forestière.</p> <p>Les organismes de développement facilitent la participation des acteurs, en particulier des pisciculteurs, à la mise au point et à la validation de l'innovation.</p>

304 4 Discussion

305 4.1 Spécificités de ces innovations

306 Ces trois innovations en étang de barrage ont des trajectoires qui s'appuient sur de nombreuses
307 étapes antérieures qu'il convient de rappeler (manipulation des poissons, gestion de l'eau,
308 reproduction des poissons et des approvisionnements pour les empoisonnements, gestion des
309 ventes...).

310 L'absence de travaux conséquents de recherche montre que l'émergence de ces innovations n'a pu
311 avoir lieu que par la valorisation des paysans comme principal acteur de ce développement. Pourtant
312 souvent analphabètes et faisant face à des problèmes de trésorerie récurrents, ils disposent d'une
313 remarquable connaissance de leur environnement. Ces trois initiatives illustrent aussi des
314 bifurcations ou des remises en cause, où le modèle initialement proposés est mis de côté.
315 L'opportunité de la nouvelle technique dépend à certains moments clés intégralement du (ou des)
316 paysan(s) pisciculteur(s) qui vont apprécier la technique testée sur des registres qui ne sont pas
317 vraiment intelligibles aux structures d'appui. Ces dynamiques interrogent indirectement les
318 dispositifs de recherche-action où l'implication du chercheur dépend de la sollicitation de sa
319 discipline dans la résolution de la question (Fielke et al., 2018). Enfin, elles se démarquent d'une
320 certaine vision de l'entrepreneuriat qui porterait le développement (Bush et Marschke, 2014) et où
321 les innovations renforceraient la spécialisation et le fonctionnement entrepreneurial du pisciculteur,
322 le conduisant à toujours se spécialiser davantage (Belton et al., 2018).

323 Joffre et al., (2017), montrent que jusqu'au milieu des années 2000, la majorité des travaux de
324 recherche sur l'innovation en aquaculture se caractérisaient par une approche axée sur la levée des
325 barrières techniques : principalement dans une logique linéaire de transfert de technologies, parfois
326 au travers d'approches basées sur l'analyse des systèmes de production. La dimension sociale de
327 l'innovation, fruit d'interactions et de négociations entre acteurs aux effets difficilement prévisibles,
328 n'est cependant pas suffisamment prise en compte alors qu'elle est capitale (Long 1989; Olivier de
329 Sardan, 2005). En aquaculture, Douthwaite et Hoffecker (2017) soulignent à travers deux études de
330 cas conséquents de l'intervention d'institutions de recherche, que le processus d'innovation ne
331 produit pas forcément les résultats escomptés et mobilise des interactions complexes telles que la
332 revendication d'une question commune, de premiers résultats appropriés, des habitudes de partage
333 d'expérience et de discussion.

334 Il est aussi intéressant de s'interroger sur la convergence possible de ces innovations avec d'autres
335 processus en cours. Certaines pratiques similaires comme l'élevage de gros tilapias et d'*Heterotis*
336 dans des étangs barrage, sont par exemple décrites à l'est du Cameroun (Oswald et al., 2015), elles
337 marquent probablement une réponse à une demande portée par les paysans bien au-delà des
338 contextes étudiés ici.

339 Ces processus correspondent à certains axes du changement de paradigme pour une aquaculture
340 écologique défini par Costa Pierce (2002) : intégration de l'écologie et du social, démarche de
341 partage des connaissances et de promotion de l'innovation, prise en compte des préoccupations
342 relatives aux contextes sociaux, économiques et environnementaux plus larges que le seul contexte
343 de l'aquaculture. Cependant la promotion de cette voie passe toujours par la question de comment
344 donner aux paysans davantage de moyens pour innover en ce sens (Edwards, 1998).

