

Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun

Thomas Efole Ewoukem

▶ **To cite this version:**

Thomas Efole Ewoukem. Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun. Sciences du Vivant [q-bio]. AGROCAMPUS OUEST, 2011. Français. NNT : . tel-02808587

HAL Id: tel-02808587
https://hal.inrae.fr/tel-02808587

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° ordre : 2011 - 28
N° Série : H - 84

THESE AGROCAMPUS OUEST

Sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

pour obtenir le grade de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT SUPERIEUR DES SCIENCES AGRONOMIQUES, AGRO-ALIMENTAIRES, HORTICOLES ET DU PAYSAGE
Spécialité : Halieutique

Ecole Doctorale : «Vie Agro Santé»

présentée par :

Thomas EFOLE EWOUKEM

Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun



Soutenue le 1er décembre 2011:

Membres du jury :

MARIOJOULS Catherine	Professeur AgroParisTech (Présidente)
FONTAINE Pascal	Professeur URAFPA UHP Nancy1 (Rapporteur)
BOSMA Roël H.	Docteur Université de Wageningen Pays-Bas (Rapporteur)
TOMEDI EYANGO Minette	Maître de Conférence, ISH, Univ. Douala Cameroun (membre)
MIKOLASEK Olivier	Chercheur CIRAD (Co-encadrant)
OMBREDANE Dominique	Professeur Agrocampus-Ouest (Directrice)

Encadrement de la thèse :
OMBREDANE Dominique (Co-directrice de thèse, Professeur Agrocampus- Ouest, Rennes), TCHOUMBOUE Joseph (Co-directeur de thèse, Professeur émérite, Université de Dschang, Cameroun), AUBIN Joël, Ingénieur de Recherche UMR INRA- Agrocampus Ouest SAS, Rennes), MIKOLASEK Olivier **(**Chercheur, CIRAD UMR IFREMER-CIRAD INTREPID, Montpellier)

Laboratoires d'accueil :
UMRs INRA-Agrocampus Ouest « Sol Agro et Hydrosystème et Spatialisation » et « Ecologie et Santé des Ecosystèmes » à Rennes (France) / Ichtyologie et Hydrobiologie appliquée à la FASA de l'Université de Dschang (Cameroun)

Comité de pilotage de thèse :

Dominique OMBREDANE,	Professeure Agrocampus Ouest, UMR 0985 INRA-Agrocampus Ouest « Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Rennes France
Joseph TCHOUMBOUE,	Professeur émérite Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et Sciences Agricoles, Département des productions animales, Cameroun
Joël AUBIN,	Ingénieur de recherche, UMR 1069 INRA-Agrocampus Ouest « Sol Agro et Hydrosystème et Spatialisation », Rennes France
Olivier MIKOLASEK,	Chercheur CIRAD Département PERSYST, UMR110 IFREMER-CIRAD INTensification Raisonnée et Ecologie pour une Pisciculture Durable, Montpellier France
Minette TOMEDI EYANGO,	Associate professor Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Laboratoire d'Ichtyologie et d'Hydrobiologie Appliquée, Département de Foresterie, Cameroun
Jérôme LAZARD,	Chercheur (HDR), Direction Générale déléguée à la Recherche et à la Stratégie - Direction des relations européennes et internationales (Dgdrs-drei),CIRAD Montpellier
Jean-Noël GARDEUR ,	Maître de conférences, Faculté des Sciences Université Henri Poincaré Nancy1, UR « Animal et Fonctionnalité des Produits Animaux »
Victor POUOMOGNE,	Maître de recherche IRAD Foumban , Cameroun
Catherine DISENHAUS	Professeure Agrocampus Ouest, UMR 1080 INRA-Agrocampus-Ouest « Production du lait », Rennes France

A mes parents et ma petite famille

Remerciements

Ce travail de recherche de thèse n'a pu se réaliser que grâce au concours de nombreuses personnes à qui j'exprime ma reconnaissance et ma profonde gratitude.

Tout d'abord mes directeurs de thèse Dominique OMBREDANE et Joseph TCHOUMBOUE, pour toutes les opportunités qu'ils m'ont offerts au cours de cette thèse. Une reconnaissance particulière à Dominique OMBREDANE pour ses conseils, son soutien et ses efforts multiformes déployés au cours de ce travail de thèse.

Je voudrais ensuite exprimer ma gratitude à Olivier MIKOLASEK qui m'a donné la chance de réaliser cette thèse dans le domaine de l'aquaculture. Je souhaite aussi le remercier pour le temps qu'il a consacré à ma thèse, nos discussions constructives, ses efforts multiples à la recherche des financements ainsi qu'à la réalisation des travaux de terrain et l'intégration familiale.

Merci du fond du cœur à :

A Joël AUBIN, pour m'avoir permis de réaliser cette thèse au sein de l'UMR 1069 AGROCAMPUS-INRA SAS de Rennes, mon insertion dans l'équipe ACV de l'INRA de Rennes, la découverte et l'initiation à l'outil d'analyse environnementale (ACV) ainsi que pour l'attention familiale qu'il m'a toujours réservé lors de mes séjours à Rennes.

A Minette TOMEDI EYANGO Epse TABI, pour ses efforts sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu se terminer, pour m'avoir ouverte les portes du petit monde de l'aquaculture ainsi que pour l'insertion au sein de l'équipe du Laboratoire d'Ichtyologie et d'Hydrobiologie Appliquée, au Département de Foresterie de la faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang et plus largement dans la communauté universitaire Camerounaise.

A Jean Noël GARDEUR, pour l'initiation à la méthode des plans fractionnaires ainsi qu'à quelques outils de modélisation.

Aux membres du comité de thèse qui ont toujours répondu présent et qui ont contribué à recadrer et faire avancer ces travaux de recherche: Jérôme LAZARD, Victor POUOMOGNE, Cathérine DISENHAUS.

Je remercie aussi vivement :

Tout le personnel de l'INRA SAS avec qui j'ai partagé mes temps de séjour en France et plus particulièrement Chantal GASCUEL, directrice de l'unité pour son accueil et soutien, Yannick FAUVEL, Béatrice TRINKLER et tout le pôle analytique pour les analyses des échantillons, Cédric DURANT et Thierry TROCHET pour des réglages informatiques, Paul ROBIN, Melinda HOUSSANA et Marcel LECOMTE pour la mise au point du dispositif de collecte des gaz d'étang,

L'équipe du Laboratoire ESE de l'AGROCAMPUS-OUEST centre de Rennes pour leur encouragement et soutien,

Tout le personnel de la réprésentation du CIRAD au Cameroun et particulièrement Sylvie LEWICKI DHAINAUT et Jean-Luc BATTINI respectivement ancienne et actuel Directeur régionale d'Afrique Centrale du CIRAD, pour leur soutien,

L'ensemble des membres de l'UMR110 CIRAD-IFREMER INTREPID et quelques personnes de l'UMR INNOVATION du CIRAD pour leur soutien,

L'équipe CIP (conception de l'inovation piscicole) et les membres du Laboratoire d'Ichtyologie et d'Hydrobiologie Appliquée (LABIHA) du Département de Foresterie de la FASA-UDs pour l'aide à la collecte de données et leur soutien,

Les responsables de l'Université de Dschang et particulièrement ceux de la FASA et le vice-recteur, Pr Jean ONGLA pour les facilitations des démarches administratives et le soutien,

Tous les organismes : le Ministère Français des Affaires Etrangères (MAE) via le Service de Coopération et d'Action culturel (SCAC) de l'ambassade de France au cameroun, le CIRAD, les UMR Agrocampus- INRA SAS, le laboratoire Agrocampus ESP, l'Uds, le CIFORD, l'APDRA

et l'IRAD ainsi que les pisciculteurs de Fokoué, Batié,Santchou et la ferme Agropiscicole d'Alou en région Ouest; Messeng, Yemesoa, Yaoundé et la ferme agropiscicole d'ESSE en région centre pour le financement et ou la facilitation dans la collecte de données de ce travail de thèse,
Mes collègues ACVistes et experts en analyses environnementales : Aurélie WILFART, Joachim BOISSY, Emmanuelle GARRIGUES, Fabienne SEGUIN, Yannick BIARD, Abdeljalil DRISSI, Miranda MAYBANK, Claver KANYARUSHOKI, Tam MUNGKUNG, Nouraya AKKAL, Elisabeth SAMSOM, Thomas MERLE, Hayo van der WERF, Hanh NGUYEN THI TUYET et un merci particulier à Michael CORSON pour ses aides multiples,
Aux doctorants avec qui on a partagé nos peines et nos joies : Ivonne ACOSTA-ALBA**,** Vamilson PRUDENCIO da SILVA, Adam ISSOUFOU, Bertrand MEDA, Luth, Cédric Le GUILLOU, Mathieu ROUXEL, Pierre MOREAU et tous les autres,
A tous ceux qui ont contribué à ma thèse par des discussions, données, des méthodes.

Merci à mes amis qui ont facilité l'adaptation au milieu rennais et à la Bretagne.

Un merci particulier à ma compagne Carole NGOH-NDE, mes frères ainés Camile ESSELEM et Nicole NGOUMOUA, mes cousines Béatrice ESSANG, Virginie EDIMO et Pauline SEME, mes amis Roger Claude AKONO Pierre NZOH et Amos NATA de m'avoir aidé à garder confiance et à rester positif dans chaque étape de ce travail.

Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun

Résumé :

L'objectif est de déterminer quelles sont les voies d'amélioration de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) en Afrique. Trois approches ont été réalisées : une typologie suivie d'une évaluation environnementale par Analyse du Cycle de Vie (ACV) des types de pisciculture et une expérimentation sur l'influence de facteurs de production du système. Quatre types de pisciculture et formes d'intégration au sein de l'EFA se distinguent au Cameroun. L'ACV des pisciculture analysées montre que les impacts environnementaux varient avec les pratiques. Ces résultats se révèlent importants comparés à ceux d'autres systèmes aquacoles équivalents à cause de leur faible rendement et de l'origine d'apports trophiques. La gestion de l'eau est un des facteurs de production responsable de la faiblesse des rendements. Une expérimentation en plan multifactoriel fractionnaire montre que la densité d'empoissonnement et l'ajout de pain, remoulage, chaux ou de cendre influent sur le rendement agronomique et économique d'une polyculture Tilapia - Clarias. L'urée et la cendre se sont révélées néfastes pour l'environnement, de par les rejets respectivement azotés et phosphatés qu'elles engendrent. Émergent deux logiques de pisciculture durable : (1) à faible densité (1,2 poissons/m²) et à faibles niveau d'intrants et (2) à forte densité d'élevage (2,2 poissons/m²) avec des espèces associées et fort niveau d'intrants. Ces deux stratégies peuvent répondre aux objectifs des producteurs selon le contexte socio-économique.

Mots clés : Polyculture en étang - Typologie - Analyse du Cycle de Vie - Plan factoriel fractionnaire - Exploitation Familiale Agricole - Cameroun.

Biotechnical optimization of fish farming in ponds within the sustainable development of family farms in Cameroon

Abstract:

To determine ways to improve fish farming in ponds within the framework of sustainable development of family farms in Africa, a three-step approach was performed: classification of fish farming systems, assessment of their environmental impacts via Life Cycle Assessment (LCA), and an experiment to identify the factors that most influence them. Four types of fish farm and forms of integration within family farms in Cameroon were classified. The LCA showed that environmental impacts of analyzed fish farms varied with farm practices. These results were higher compared to those of similar aquaculture systems because of their low yields and different origins of trophic inputs. Poor water management is one production factor responsible for low yields in Cameroon. The experiment, following a fractional factorial design, showed that stocking density and addition of bread, wheat bran, lime or ash to ponds acted on the agronomic and economic performances of tilapia and catfish polycultures. In particular, urea and ash have been found harmful to the environment due to the discharges of nitrogen and phosphate they generate, respectively. Two rationales for sustainable fish farming emerged from this study: (1) low stocking density (1.2 fish/m²) with low levels of inputs and (2) high stocking density (2.2 fish/m²) with associated species and high levels of inputs. Together, these strategies can meet the economic and sustainability objectives of producers in different socio-economic contexts.

Keywords: Pond polyculture - Classification - Life Cycle Assessment - Fractional factorial design - Family farms - Cameroon

Sommaire

Liste des tableaux iv
Liste des figures vi
Liste des abréviations x
Glossaire xi

Introduction générale 1
La pisciculture en Afrique subsaharienne 1
Aperçu général de la pisciculture Camerounaise 2
Problématique et démarche 4
Cadre institutionnel 6

Chapitre 1 : La pisciculture en étang au sein des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) au Cameroun **7**
1.1. Les concepts d'EFA et de système de production 7
1.1.1. Exploitation familiale agricole (EFA) 7
1.1.2. Le système de production 8
1.1.3. Typologies et diagnostic des EFA 8
1.2. La production piscicole en étang 9
1.2.1. Structure d'un étang de pisciculture et modes d'alimentation en eau 9
1.2.2. Fonctionnement d'un étang piscicole 11
1.3. Les assemblages d'espèces de la polyculture en Afrique sub-saharienne 13
1.3.1. Le Tilapia, *Oreochromis niloticus* (figure 1.7 A) 14
1.3.2. L e Clarias, *Clarias gariepinus* (figure 1.7 B) 15
1.3.3. L a carpe commune, *Cyprinus carpio*) (figure1.7 C) 16
1.3.4. L e Silure, *Clarias jaensis* (figure1.7 D) 16
1.3.5. Autres espèces 17
1.3.6. Densité d'empoissonnement et rendement 17
1.4. Les apports en nutriments et éléments minéraux 18
1.4.1. Les amendements minéraux 18
1.4.2. Les fertilisants (nutriments) 19
1.4.3. Les apports alimentaires 22
1.5. Principales intégrations des piscicultures en étang aux systèmes de production agricole 23
1.6. Conclusion 25

Chapitre 2 : Rôle et place de la pisciculture dans le fonctionnement des exploitations familiales agricoles des régions Centre et Ouest du Cameroun 26
2.1. Revue de la littérature et cadres théoriques 26
2.2. Méthodologie 29
2.2.1. Les zones d'étude 29
2.2.2. Méthodes d'étude 31
2.3. Résultats 37
2.3.1. Caractéristiques générales des Exploitation Familiales Agricoles 37
2.3.2. Typologie des systèmes de pisciculture 43
2.4. Discussion 47
2.4.1. Une structuration du milieu local différenciée 47
2.4.2. Des stratégies piscicoles sous contraintes. 48
2.4.3. Des interactions entre ateliers de production 50
2.5. Conclusion 51

Chapitre 3 : Analyse environnementale des systèmes de pisciculture intégrés dans les EFA 53
3.1. L'analyse environnementale et l'analyse de Cycle de Vie (ACV) 54
3.1.1. Les analyses environnementales en aquaculture 54
3.1.2. L'Analyse du cycle de vie 55
3.1.3. Les catégories d'impact utilisées dans les ACV analysant la production aquacole 58
3.2. Les rejets des piscicultures 62
3.2.1. Les différents types de rejets des étangs piscicoles 62
3.2.2. Quantification des rejets des étangs 64
3.3. Matériel et méthodes 66
3.3.1. Sites d'étude 66
3.3.2 Mise en œuvre de la démarche ACV 67
3.4. Résultats 75
3.4.1 Comparaison des méthodes de calcul des rejets 75
3.4.2. Résultats de l'analyse ACV 79
3.4.3. Contribution des processus aux différentes catégories d'impacts 82
3.5. Discussion 82
3.5.1. Limites du travail 82
3.5.2. Efficacité des systèmes 85
3.5.3. Impacts environnementaux 87
3.6. Conclusion 88

Chapitre 4 : Optimisation agro-environnementale et économique d'un système semi intensif de pisciculture en étang 90
4.1. Matériel et méthodes 91
4.1.1. Plan d'expérience 91
4.1.2. Moyens mobilisés pour l'expérience 96
4.1.3. Mise en Place et déroulement de l'expérience 101
4.1.4. Suivi des paramètres de la qualité de l'eau 102
4.1.5. Traitement des données 103
4 .2. Résultats 106
4.2.1. La qualité de l'eau du milieu d'élevage 106
4.2.2. Performances des différentes combinaisons 107
4.2.3. Effet des facteurs sur les performances zootechniques du Tilapia et du Clarias 112
4.2.4. Effets des facteurs sur les performances agro-économiques du système étudié 121
4.2.5. Effets des facteurs sur les Performances environnementales 125
4.2.6. Récapitulatif 126
4.3. Discussion 126
4.4. Conclusion 133

Chapitre 5 : Discussion générale et perspectives 134
5.1. Apports et limites méthodologiques de la démarche 135
5.1.1. Contexte et typologie des systèmes de pisciculture intégrés dans les EFA . . 135
5.1.2. Evaluation agro-environnementale des systèmes de pisciculture 135
5.1.3. Optimisation agro-environnementale et économique du système de pisciculture en étang 137
5.1.4. Les apports et les limites de la démarche globale proposée 138
5.2. Intensification et durabilité des systèmes de production piscicole 138
5.2.1. Les piscicultures les plus extensives 140
5.2.2. Les piscicultures les plus intensives 140
5.2.3. Les piscicultures de petite taille 140
5.3. L'amélioration des systèmes de pisciculture en étangs au Cameroun 141

Conclusion générale et perspectives 143

Références bibliographiques 145

Annexes

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Familles et caractéristiques d'autres espèces de polyculture en étang au Cameroun 17

Tableau 1.2 : Rendement et poids moyen final de Tilapia monosexe (*Oreochromis niloticus*) élevé en étang en Afrique sub-saharienne en fonction de la densité d'élevage et un même niveau d'intrants (adapté d'après Dabbadie, 1996 ; Glasser et Oswald, 2001*)* 18

Tableau 1.3 : Composition en (en % de Matière sèche) de quelques végétaux et fruits couramment utilisés pour l'alimentation des poissons ou comme fertilisants (d'après Pouomogne, 2005; Friot, 2002) 20

Tableau 1.4 : Indice de conversion et taux de croissance de la biomasse totale obtenu en étangs extensifs de polyculture *Oreochromis niloticus -Clarias gariepinus* à partir de quelques sous-produits végétaux *(*Brummett *et al.*, 2005) 21

Tableau 1.5 : Composition en (en % de Matière sèche) des déjections de quelques animaux domestiques (Source : Kumar et Ayyapan, 1998 ; Tuan *et al*., 2006) 21