345 4.2 Bases écologiques des processus d'intensification

346 Un excès de poissons en étang, en effectif et en biomasse, a des besoins nutritionnels supérieur à ce
347 que la capacité biotique du milieu peut apporter (Hepher, 1989). Le nanisme dans les étangs

348 surpeuplés de tilapias serait provoqué par l'impossibilité de couvrir les besoins d'alimentation et de
349 reproduction notamment. Pour la première innovation, une gestion robuste de la densité par
350 l'utilisation d'un prédateur strict combiné à l'empoisonnement quantifié de fingerlings mâles de
351 tilapias (qui ont les meilleures capacités de croissance) explique la conversion de la productivité du
352 milieu en une production de qualité.

353 La polyculture de l'*Heterotis* avec le tilapia, même si elle est fréquente, a été peu étudiée, et à notre
354 connaissance, la complémentarité des niches des deux espèces dans l'étang n'a pas fait l'objet d'un
355 protocole expérimental rigoureux. Pourtant les très nombreuses observations du terrain et
356 l'interprétation partagée par les acteurs concernés est que les deux productions sont
357 complémentaires en étang. Plusieurs auteurs l'ont rapporté (Copin and Oswald, 1993 ; Oswald et al.,
358 2002). Le régime alimentaire de l'*Heterotis* est éclectique, composé de certains zooplanctons, de
359 détritiques, de graines, d'insectes, de petits mollusques et d'éléments variés ramassés sur le fond
360 (Monentcham et al., 2009 ; Adite et al., 2013). Il n'est nulle part indiqué que ce régime est
361 significativement différent de celui du tilapia même si certains éléments de son régime (les
362 ostracodes et les mollusques) ne font pas partie du régime du second. A ce stade cette
363 complémentarité repose sur la combinaison probable de niches trophiques sensiblement différentes
364 et de synergies positives liées au comportement fouisseur de l'*Heterotis*, en mesure de remettre en
365 circulation du benthos et des éléments de la vase. L'absence de bilharziose dans les étangs où il est
366 présent a été rapportée (Simon et Benhamou, 2009).

367 L'intégration du riz flottant modifie le fonctionnement de l'étang. Il est tout à fait surprenant de
368 constater que, du point de vue des producteurs il n'y pas de baisse sensible de la production de
369 poisson, ceci est aussi rapporté en rizipisciculture en casier (Halwarth et Gupta, 2004). Le
370 détournement d'une partie de l'énergie lumineuse et le prélèvement d'éléments minéraux pour la
371 croissance du riz ne se fait pas au détriment de la production piscicole, tout comme la baisse de l'eau
372 lors du repiquage et de la récolte. Il est vraisemblable que d'autres relations positives compensent
373 ces apparentes relations négatives (Wan et al., 2019) : la consommation du périphyton sur les tiges
374 par les tilapias, le recyclage d'éléments de la vase de l'étang et la modification de celle-ci par les
375 racines de la plante, le recyclage des pailles de riz. La pratique du riz inondé est enfin une façon
376 d'entretenir le barrage et d'exercer une pression sur les végétaux flottants (nénuphars et pistias) qui
377 sont une véritable nuisance. Cette intégration agriculture-aquaculture permet une production de
378 poisson aussi efficace qu'en absence du riz et une production de riz plus efficiente que la riziculture
379 de bas-fond traditionnelle.

380 Une fois ces innovations devenues des pratiques routinières, l'augmentation de la production induite
381 ne dépend pas de la mobilisation de ressources supplémentaires, à part du travail additionnel. Le
382 fond de roulement nécessaire à l'élevage est donc mieux valorisé. Comme déjà indiqué par Koffi et
383 al. (1993) dans le contexte de ces agricultures, les producteurs restent contraints par leurs ressources
384 en trésorerie conduisant notamment à un accès limité aux intrants. Les changements se traduisent
385 par une amélioration de l'efficacité du système et de leur autonomie en privilégiant des ressources
386 et fonctions naturelles disponibles, de façon très originale. Comme le mentionnait déjà des auteurs
387 comme Altieri (2002) ou Edwards (2015), les petits producteurs pauvres sont les meilleurs acteurs de
388 l'agroécologie.