Tableau 1.6.: Quantités et fréquence des apports de différents types de fertilisant et compléments alimentaires 23

Tableau 1.7 : Association et rendement (t/ha/an) en pisciculture d'étang (Dabbadie et Lazard, 2002 ; Kumar et Ayyappan, 1998 ; Mikolasek *et al*., 2006 et 2009b) 24

Tableau 1.8 : résumé des performances écosystémiques de trois systèmes intégrés aquaculture /agriculture (adapté de Jamu et Piedrahita, 2002a) 24

Tableau 2.1 : Niveau d'intensification et gestion des apports trophiques dans les systèmes aquacoles (Tacon 1997, d'après Edwards 1993) 27

Tableau 2.2 : Quelques typologies des systèmes aquacoles en étang en zone inter tropicale 28

Tableau 2.3 : Matrice des choix des exploitations par niveau d'intensification et taille (adapté de Lazard *et al.*, 2009) 32

Tableau 2.4 : Unités de mesure locale (UmL) et équivalent de mesure conventionnel (Kg) pour diverses productions végétales et animales 33

Tableau 2.5 A-C : Variables et modalités des variables retenues pour l'analyse 34

Tableau 2.6.: Quelques traits de caractères généraux des ateliers de productions végétales et d'animaux terrestres des deux régions 41

Tableau 2.7 : Quantité de poisson récoltée, sa répartition et la part de la pisciculture dans le revenu agricole brut de l'exploitation 43

Tableau 2.8. : Variables utilisées pour la typologie 44

Tableau 2.9. Typologie des ateliers piscicoles des régions Centre et Ouest du Cameroun 46

Tableau 3.1 : Facteurs de caractérisation pour trois catégories d'impact de quelques émissions vers l'air, l'eau et le sol. (d'après Guinée *et al.*, 2002 ; Forester *et al.*, 2007) 58

Tableau 3.2 : Quantités d'eau nécessaires pour quelques systèmes d'élevage de poisson (Phillips *et al*., 1991 ; Papatryphon *et al.*, 2004a ; Aubin *et al.*, 2006 et 2009) 61

Tableau 3.3 : Quantités de Matières En Suspension (MES) et Nutriments exportés au cours de la vidange d'un étang de 1ha 63

Tableau 3.4 : Pourcentages de N, P, C fixés par le poisson et les sédiments et non justifiés en fin d'élevage, dans les systèmes semi-intensif sen étang en Asie, évalués par la méthode hydrologique. Adapté de Verdegem (2007) 66

Tableau 3.5 : Modes de gestion piscicole des cycles de production utilisés dans l'étude 68

Tableau 3.6 : Caractéristiques des fermes 69

Tableau 3.7 : Paramètres, méthodes et matériels utilisés lors des analyses des eaux et vases 74

Tableau 3.8 : Balance de l'azote (kg) suivant les méthodes « bilan nutritionnel » et « hydrologique » à l'échelle des étangs par type d'exploitation. Les données ne sont pas rapportées à l'unité de surface 76

Tableau 3.9 : Balance du phosphore (kg) suivant les méthodes « bilan nutritionnel » et « hydrologique » à l'échelle de l'étang par type d'exploitation Les données ne sont pas rapportées à l'unité de surface 77

Tableau 3. 10 : Impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit par fermes et type d'exploitations étudié 79

Tableau 3.11 : Matrice de corrélation entre les catégories d'impacts et les caractéristiques fonctionnelles des fermes étudiées. (Coefficient de Pearson significatif à r= 0, 456) 81

Tableau 3.12 : Moyennes par type de ferme (semi-intensif de moyenne et petite taille, extensif) des contributions relatives des processus aux différentes catégories d'impact en kg et % par tonne de poisson produit 83

Tableau 3.13 : Impacts potentiels par tonne de poisson produit dans les différents types d'exploitation semi-intensif (moyenne et petite taille) et extensif comparé à PV (système semi-intensif de polyculture de poisson intégré à la production végétale au Brésil - Casaca, 2008) et TF (ferme intensive de truite en France - Aubin *et al*., 2009) 87

Tableau 4.1 : Différentes façons d'utiliser 16 unités expérimentales selon le plan d'expérience choisi 92

Tableau 4.2 : Facteurs et modalités testés dans le plan factoriel incomplet 95

Tableau 4.3 : Matrice du plan factoriel fractionnaire (2^{8-4}) utilise au cours de l'expérience 97

Tableau 4.4 : Combinaisons testées par bassin 97

Tableau 4.5 : Composition en carbone (C), azote (N), phosphore (P) et potassium (K) en % MS des intrants utilisés dans l'expérience d'après la littérature 101

Tableau 4.6 : Paramètres, matériels et méthodes utilisés pour les analyses physico-chimiques de l'eau des étangs 102

Tableau 4.7 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes (8 contrôles) de l'eau des bassins durant la période d'élevage du 13/02/2010 au 16/06/2010. Moyennes extrêmes en gras 106

Tableau 4.8 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les différents paramètres physico-chimiques moyens de l'eau 107

Tableau 4.9 : Quelques performances zootechniques des différentes combinaisons étudiées 108

Tableau 4.10 : Quelques performances agro-économiques globales des différentes combinaisons- La définition de toutes ces grandeurs est détaillée dans le texte au paragraphe 4.1.5.b 109

Tableau 4.11 : Bilan relatif d'azote (N) et phosphore (P) fixés et rejetés par les différentes combinaisons étudiées par unité expérimentale de 25m². Entrées = N et P apportés par les intrants ; les alevins ne sont pas pris en compte. Fixées = N et P constituant toute la biomasse GB tot en poisson produite (paragraphe 4.1.5) 111

Tableau 4.12 **:** Effets (+ : positif, - : négatif) des facteurs simples et interactions sur les paramètres zootechniques des espèces *Oreochromis niloticus* (Tilapia) et *Clarias gariepinus* (Clarias). Les facteurs et interaction sont classés selon leur ordre d'importance d'effets (*** très important, **, moyennement important, ….). Avec CVETR = Coefficient de Variation de l'Ecart Type Résiduel et R^2 = coefficient de détermination . 120

Tableau 4.13 : Effets (+ : positif, - : négatif) des facteurs simples et interactions sur les paramètres agro-économiques et environnementaux étudiés. Les facteurs et interaction sont classés selon leur ordre d'importance d'effets (*** très important, **, moyennement important, ….). Avec CVETR = Coefficient de Variation de l'Ecart Type Résiduel et R^2 = coefficient de détermination 127

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de la production aquacole et de quelques principales espèces élevées au Cameroun (1977-2008) d'après (FAO, 2008) 3

Figure 1.1 : Les principaux types d'étang piscicoles (D'après Bard *et al.*, 1974) 9

Figure 1.2 : Différents types d'étang de pisciculture au Cameroun (photos T. Efolé-Ewoukem et D. Ombredane) 10

Figure 1.3 : Différents types d'étang de barrage selon leur mode d'alimentation en eau (D'après Arrignon, 1998) 11

Figure 1.4 : Etang de barrage, (A) simple, (B) avec canal de contournement (D'après Coche *et al.*, 1994) 11

Figure 1.5 : Cycle biologique d'un étang piscicole (d'après Banas, 2001) 12

Figure 1.6 : Réseaux trophiques d'un étang (Arrignon, 1998 ; Verdegem, 2007) 13

Figure 1.7 : Principales espèces d'association en polyculture au Cameroun 15

Figure 2.1 : Régions du Centre et de l'Ouest et les localisations des fermes étudiées . . 30

Figure 2.2 : Exploitation familiale agricole avec des relations entre systèmes et sous-systèmes 32

Figure 2.3 : Quelques caractéristiques socio-professionnelles des producteurs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun 37

Figure 2.4 : Activités principales et secondaires des producteurs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun 38

Figure 2.5 : Répartition (%) de la superficie totale des exploitations par région 38

Figure 2.6 : Mode d'acquisition du foncier dans deux régions du Cameroun 39

Figure 2.7 : Caractéristique de la main d'œuvre utilisée dans 31 EFA des régions Ouest et Centre du Cameroun 39

Figure 2.8 : Nombre et superficie des étangs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun 41

Figure 2.9 : Associations principales et secondaires d'espèces retrouvées dans les pisciculture des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun 42

Figure 2.10 : Illustration graphique des 2 premiers axes et des classes de pisciculture de 45

Figure 2.11 **:** Types d'exploitations familiales agricoles des régions Centre et Ouest du Cameroun en fonction du degré d'interrelations entre les ateliers de production et l'environnement socio-économique 50

Figure 3.1 : Cadre méthodologique d'une ACV: les quatre étapes de l'ACV d'après ISO 14040:2006 (ILCD, 2010) 55

Figure 3.2 : Démarche générale de l'analyse de l'impact des émissions (D'après la figure 5.5 *in* Démarche générale de l'analyse de l'impact des émissions sur les sujets à protéger, Jolliet *et al.*, 2010) 57

Figure 3. 3 : Différentes formes de rejets des piscicultures en étang 63

Figure 3.4 : Principe d'évaluation des flux d'azote et phosphore dans les différents compartiments d'un étang de pisciculture 65

Figure 3.5 : Arborescence des processus constituants le système de production de poisson (par soucis de simplification, les rejets ne figurent pas dans le schéma, mais ils existent au niveau de chaque production) 70

Figure 3.6 : Contributions relatives des différents processus aux impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit dans les fermes par type d'exploitation : A) Eutrophisation potentielle ; B) changement climatique potentiel ; C) Acidification potentielle ; D) Energie utilisée ; E) utilisation de la production primaire nette ; F) surface utilisée ; G) Dépendance à l'eau ; H) travail humain 84

Figure 4.1 : Exemple de graphes de Daniel - A : aucun facteur n'a d'effet significatif - B : Les facteurs représentés par les lettres C, E, G, F qui s'écartent de la droite normale sont potentiellement actifs (Gardeur, com. pers.) 93

Figure 4.2 : Caractéristiques d'un étang de la structure expérimentale 96

Figure 4.3 : Disposition des bassins expérimentaux en deux rangées (a) et détail d'un bassin (b) 98

Figure 4.4 : Plan de masse de la plateforme expérimentale de la FAR les étangs expérimentaux bâches sont numérotés de 1 a 16 et les deux autres bassins de stockage sont notés S . . 99

Figure 4.5 : Graphe de Daniel permettant de rechercher les facteurs et interactions de facteurs ayant un effet sur le poids moyen final du Tilapia (les lettres A à M sont les sigles représentant les facteurs ou les interactions de facteurs ou les groupements d'interactions de facteur : voir en annexe 6) 112

Figure 4.6 : Effet des interactions de facteurs densité*pain (A) et densité*carpe (B) et du facteur simple remoulage (C) sur le poids moyen final (Pmf) du Tilapia –les poids moyens ayant le même index (a, b, c ou d) sont significativement semblables 113

Figure 4.7 : Effet de l'interaction densité*Silure sur le coefficient de variation du poids (CVp) du Tilapia – le même index a de tous les CVp traduit le fait qu'ils ne sont pas significativement différents 114

Figure 4.8 : Effet des interactions des combinaisons de facteurs densité*cendre (A), cendre*Silure (B), densité*remoulage (C), cendre*pain (D) et densité*pain (E) sur le taux de croissance spécifique (TCs) du Tilapia – 0cendre correspond à la modalité sans cendre - les TCs ayant le même index (a, b, c ou d) sont significativement semblables 115

Figure 4.9 : Effet des interactions de facteurs pain*cendre(A) chaux*Urée (B) sur le coefficient de condition K du Tilapia - les coefficients de condition ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables 116

Figure 4.10 : Effet des interactions de facteurs densité*pain (A) et chaux*cendre (B) sur la survie du Tilapia - les taux de survie ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables 117

Figure 4.11 : Effet des facteurs simples pain(A) et densité(B) sur le poids moyen final (Pmf) du *Clarias gariepinus* les poids finaux ayant le même index (a, ou b) sont significativement semblables 117

Figure 4.12: Effet d'interaction carpe*cendre sur le coefficient de variation du poids (CVp) du *Clarias gariepinus*, – Tous les CVp sont statistiquement équivalent (même index a) . . 118

Figure 4.13 : Effets des facteurs simples pain (A) et densité (B) sur le taux de croissance spécifique (TCs) du *Clarias gariepinus* – Les TCs ayant le même index (a, ou b) sont significativement semblables 118

Figure 4.14 : Effets des interactions Carpe*chaux(A), densité*chaux(B), des facteurs simples cendre(C), Urée(D) et Silure(E) sur le coefficient K du *Clarias gariepinus* - Les valeurs de K ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables 119

Figure 4.15 : Effet des interactions densité*pain(A), pain*remoulage(B) et du facteur simple cendre (C) sur le gain de biomasse totale (GBtot) du système - Les valeurs de GBtot ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables 121

Figure 4.16 : Effet du facteur simple pain(A) et de l'interaction Carpe*chaux sur la biomasse des alevins de Tilapia (BioAlv) - Les valeurs de BioAlv ayant le même index (a ou b) sont significativement semblables 122

Figure 4.17 : Effet des interactions densité*pain(A) et pain*remoulage sur le revenu brut (Rb) - Les valeurs de Rb ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables 122

Figure 4.18 : Effet des interactions des facteurs Carpe*cendre(A), Carpe*Urée(B) ; Silure* remoulage (C) et densité* Sillure (D) sur la marge relative sur le coût des Alevins (Malev). Les valeurs de Malev ayant les index (a, b ou c) sont statistiquement semblables 123

Figure 4.19 : Effet des interactions des facteurs chaux*cendre(A), chaux*Urée(B) et des facteurs simples pain(C) et remoulage (D) sur la marge relative sur le coût des aliments et fertilisants (Mint)- Les valeurs de Mint ayant le même index (a, b ou c) sont statistiquement semblables 124

Figure 4.20 : Effets des interactions de facteurs chaux*cendre(A) et carpe*cendre(B) sur la marge brute totale (Mtot). Les valeurs de Mtot ayant les mêmes index (a, b ou c) sont statistiquement semblables 125

Figure 4.21 : Effets simples Urée(A) et remoulage(B) sur la quantité d'azote (Nt) rejetée. Les valeurs de Nt ayant les mêmes index (a ou b) sont significativement semblables 125

Figure 4.22 : Effets d'interaction de facteur carpe*cendre(A) et du facteur simple remoulage (B) sur la quantité de phosphore (Pt) rejeté. Les valeurs de Pt ayant les mêmes index (a, b ou c) sont statistiquement semblables 126

Figure 5.1 : Démarche adoptée pour identifier les voies d'amélioration de la pisciculture en étang 134

Figure 5.2 : Optimisation de l'utilisation des nutriments et de la gestion de l'eau de l'étang 142

Liste des abréviations et acronymes

Abréviations	Désignations
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADD	Agriculture et Développement Durable
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANR	Agence Nationale de la Recherche
APDRA	Association Pisciculture et Développement Rural en Afrique tropicale humide
CEE	Communauté Economique Européenne
CFA	Communauté Financière Africaine
CIFORD	Centre d'Information, de Formation et de Recherche pour le Développement
CIRAD	Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement
CORAF / WECARD	Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles /West and Central African Council for Agricultural Research and Development
EFA	Exploitation Familiale Agricole
ESE	Ecologie et Santé des Ecosystèmes
EVAD	Evaluation de la Durabilité des Systèmes Aquacoles
FAO	Food and Agriculture Organization / organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FAR	Ferme d'Application et de Recherche
FASA-UDs	Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles - Université de Dschang
GES	Gaz à Effet de Serre
HCCI	Haut Conseil de la Coopération Internationale
ICV	Inventaire de Cycle de vie
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
INTREPID	INTensification Raisonnée et Ecologie pour une Pisciculture Durable
IRAD	Institut de Recherche Agronomique pour le Développement
ISH	Institut des Sciences Halieutiques
ISO	International Standard Organisation/Organisation Internationale de Normalisation
LabIHA	Laboratoire d'Ichtyologie et d'Hydrobiologie Appliquée
MES	Matière En Suspension
MINEPIA	MINistère de l'Elevage, des Pêches et des Industries Animales
NEPAD	Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique
OECD / OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development / Organisation pour la Cooperation et le Développement Economiques
OMD	Objectif du Millénaire pour le Développement
PCP-GSC	Pôle de Compétence en Partenariat du Grand Sud Cameroun
PVCOC	Projet pour une Pisciculture Vilageoise Rentable dans les régions Centre et Ouest du Cameroun
RCI	République de Côte d'Ivoire
REPARAC	Renforcement des Partenariats dans la Recherche Agronomique au Cameroun
SAS	Sol Agro et Hydrosystème Spatialisation
UE	Unité Expérimentale
UF	Unité Fonctionnelle
UMR	Unité Mixte de Recherche

Glossaire

(Adapté de NF EN ISO 14044, Octobre 2006 ; AFNOR, 2006)

Affectation : imputation des flux entrant ou sortant d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres systèmes de produits.

Affirmation comparative : déclaration relative à la supériorité ou à l'équivalence en matière d'environnement d'un produit par rapport à un produit concurrent qui remplit la même fonction.

Analyse de sensibilité : procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats d'une étude des choix concernant les méthodes et les données.

analyse d'incertitude : procédure systématique permettant de quantifier l'incertitude introduite dans les résultats d'un inventaire du cycle de vie par les effets cumulés de l'imprécision du modèle, de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données NOTE Cette analyse d'incertitude se fonde soit sur des plages, soit sur des lois de probabilité.

Analyse du cycle de vie (ACV) : compilation et évaluation des intrants, des extrants (sortants) et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.

Catégorie d'impact : classe représentant les points environnementaux étudiés à laquelle les résultats de l'inventaire du cycle de vie peuvent être affectés.

Coproduit : l'un quelconque de deux produits ou plus issus d'un processus élémentaire ou d'un système de produits.

Critères de coupure : spécification de la quantité de flux de matière ou d'énergie ou du niveau de signification environnementale associés aux processus élémentaires ou au système de produits devant être exclus d'une étude.

Cycle de vie : phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à leur élimination finale.

Déchet : substances ou objets que le détenteur a l'intention d'éliminer ou qu'il est tenu d'éliminer

Émissions : émissions dans l'air et rejets dans l'eau et le sol.

Énergie procédé : apport d'énergie nécessaire dans un processus élémentaire pour mettre en oeuvre le processus ou faire fonctionner l'équipement correspondant, à l'exclusion des entrants énergétiques de production et de livraison de cette énergie.