389 Dans les autres principes qui définissent l'intensification écologique, la promotion des savoir-faire
390 locaux et l'ancrage dans la culture agricole des territoires viennent s'ajouter aux services apportés. Il
391 est à noter que les processus ayant conduit à l'émergence de ces innovations ne s'inscrivaient pas, au
392 départ, dans une gestion territoriale intégrée ; rétroactivement elles semblent bien y participer.

393 **Conclusion**

394 Les processus ayant conduit à l'émergence de ces innovations n'étaient pas prévisibles et sortent de
395 toutes les trajectoires promues. Ces trois innovations ont contribué à une augmentation de la
396 production en volume (espèce complémentaire en polyculture – production de riz associée) ou/et en
397 valeur (gros poisson mieux valorisé sur le marché) en privilégiant des ressources et fonctions
398 naturelles disponibles, de façon originale. Ces processus améliorent l'intégration territoriale des
399 systèmes aquacoles, leur ancrage dans la culture agricole et la valorisation des compétences et du
400 savoir-faire local. Ici et bien que ce ne soit pas systématique, les contraintes d'investissement et de
401 trésorerie limitée ont poussé les paysans à valoriser les ressources et services écologiques et il n'est
402 pas si surprenant que les résultats des innovations concourent à une intensification écologique. Mais
403 ces trajectoires d'innovation ont aussi participé à lever des verrous au développement d'une
404 pisciculture paysanne marchande porteuse de dynamiques locales et de lutte contre l'insécurité
405 alimentaire dans les campagnes. Le recours à des entrepreneurs spécialisés n'est pas à la base de ces
406 développements.

407 Donner une véritable place aux petits producteurs dans le processus de mise au point de nouvelles
408 techniques, est un préalable à l'intensification écologique de ce type d'aquaculture. Mais, au-delà,
409 ces évolutions militent pour reconsidérer l'intérêt de la promotion de modèles de pisciculture
410 intégrés aux exploitations paysannes, en questionnant les modalités pour tendre à davantage
411 d'efficacité agro-écologique et économique.

412 Remerciements. Les auteurs reconnaissent le soutien indéfectible de Domenico Caruso de l'IRD,
413 Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, pour ses commentaires très utiles. Nous
414 sommes reconnaissants envers Kim Agrawal pour sa précieuse aide à la traduction.

415

416 **References**

417 Adite A, Gbankoto A, Toko I, Fiogbe E. 2013. Diet breadth variation and trophic plasticity behavior of
418 the African bonytongue *Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829) in the Sô River-Lake Hlan aquatic system
419 (Benin, West Africa): Implications for species conservation and aquaculture development. *Natural*
420 *Science*, 5, 1219-1229.

421 AFD, EC, GIZ. 2017. Opportunities and challenges for aquaculture in developing countries. Joint
422 report. 21 p. European Commission. [https://europa.eu/capacity4dev/file/65255/download?token=](https://europa.eu/capacity4dev/file/65255/download?token=ZDky6Mfb)
423 [ZDky6Mfb](https://europa.eu/capacity4dev/file/65255/download?token=ZDky6Mfb)

424 Aguilar-Manjarrez J, Nath SS. 1998. A strategic reassessment of fish farming potential in Africa. *CIFA*
425 *Technical Paper.No.32*. Rome, FAO.170p.

426 Altieri MA. 1989. Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture.
427 *Agriculture, Ecosystems & Environment*.27: 37–46.

428 Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in
429 marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 1–24.

430 Amian AF, Wandan EN, Blé MC, Vanga AF, Kaudhjis PJA. 2017. Etude des déterminants
431 socioéconomiques et techniques de la pisciculture extensive en Côte d'Ivoire. *European Scientific*
432 *Journal, ESJ* 13(6), 389.