Évaluation de l'impact du cycle de vie: phase de l'analyse du cycle de vie destinée à comprendre et évaluer l'ampleur et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie.

Extrant : flux de produit, de matière ou d'énergie sortant d'un processus élémentaire Les produits et les matières comprennent des matières premières, des produits intermédiaires, des coproduits et des émissions.

Facteur de caractérisation : facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie L'unité commune permet le regroupement des résultats dans un même indicateur de catégorie.

Flux de produits : produits entrant ou sortant d'un système de produits en direction d'un autre.

Flux de référence : mesure des sortants des processus, dans un système de produits donné, nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.

Flux élémentaire : matière ou énergie entrant dans le système étudié, qui a été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable, ou matière ou énergie sortant du système étudié, qui est rejetée dans l'environnement sans transformation humaine ultérieure.

Flux énergétique : entrant ou sortant d'un processus élémentaire ou d'un système de produits, exprimé en unités d'énergie. Le flux énergétique entrant peut être appelé intrant, et le flux énergétique sortant, extrant.

Flux intermédiaire : flux de produit, de matière ou d'énergie intervenant entre des processus élémentaires du système de produit étudié.

Frontière du système : ensemble de critères qui spécifient quels processus élémentaires font partie du système de produits Le terme «frontière du système» n'est pas utilisé dans la présente Norme internationale en relation avec l'évaluation de l'impact du cycle de vie.

Impact final par catégorie : attribut ou aspect de l'environnement naturel, de la santé humaine ou des ressources permettant d'identifier un point environnemental à problème.

Indicateur de catégorie d'impact : représentation quantifiable d'une catégorie d'impact L'expression condensée «indicateur de catégorie» est utilisée tout au long du texte de la présente Norme internationale pour une meilleure lisibilité.

Interprétation du cycle de vie : phase de l'analyse du cycle de vie au cours de laquelle les résultats de l'analyse de l'inventaire ou de l'évaluation de l'impact, ou des deux, sont évalués en relation avec les objectifs et le champ définis pour l'étude afin de dégager des conclusions et des recommandations.

Intrant auxiliaire : matière entrante utilisée dans le processus élémentaire, mais ne faisant pas partie du produit.

Intrant : flux de produit, de matière ou d'énergie qui entre dans un processus élémentaire.

Inventaire du cycle de vie (ICV) : phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.

La définition est extraite de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination (22 mars 1989) mais ne se limite pas, dans la présente Norme internationale, aux déchets dangereux.

Les produits et les matières comprennent des matières premières, des produits intermédiaires et des coproduits.

Mécanisme environnemental : ensemble de processus chimiques, biologiques et physiques pour une catégorie d'impact donnée, reliant les résultats de l'inventaire du cycle de vie aux indicateurs de catégorie d'impact et aux impacts finaux par catégorie.

Processus élémentaire : plus petite partie prise en compte dans l'inventaire du cycle de vie pour laquelle les données d'entrant et de sortant sont quantifiées.

Processus : ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des entrants en sortants.

Produit intermédiaire : sortant d'un processus élémentaire qui est un entrant vers d'autres processus élémentaires parce qu'il nécessite une transformation ultérieure au sein du système.

Produit : tout bien ou service (les services représentent des éléments matériels et immatériels). Un produit matériel est généralement tangible et sa quantité est une caractéristique dénombrable. Les matières issues de processus sont généralement tangibles et leur quantité est une caractéristique continue.

Qualité des données : caractéristiques des données reposant sur leur capacité à répondre aux exigences requises.

Remoulage de blé : coproduit de la fabrication de farine à partir de grains de blé tendre (*Triticum aestivium* L.), constitué de fractions d'enveloppes et de fractions cellulosiques des cellules internes du grain.

Résultat de l'ICV : issue d'un inventaire du cycle de vie qui catalogue les flux traversant les frontières du système et fournit le point de départ pour l'évaluation de l'impact du cycle de vie.

Système de produits : ensemble de processus élémentaires comportant des flux de produits et des flux élémentaires, remplissant une ou plusieurs fonctions définies, qui sert de modèle au cycle de vie d'un produit.

Unité fonctionnelle performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie.

Introduction générale

La pisciculture en Afrique subsaharienne

Les nations du monde se sont fixées ces dernières années des objectifs dits « du Millénaire pour le Développement » (OMD) à savoir la réduction de la pauvreté et l'atteinte de la sécurité alimentaire à l'horizon 2015. Ce défi exige la participation d'un grand nombre de secteurs d'activité dont l'aquaculture.

En Afrique sub-saharienne le poisson couvre en moyenne 22% des apports en protéines d'origine animale. Dans certains pays et notamment au Cameroun, cette couverture serait proche de 50% (FAO, 2008 et 2010 ; Brummett *et al.*, 2008). Au Cameroun l'offre en poisson provient pour 22% de la pêche continentale, 21% de la pêche maritime, moins de 1% de la pisciculture et le reste (57%) est couvert par les importations (Subasinghe, 2006 et FAO, 2008). D'après NEPAD (2005), le maintien du niveau actuel de consommation de poissons par habitant exige que l'Afrique augmente de près de 250% sa production piscicole et halieutique au cours des dix prochaines années.

L'intérêt grandissant porté aujourd'hui à l'aquaculture résulte principalement de la baisse des réserves naturelles en poissons, occasionnée par la pêche excessive et incontrôlée (Naylor *et al*., 2000 ; Pauly *et al.,* 2002). Il y a aussi la nécessité de produire 40 millions de tonnes de poisson supplémentaires à l'horizon 2030 compte tenu de la stagnation des débarquements de la pêche, de l'augmentation de la population dans le monde et de la transformation de 50% des produits de la pêche en huile et farine servant à l'alimentation animale dont les poissons d'élevage (Morin, 2006 ; Subasinghe, 2006). Dans ce contexte, l'aquaculture apparaît comme la seule alternative pouvant combler cette forte demande en poisson pour l'alimentation humaine (Anonyme, 2007). Ainsi, pour atteindre les objectifs du Millénaire, l'accent est mis sur les impacts à court terme de l'aquaculture : amélioration des revenus, création d'emplois et approvisionnement des marchés en quantité suffisante de poissons.

A ce premier défi, s'ajoute aujourd'hui la prise en compte des risques liés aux changements climatiques nécessitant une réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) pour l'optimisation des différentes formes de productions agricoles, en recherchant une meilleure efficacité territoriale. Cette initiative permettrait non seulement d'accroitre la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne mais également de contribuer à l'augmentation du stockage de carbone dans les écosystèmes pouvant se traduire par une diminution de 10 à 20% des émissions de CO_2 qui entrainerait la stabilisation du climat d'ici à l'horizon 2050 (Riedacker et Adjahossou, 2009)

En Afrique sub-saharienne, l'émergence de l'aquaculture depuis les années 1990 s'est faite grâce à l'approche participative. Le désengagement du secteur public a été compensé par le renforcement de l'autonomie et la responsabilisation des opérateurs privés ou des collectivités. Ceci s'est traduit par le transfert des propriétés et des moyens de production aquacole aux opérateurs privés (Bozena et Weigel, 1998).

La satisfaction des besoins futurs en ressources poisson de l'Afrique, nécessite une production d'aquaculture de petite, moyenne et grande dimensions, dans un cadre durable (NEPAD, 2005). Cet objectif rejoint le plan stratégique de développement de l'aquaculture

adopté par le Cameroun (MINEPIA, 2005) qui propose un effort gouvernemental de relance du secteur aquacole du fait de la baisse des captures dans les plans d'eau camerounais et d'un besoin en poisson sans cesse croissant pour l'alimentation de la population. Le développement de l'activité piscicole est marqué par de nombreuses innovations liées aux fortes dynamiques de diversification des systèmes de production des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) dans un contexte de changements sociaux et économiques. Ces changements sont dus à la chute mondiale des prix du café et du cacao jadis principales cultures de rente (Anonyme, 2006), à l'augmentation du prix du poisson du fait de la dévaluation du franc CFA en 1994 (Pouomogne, 2005), et à l'augmentation du coût des intrants et de l'énergie sur le marché mondial.

Ainsi la pisciculture en étang pourrait constituer une voie d'amélioration dans les trois composantes (sociale, environnementale et économique) de la durabilité des systèmes de production dans les Exploitations Familiales Agricoles (EFA).

Aperçu général de la pisciculture Camerounaise

Au Cameroun, la pisciculture a été introduite en 1948 avec la construction du premier barrage à vocation piscicole à Yaoundé (Meschkat, 1969). Courant 1952, on note un développement spectaculaire de la pisciculture au sein des exploitations familiales agricoles notamment dans la région des hautes terres de l'Ouest (Lemasson, 1953) : une nouvelle activité économique génératrice de revenu malgré la précarité des techniques et une méconnaissance de la biologie des espèces élevées. En 1954, sous l'impulsion de l'administration coloniale, naîtra un plan de développement de la pisciculture qui a conduit à la construction de 22 stations aquacoles de démonstration jusqu'en 1960. L'intérêt suscité par cette nouvelle technique de production se traduira par la construction de plus de 10 000 étangs. Après l'indépendance en 1960, de nombreux étangs ont été abandonnés en raison de la désorganisation des services de vulgarisation et la pisciculture ne s'est développée qu'au rythme de l'aide financière extérieure (Pouomogne et Pemsl, 2008 ; Lazard *et al*., 2010). Les modes de pisciculture mis en œuvre étaient la monoculture ou la polyculture de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) soutenues par la production d'alevins des stations piscicoles. Ce problème d'approvisionnement en alevins du fait du faible nombre de stations fonctionnelles, combiné à la non maîtrise des techniques et des modes de gestion piscicole ont entrainé de mauvais résultats ainsi que le découragement de grand nombre de producteurs (Satia *et al*., 1992).