433 Aubin J, Callier M, Rey-Valette H, Mathé S, Wilfart A, Legendre M, Slembrouck J, Caruso D, Chia E,
434 Masson G, Blancheton J-P, Ediwarman, Haryadi J, Prihadi TH, de Matos Casaca J, Tamassia STJ, Toc-

- 435 queville A, Fontaine P. 2017. Implementing ecological intensification in fish farming: definition and
436 principles from contrasting experiences. *Rev. Aquacult.* 1–19.
- 437 Barry MB, Diagne A, Pham JL, Ahmadi N. 2008. Évolution récente de la diversité génétique des riz
438 cultivés (*Oryza sativa* et *O. glaberrima*) en Guinée. *Cahiers Agricultures* vol. 17(2) : 122-127.
- 439 Belton B, Hein A, Htoo K, Kham LS, Phyoe AS, Reardon T. 2018. The emerging quiet revolution in
440 Myanmar’s aquaculture value chain. *Aquaculture* 493, 384–394.
- 441 Blythe J, Sulu R, Harohau D, Weeks R, Schwartz A.M, Mills D, Philips M. 2017. Social dynamics shaping
442 the diffusion of sustainable aquaculture innovations in the Solomon Islands. *Sustainability*, 9, 126.
- 443 Bush SR, Marschke MJ. 2014. Making social sense of aquaculture transitions. *Ecology and Society*
444 19(3): 50.
- 445 Chan CY, Tran N, Pethiyagoda S, Crissman CC., Sulser TB, Phillips MJ. 2019. Prospects and challenges
446 of fish for food security in Africa. *Global Food Security.* 20, 17–25.
- 447 Copin Y, Oswald M. 1993. Orientations des techniques d'élevage de la pisciculture artisanale dans le
448 Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. In : Barnabé G, Kestemont P (Eds.), Production, environnement and
449 quality. Bordeaux Aquaculture 92. European Aquaculture Society. Special publication n° 18, Ghent,
450 Belgium, pp. 407-419.
- 451 Costa-Pierce BA. 2002. Ecological Aquaculture. Blackwell Science, Oxford, UK.
- 452 Dabbadie L. 1996. Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale a faible niveau d'intrants dans le
453 Centre-Ouest de la Cote d'Ivoire : approche réseau trophique. These de doctorat Université de Paris
454 VI 208p.
- 455 Delarue J, Naudet D. 2007. Aménagement de bas-fonds en Guinée Forestière. Ex-post Série Note de
456 Synthèse n°2, septembre 2007, 6p. AFD - RCH / EVA, Agence Française de Développement, Paris.
- 457 Douthwaite B, Hoffecker E. 2017. Towards a complexity-aware theory of change for participatory
458 research programs working within agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*.155 : 88–
459 102.
- 460 Edwards P, Zhang W, Belton B, Little DC. 2019. Misunderstandings, myths and mantras in
461 aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine*
462 *Policy*.106, 103547.
- 463 Edwards P. 2015. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends.
464 *Aquaculture* 447, 2–14.
- 465 Edwards P. 1998. A systems approach for the promotion of integrated aquaculture. *Aquaculture Eco-*
466 *nomics & Management* 2, 1–12.
- 467 FAO. 2020. Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2018 (FishstatJ).
468 In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 2020.
469 www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en
- 470 FAO Fisheries Department, Inland Water Resources and Aquaculture Service. 2004. Aquaculture ex-
471 tension in sub-Saharan Africa. *FAO Fisheries Circular*. No. 1002. Rome, FAO. 55p.
- 472 Faure G, Chiffolleau Y, Goulet F, Temple L, Touzard J.M. 2018. Innovation et développement dans les
473 systèmes agricoles et alimentaires. Ed Quae 260 p.