Les méthodes d'élevage les plus usitées se sont basées sur l'association du Tilapia *Oreochromis niloticus* et d'un poisson-chat africain *Clarias gariepinus* ou parfois *Heterobranchus longifilis* dans des étangs fertilisés. Cette fertilisation est induite par une compostière intra-étang et/ou des apports de déjections issues d'élevages terrestres et/ou des apports d'aliments simples (sous-produits agricoles et d'industries agroalimentaires comme des drêches de brasserie) (Pouomogne *et al.*, 1998). Plus récemment une pisciculture extensive rurale à base de Tilapia monosexe mâle (Oswald, 2008) a été développée en zone forestière humide, la viabilité économique de ce modèle ayant déjà été démontrée dans plusieurs autres pays africains (Simon and Benhamou, 2009).

Les principales régions de production aquacole se trouvent essentiellement (figure 2.1) dans la région sud du Cameroun notamment dans les provinces du Centre, de l'Est, de l'Ouest et du Nord-Ouest (Pouomogne et Pemsl, 2008) et exclusivement en étang avec un petit nombre

d'espèces élevées (*Oreochromis niloticus, Clarias gariepinus, Clarias jaensis, Cyprinus carpio, Heterotis niloticus, Parachana obscura*).

La production piscicole (figure 1) connaît ainsi une évolution en dent de scie corrélée au rythme des projets et des efforts de développement du secteur.

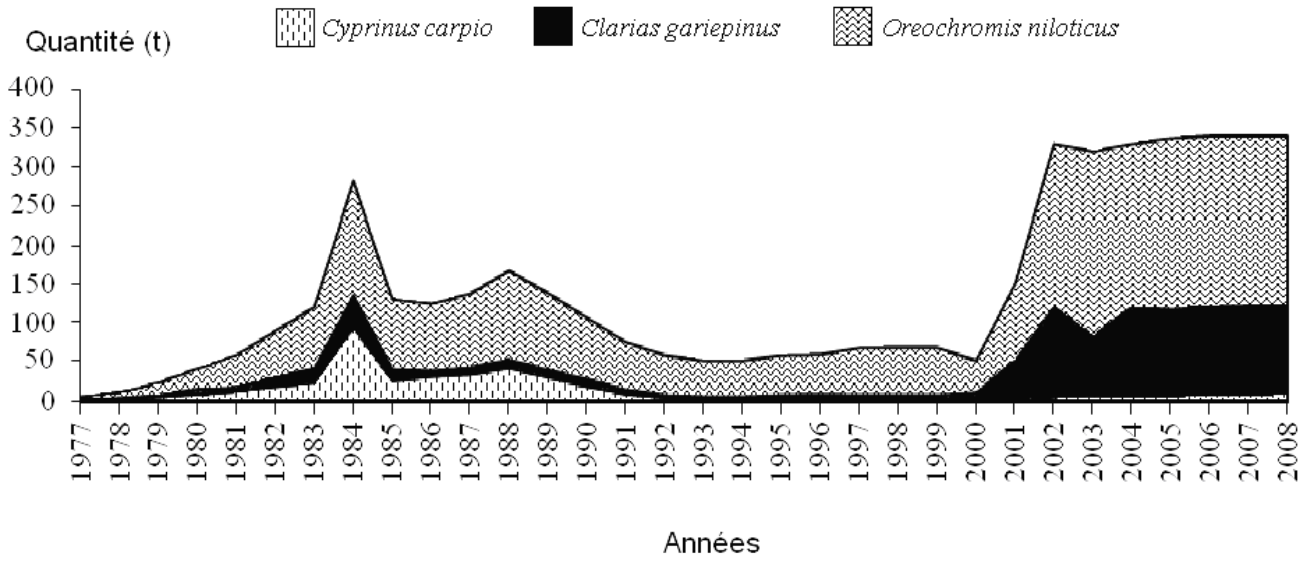


Figure 1 : Evolution de la production aquacole et de quelques principales espèces élevées au Cameroun (1977-2008) (D'après FAO, 2008)

La forte croissance relative de la production au début des années 2000 serait liée à la promotion de la recherche participative par le gouvernement. Cependant, cette production serait sous-estimée par les services publics du fait du manque de moyen dans la collecte des données dans les zones de production. D'après Pouomogne et Pemsl (2008), la production pourrait être de l'ordre de 950 t dont près de 90% seraient issues des étangs des petits producteurs. On estime aujourd'hui à près de 250 ha la superficie en eau des étangs (FAO, 2008).

Dans tous les cas, les petites quantités produites et la stagnation observée depuis 2000 suggèrent que les systèmes existant, notamment ceux recyclant de la matière organique issue des résidus des cultures (ou des cuisines) et des élevages des exploitations agricoles, sont peu performants et par conséquent non pérennes (Pouomogne et Pemls, 2008). La stagnation actuelle est aussi aggravée par un manque d'alevins de qualité, lié à une absence ou à une mauvaise gestion des géniteurs, ce qui oblige les producteurs à avoir recours aux prélèvements dans le milieu naturel (Brummet *et al*., 2010 ; Tiogué *et al.*, 2008 ; Pouomogne, 2008). Enfin, le petit nombre d'espèces candidates à la polyculture en étangs, en particulier des cyprinidés macro/microphages, ne permet pas une valorisation optimale du réseau trophique de l'écosystème aquatique (Dabbadie *et al*., 2002).

La combinaison de ces facteurs défavorables n'a pas permis le développement à grande échelle d'une activité de pisciculture viable économiquement et par conséquent capable de renforcer la durabilité des exploitations familiales agricoles dont elle fait partie (Brummett *et al.*, 2010 ; Kriesemer, 2009 ; Lazard *et al.* 2009, 2010). Cependant, c'est bien l'exploitation agricole familiale (EFA) qui porte la pisciculture d'Afrique subsaharienne et notamment celle du Cameroun (Pouomogne et Pelsm, 2008).

Problématique et démarche

Le cadre général de notre travail est celui d'un développement durable de l'aquaculture en Afrique subsaharienne. Le développement durable (*Sustainable development*) est un concept qui redéfinit l'intérêt public et questionne la croissance économique afin de prendre en compte les aspects environnementaux généraux d'une planète globalisée. Ainsi ce n'est pas un état statique d'harmonie, mais un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources naturelles, le choix des investissements, l'orientation des changements techniques et institutionnels sont rendus cohérents avec l'avenir, comme avec les besoins du présent à satisfaire (HCCI, 2005). Selon la définition proposée en 1987 par la *Commission mondiale sur l'environnement et le développement* dans le rapport Brundtland, le développement durable est : « un développement qui répond aux besoins essentiels des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Face à l'urgence de la crise écologique et sociale qui se manifeste désormais de manière mondialisée, le développement durable est une réponse des Etats et de tous les acteurs économiques, culturels et sociaux du développement (Millenium ecosystem assessment, 2005 ; Levrel, 2006).

Dans ce contexte, le travail de thèse a un double objectif à savoir (1) l'acquisition de connaissances pour l'amélioration technico-économique de la production piscicole en polyculture de poissons en étang dans un contexte particulier de rareté des sous-produits agricoles et de coûts élevés des intrants et (2) la proposition de modèles de systèmes durables, limitant les impacts environnementaux de cette pisciculture intégrée dans les exploitations familiales agricoles (EFA) en Afrique subtropicale.

Pour répondre à ces objectifs, trois étapes ont été programmées, faisant appel à des méthodologies variées :

Dans un premier temps, il s'est agit de faire un bilan de l'existant en matière de systèmes de production piscicole sur les hauts plateaux de l'Ouest et du Centre du Cameroun et d'en établir une typologie selon leurs performances et leur niveau d'intensification. Afin d'expliquer cette typologie des ateliers piscicoles, qui ne sont qu'une composante des EFA, les enquêtes ont porté sur l'ensemble du système de production de ces dernières. En effet, ce travail vise, via l'optimisation d'un atelier de pisciculture, à l'amélioration de façon globale et durable du fonctionnement des EFA. Cela nécessite d'identifier et de caractériser la diversité de leurs stratégies et de prendre en compte leurs dynamiques d'évolution (El Hasnaoui *et al.*, 2004*).* Pour cela, de nombreuses approches ont été développées au sein desquelles l'analyse systémique qui permet de rendre compte du fonctionnement des exploitations en considérant l'entité : Système de production - Famille et leur Environnement (SFE) (Brossier, 1987) et qui se révèle être adaptée à notre problématique. La description de manière plus élargie des systèmes de production piscicole, facilite l'analyse de l'efficacité des facteurs de production afin de s'arrimer aux exigences du développement durable (Lazard *et al*., 2009 et 2010).

Dans un deuxième temps, le travail a porté sur l'évaluation des impacts environnementaux potentiels de quelques piscicultures de chacun des types de système de production piscicole définis dans la première étape du travail. En effet, les piscicultures émettent des rejets qui aujourd'hui retiennent davantage l'attention du fait de leurs impacts sur

l'environnement. Le niveau de ces émissions est aussi un indicateur de l'efficience des systèmes, de leur capacité à produire du poisson à partir de tous les intrants mobilisés.

De nombreux travaux de recherche ont été réalisés dans ce domaine notamment sur la caractérisation, la minimisation et le traitement des effluents permettant de réduire leurs effets sur l'environnement (Lemarié *et al.,* 1998 ; Axler *et al.,* 1997 ; Van Benthum *et al.,* 1998 ; True *et al.,* 2004 ; Cripps, 1995 ; Ebeling et *al.,* 2005, Blancheton *et al.* 2004 ; Hussenot, 2003….), et plus récemment sur la toxicologie et la santé humaine (Cole *et al.,* 2008). Peu d'études ont porté sur les systèmes d'élevage semi-intensifs et extensifs du fait de leur complexité et la difficulté de contrôler leurs effluents (Blancheton *et al.*, 2004). Cependant quelques travaux notamment ceux de Jamu et Piedrahita (1996, 1997, 2002a, 2002b) portant sur la modélisation des systèmes de pisciculture en étang intégré dans les agrosystèmes et ceux de Banas (2001) et Verdegem (2007) ont permis d'aborder la question de la compréhension du fonctionnement et du devenir des nutriments apportés dans ces agroécosystèmes aquatiques.

Pour ce travail, une approche par Analyse de Cycle de Vie (ACV) a été développée car c'est une méthode globale qui évalue l'ensemble des impacts potentiels environnementaux attachés à un produit depuis sa source jusqu'à son recyclage ou à sa mise en déchet final (Guinée *et al.,* 2002). Cette méthode a été identifiée comme pertinente pour l'évaluation des systèmes agricoles (Van der Werf et Petit, 2002) avec quelques références en aquaculture (Papatryphon *et al.*, 2004a, 2004b ; Aubin *et al.*, 2006 , 2009 ; Roque d'Orbcastel, 2008 ; Casaca, 2008). Au cours de ses travaux, il s'agira d'adapter les outils méthodologiques actuellement utilisés dans les ACV à l'évaluation des impacts environnementaux de la pisciculture tropicale.

Enfin, la troisième étape de ce travail a consisté à tester dans une expérimentation en milieu semi contrôlé différents scénarios biotechniques. De nombreuses recherches réalisées jusqu'ici sur l'optimisation de la production piscicole en étang et dans les systèmes semi-intensif ont porté sur l'amélioration de la qualité de l'eau, visant à une stimulation raisonnée de la productivité de l'étang au travers des apports de fertilisants (organiques et minéraux) et/ou d'amendements minéraux (Egna et Boyd, 1997 ; Dabbadie *et al.*, 2002 ; Dabbadie, 1996, 2008 ; Kumar et Ayyappan, 1998). Enfin, d'autres recherches ont porté sur les effets d'apports complémentaires d'aliments exogènes (Pouomogne, 1994 ; Edwards, 1993; Dabbadie *et al.*, 2002 ; Tamassia, 2011) et sur la combinaison de différentes espèces en polyculture (Lazard et Oswald, 1995 ; Morissens *et al*., 1996 ; Karplus *et al.*, 1996 ; Milstein, 2005). Toutefois ces facteurs ont toujours été étudiés séparément par simplification d'un système à l'origine très complexe par manque d'outil multi paramètres ou de moyens adéquats permettant de gérer un nombre d'unités expérimentales important. Cependant l'application de ces résultats séparés ne conduit pas généralement aux résultats escomptés ou tout au moins engendre de nouveaux problèmes ou questionnements remettant en cause les modèles simples proposés. L'application récente des méthodes d'expérimentation en plan factoriel fractionnaire dans les systèmes biologiques et en aquaculture en particulier (Wang *et al.,* 2006 ; Gardeur, 2003 ; Gardeur *et al.,* 2007) a permis à moindre coût d'analyser un nombre de facteurs important. Ces méthodes permettent d'identifier et de hiérarchiser des facteurs ou combinaisons de facteurs pour une meilleure optimisation durable du fonctionnement d'un système de production.

Au travers cette démarche, différentes hypothèses sont testées :

1) Le contexte régional (environnemental, socio-économique, …) est le facteur prépondérant pour expliquer la typologie des ateliers piscicoles dans le cadre des EFA,

2) Les impacts environnementaux de la pisciculture sont très dépendants des sources de nutriment et des amendements utilisés, des processus de biotransformation du système étang et de la gestion de l'eau,
3) La polyculture valorise mieux les intrants et de ce fait limite les flux sortants, sources de pollution.

Compte tenu de la démarche suivie, le document est organisé 5 chapitres présentant : une synthèse bibliographique sur la pisciculture en étang en zone tropicale (chapitre 1), une typologie des ateliers ou systèmes piscicoles des EFA des hauts plateaux de l'Ouest et du Centre du Cameroun selon les performances de leur production piscicole et leur niveau d'intensification (chapitre 2), une évaluation environnementale par ACV de quelques types de pisciculture (chapitre 3) et une étude expérimentale des facteurs influençant la productivité de l'élevage du Tilapia en polyculture d'étang (chapitre 4). L'ensemble de ces trois derniers chapitres fait l'objet d'une discussion générale (chapitre 5).

Cadre institutionnel

Ce travail a été réalisé dans le cadre du «Pôle de Compétence en Partenariat Grand Sud Cameroun » (PCP- GSC) – 2005 à 2015) qui réunit l'IRAD, le CIRAD et les Universités de Yaoundé 1 et de Dschang, et de deux projets auxquels les premiers résultats de la présente thèse ont contribué :
- Le projet « Renforcement des Partenariats dans la Recherche Agronomique au Cameroun » (REPARAC) – 2006 à 2009,
- Le programme de recherche ANR « Evaluation de la Durabilité des systèmes Aquacoles » EVAD (ANR/ADD) – 2005 à 2008.
Cette problématique a aussi été prise en compte par l'UDs, l'ISH, l'IRAD, le CIRAD, l'INRA et l'APDRA-F dans le cadre de leur mission de recherche développement en aquaculture tropicale. Elle est au centre d'un projet soumis à la CORAF/WECARD portant sur l'amélioration de la durabilité des systèmes de pisciculture familiaux en Afrique de l'Ouest et Centrale à partir d'une relecture de quelques processus d'innovations piscicoles.
Le financement du travail a été assuré par une bourse de l'Ambassade de France au Cameroun (pour 12 mois de séjour en France) et le CIRAD pour le fonctionnement des expérimentations et une bourse au Cameroun ainsi que pour quelques mois de bourse pour les séjours en France, l'INRA et Agrocampus-Ouest et notamment les UMR INRA-Agrocampus Ouest SAS et ESE (via des compléments d'analyse chimique et l'accueil dans leurs laboratoires lors des séjours en France) et enfin l'université de Dschang pour la mise à disposition du foncier et du laboratoire d'Ichtyologie et d'Hydrobiologie Appliquée pour l'accueil de la partie terrain et l'expérimentation.

Chapitre 1 : La pisciculture en étang au sein des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) au Cameroun

Au Cameroun, le secteur agricole occupe près de 50% de la population active et contribue pour près de 30% au PIB national. Cette contribution est importante pour l'économie nationale en période de chute des recettes des secteurs pétroliers et industriels (PADFA, 2010). Cependant, le désengagement de l'Etat, la libéralisation des filières, les fortes fluctuations des cours des produits agricoles ont entraîné des évolutions importantes au sein des Exploitations Familiales Agricoles (EFA) avec une forte diversification des systèmes de production (Dufumier, 2004), afin d'assurer leur sécurité alimentaire (Chia *et al.*, 2006). Cette diversification est liée non seulement aux caractéristiques spécifiques à chaque région agricole, mais, au sein de chaque région, aux différents moyens dont disposent les agriculteurs et aux conditions économiques et sociales dans lesquelles ils opèrent (Cochet et Devienne, 2006).

La pisciculture intégrée au sein des EFA constitue un élément de diversification important car loin de la simple satisfaction des besoins alimentaires, elle fournit également un revenu complémentaire tout en jouant un rôle écologique louable à travers le recyclage des sous-produits et rejets des autres systèmes de production de l'exploitation (Milstein, 2005; Mikolasek *et al.*, 2009a).

Dans ce chapitre, il s'agit de faire un point bibliographique sur le concept d'EFA, les principes de fonctionnement des étangs piscicoles ainsi que le rôle des principaux facteurs de la production piscicole en étang en zone tropicale.

1.1. Les concepts d'EFA et de système de production

1.1.1. Exploitation familiale agricole (EFA)

L'exploitation agricole est une unité de production caractérisée par un certain nombre de ressources (Cochet et Devienne, 2006) : les terres (surfaces et types), la main d'œuvre (importance, nature, formation,…), le capital (bâtiments, matériel, plantations, cheptel….). D'après Dugué et Faure (2001), c'est une entreprise tournée vers une maximisation du profit tout en prenant en compte l'importance des liens entre la famille et l'exploitation tant dans le domaine de la mobilisation du travail (main d'œuvre familiale) et des projets d'avenir (cession du patrimoine familial). Cette notion n'est pas directement transposable dans l'agriculture africaine tant en zone soudano-sahélienne que forestière. Dans cette région, l'unité de production (exploitation agricole) est généralement un système complexe débouchant sur une production collective gérée par le chef d'exploitation et des productions individuelles revenant à (aux) l'épouse (s) et aux dépendants du chef d'exploitation (en général des membres de la famille) (Chia *et al.*, 2006).