- 474 Fielke S.J, Botha N, Reid J, Gray D, Blackett P, Park N, Williams T. 2018. Lessons for co-innovation in
475 agricultural innovation systems: a multiple case study analysis and a conceptual model. *The Journal*
476 *of Agricultural Education and Extension* 24, 9–27.
- 477 Galbreath P.F, Ziehi A.D. 1988. Pratique de l'élevage monosexé de *Tilapia nilotica* en milieu rural en
478 Côte d'Ivoire. In G. Bernacsek, H. Powles (éds) *Aquaculture systems research in Africa. IDRC.*
479 *Proceedings of a workshop held in Bouaké, Côte d'Ivoire 14-17 november 1988*, pp. 337-356.
- 480 Glasser F, Oswald M. 2001. Correlation between fish density and yield: a predictive model. *Aquatic*
481 *living resources*. 14: 319-326.
- 482 Halwart M, Gupta M.V. (eds.) 2004. Culture of fish in rice fields. FAO and The WorldFish Center, 83 p.
- 483 Hem S, Curtis MY, Sene S, Sow MA, Sagbla C. 2001. Pisciculture Extensive en Guinée Forestière
484 Modèle de développement intégré et rizipisciculture. Rapport final. 85 p. Document Ministère de la
485 Pêche et de l'Aquaculture - Soguipah-IRD.
- 486 Hopher B, Milstein A, Leventer H, Teltsch B. 1989. The effect of fish density and species combination
487 on growth and utilization of natural food in ponds. *Aquaculture Research* 20, 59–71.
- 488 HLPE, 2014. Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition. A report by the
489 High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security,
490 Rome 2014.
- 491 Hoffecker E. 2018. Local Innovation: what it is and why it matters for developing economies. D-Lab
492 Working Papers: NDIR Working Paper 01. Cambridge: MIT D-Lab
- 493 INS, 2014, Enquête cadre sur l'aquaculture en Côte d'Ivoire, Rapport d'enquête MIRAH/JICA, 38 p.
- 494 Joffre O, Klerkx L, Dickson M, Verdegem M. 2017. How is innovation in aquaculture conceptualized
495 and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action.
496 *Aquaculture* 470, 128-148.
- 497 Kapetsky JM. 1994 A strategic assessment of warm water fish farming potential in Africa. *CIFA*
498 *Technical Paper*. No. 27. Rome, FAO. 67p.
- 499 Keita S. 2019. Guinean Fish-Rice culture. In: Report of the Special Session on Advancing Integrated
500 Agriculture Aquaculture through Agroecology, Montpellier, France, 25 August 2018. FAO Fisheries
501 and Aquaculture Report No. 1286. Rome. pp.150-161.
- 502 Kimou NB, Koumi RA, Koffi MK, Atsé CB, Ouattara IN, Kouamé PL. 2016. Utilisation des sous-produits
503 agroalimentaires dans l'alimentation des poissons d'élevage en Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*
504 25(2).
- 505 Koffi C., Oswald M., Lazard J. 1993. Développement rural de la pisciculture du tilapia en Afrique :
506 comment passer du mythe à la réalité ? In RSV. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D
507 Pauly (éds) Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture. *ICLARM. Conf Proc* 41,
508 pp. 565-566.
- 509 Koffi C. 1989. Conclusions et recommandations de l'étude "aspects économiques de la production en
510 étang". Extrait d'une thèse de doctorat. Université nationale de Côte d'Ivoire, Faculté des sciences
511 économiques. Centre ivoirien de recherches économiques et sociales, Abidjan. 189p.
- 512 Lazard J, Oswald M. 1995. Association silure africain-tilapia: polyculture ou contrôle de la reproduc-
513 tion? *Aquatic Living Resources*. 8: 455-63.

- 514 Long N. 1989. Introduction: the raison d'être for studying rural development interface. In: Long N
515 (ed.), Encounters at the Interface: A Perspective on Social Discontinuities in Rural Development,
516 Wageningen: Wageningen Agricultural University, 276 p.
- 517 Monentcham SE, Kestemont P, Kouam J, Pouomogne V. 2009. Biology and prospect for aquaculture
518 of African bonytongue, *Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829): A review. *Aquaculture*, 289 (3-4), 191-198.
- 519 Moreau J. 1982. Exposé synoptique des données biologiques sur *Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829).
520 FAO *Synop.Pêches*. (131) :45 p.
- 521 Morissens P, Oswald M, Sanchez F. 1993. Approche de nouveaux modèles d'exploitation piscicole
522 adaptés au contexte rural ivoirien. In RSV. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D Pauly
523 (éds) Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture. *ICLARM. Conf Proc* 41, pp.
524 130-141.
- 525 Niamien KJ. 2016. Diagnostic des piscicultures dans les zones assistées par le PRPCI. Mémoire de
526 Master, Département de Géographie, Université Alassane Ouattara - Bouaké. 68 p. Document
527 APDRA.
- 528 Olivier de Sardan JP. 2005. *Anthropology and Development: Understanding Contemporary Social*
529 *Change*, Zed Books, 243 p.
- 530 Oswald M, Mikolasek O, Meké P, Blé CM, Effole TE, Vanga F, Toko II, Tomedi ME. 2015. Lessons
531 learnt from a review of extensive fish farming inside family plantations economie through West
532 Africa and of their contribution to the local value chain. In: Gritti ES. (ed.), Wery J (ed.). FSD5
533 Proceedings: Multi-functional farming systems in a changing world. ESA, Agropolis International.
534 Montpellier: European Society of Agronomy. International Symposium for Farming Systems Design,
535 pp. 527-528
- 536 Oswald M. 2013. La pisciculture extensive, une diversification complémentaire des economies de
537 plantation. In: Ruf F, Schroth G. (Eds). *Cultures perennes tropicales enjeux économiques et écolo-*
538 *giques de la diversification. Quae update sciences and technologies*. Montpellier France, pp. 165-183.
- 539 Oswald M, Glasser F, Laubier F. 2002. Techniques de pisciculture: gestion technico-économique des
540 étangs. In: GRET (Ed), CIRAD, Ministère Français des Affaires Etrangères. Memento de l'agronome,
541 texte supplémentaire, no. 122, CD du Memento de l'agronome.
- 542 Oswald M, Glasser F, Sanchez F, Bamba V. 1997. Reconsidering rural fish farming development in
543 Africa. In: Fitzsimmons K Nraes(Eds.), *Tilapia Aquaculture, Proceedings from the Fourth International*
544 *Symposium on Tilapia in Aquaculture*, New York USA. vol II, pp. 499-511.
- 545 Oswald M. 1997. *Recomposition d'une société au travers de plusieurs crises: la société rurale bété.*
546 *Thèse de doctorat*, 2 vol 386 p, Institut National Agronomique Paris.
- 547 Oswald M, Copin Y. 1988. Le volet piscicole de la SATMACI-PAPU CD. In: Bernacsek GM, Powles H.
548 (Eds), *Aquaculture Systems research in Africa. Proceedings of a workshop held in Bouaké, Côte*
549 *d'Ivoire*, 14-17 november 1988, Centre de recherches, pp. 383-394.
- 550 Prein M, Ofori JK, Lightfoot C. 1996. Research for the future aquaculture development in Ghana.
551 *ICLARM Conf Proc* 42, 94p.
- 552 Simon D, Benhamou JF. 2009. Rice-fish farming in Guinée Forestière – outcome of a rural
553 development project. *Field Actions Sci. Rep.* 2: 49–56.
- 554 Wan N, Li S, Li T, Cavalieri A, Weiner J, Zheng X, Ji X, Zhang J, Zhang H, Zhang H, et al. 2019. Ecological
555 intensification of rice production through rice-fish co-culture. *J. Clean. Prod.* 234 : 1002–1012.

556 Yao AH, Koumi AR, Atse BC, Kouamelan EP. 2017. État des connaissances sur la pisciculture en Côte
557 d'Ivoire. *Agronomie Africaine*. 29(3), pp.227-244.