Comme pour tout système ouvert, la durabilité des exploitations familiales agricoles résulte des rapports qu'elle entretient avec son environnement au sens large. Pour Landais (1998a) ces rapports devraient respecter quatre piliers cruciaux : économique, écologique, social et intergénérationnel, traduisant une forte insertion dans les filières amont et aval de

l'exploitation et une nécessaire prise en compte de la durabilité des ressources naturelles (sols, eau, …) sur le long terme.

1.1.2. Le système de production

Le système de production correspond à un mode de combinaison entre terres, force et moyens de travail à des fins de production végétale et animale, commun à un ensemble d'exploitations (Brossier, 1987). Il peut être considéré comme une combinaison organisée de différents sous-systèmes de culture et de différents sous-systèmes d'élevage. Par exemple, le sous-système de culture est défini par une succession de cultures et d'associations de cultures et par l'ensemble des techniques qui leur sont appliquées suivant un ordonnancement précis (Cochet et Devienne, 2006). Le système de production global désigne alors la combinaison des facteurs permettant d'aboutir à ces productions. En 1994, Rey *et al.* définissaient les systèmes halieutiques comme étant un ensemble d'éléments en interaction dynamique, en partie organisé par l'homme en vue de valoriser les ressources halieutiques. Ainsi les ensembles d'éléments des sous-systèmes doivent être coordonnés et stables, mettant en jeu des niveaux de décision hiérarchisés dont les interactions peuvent définir le degré d'organisation de l'ensemble. De ce fait, le sous-système de production piscicole au sein des EFA est pris comme la réunion d'éléments de production et d'éléments de gestion mais aussi comme la composante d'autres systèmes plus larges que sont l'écosystème aquatique et le milieu humain. Il est à la base constitué d'un étang de structure variable en fonction du milieu et de son rôle.

1.1.3. Typologies et diagnostic des EFA

Le développement agricole a initié de nombreuses recherches sur le fonctionnement des exploitations agricoles. En particulier, l'usage des typologies a été développé en Afrique et au Cameroun (Hamadou *et al.,* 2008 ; Kuate *et al.,* 2008 ; Chambon *et al.,* 2007 ; Tomedi *et al.*, 2009 ; Safia, 2003 ; Bozena et Weigel, 1998). Ces travaux de typologie avaient pour objectif de construire des outils opérationnels pour la gestion qui mettent en évidence les différences de moyens et de fonctionnement, avec la préoccupation de classer les exploitations en un nombre limité de catégories homogènes et contrastées. Donc, ces outils permettent tout à la fois de comprendre la dynamique et le fonctionnement de chaque catégorie et de comparer et expliquer leurs différences.

En outre, pour la plupart, les typologies se basent uniquement sur des performances économiques des systèmes de production qu'elles intègrent, performances auxquelles des modèles de simulation sont associés, permettant de faire des prédictions dans le temps, dans un objectif d'aide à la décision. Face aux évolutions des contextes démographiques, socio-économiques et des régulations, une mise à jour périodique des typologies des exploitations s'avère indispensable. Ainsi, Landais (1998b) propose l'usage de typologies basées sur la trajectoire d'évolution des systèmes qui permet de décrire l'historique et les logiques de différenciation. Dans l'objectif d'une exploration des options de développement durable des systèmes de production agricole à l'échelle d'une région, Righi *et al.* (2010) ont mis en œuvre une approche quantitative du système basée sur quelques facteurs de production : type de main d'œuvre (familiale, salariale temporaire ou permanente), le niveau de technicité (serre, mécanisation) et la surface exploitée. Suivant ces critères, sept types d'exploitation parmi

lesquelles trois familiales (petite, moyenne, grande) peuvent être distingués. Il en ressort que la configuration des exploitations est étroitement liée au milieu physique, ainsi qu'à l'accessibilité de certains facteurs de production liée au contexte local.

A la lumière des typologies précédentes, Tittonell *et al*., (2010) classent les petites exploitations agricoles de l'Afrique de l'Est en cinq types suivant l'utilisation des ressources naturelles et les stratégies fonctionnelles développées par les producteurs, ces dernières étant étroitement liées aux conditions physiques du milieu, et au statut socio-économique du producteur. Dans un cadre plus large, Toulmin et Guèye (2003 *in* Dugué, 2007) ont élaboré des classifications des exploitations selon les politiques locales et mondiales en se basant, sur le degré d'intégration des différentes productions et de l'orientation des produits de récolte. Cette prise en compte de la diversité qui influence la productivité agricole et la gestion des systèmes de production intégrés dans les EFA en général peut contribuer à mieux orienter les politiques de développement.

1.2. La production piscicole en étang

1.2.1. Structure d'un étang de pisciculture et modes d'alimentation en eau

L'étang piscicole est une retenue d'eau artificielle stagnante plus ou moins complètement vidangeable à une fréquence variable et destinée à l'élevage des poissons (Balvay, 1980). On trouve principalement deux types de structure (Bard *et al*., 1974) .

- *L'étang de dérivation* (figure 1.1 et figure 1.2 A) est construit sur le flanc de vallées à pente faible, est alimenté en eau par dérivation d'un cours d'eau permanent à l'aide d'un canal. Sa construction est assez onéreuse mais les possibilités de maîtrise des apports en eau et des nutriments font qu'ils sont en général plus productifs (Arrignon, 1998).

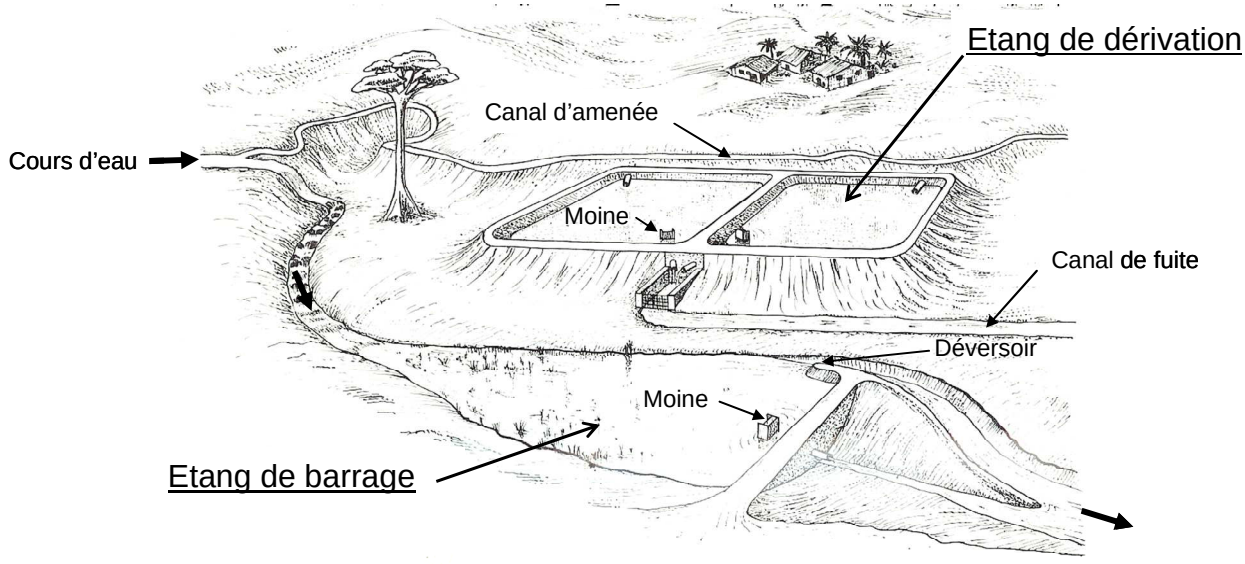


Figure 1.1 : Les deux principaux types d'étang piscicoles (D'après Bard *et al.*, 1974)

- *L'étang de barrage* (figure 1.1) est construit en fond de vallées relativement encaissées par l'aménagement d'une digue en travers du cours d'eau. L'aménagement d'un déversoir n'est pas toujours réalisé (figure 1.2 B). Selon le type d'apport en eau, Arrignon (1998) distingue des étangs de source (alimentation par une ou plusieurs sources), des étangs de ruissellement (alimentation par eaux de ruissellement du bassin versant) et de barrage *sensus stricto* (alimentation par la totalité du débit du cours d'eau) (figure 1.3). L'aménagement d'un canal de contournement (figure 1.4) pour ce dernier type permet de contrôler les entrées d'eau dans l'étang (cf étang en dérivation), et ainsi améliore sa productivité et la libre circulation des poissons naturels de la rivière



A : Etangs en dérivation



B : Etang de barrage



C : Etang de dérivation avec porcherie et culture sur la digue entre 2 étangs



D : Etang avec compostière

Figure 1.2 : Différents types d'étang de pisciculture au Cameroun (photos T. Efolé-Ewoukem et D. Ombredane)

Les étangs sont des milieux particuliers, ouverts, en relation avec leur environnement. Cette relation se traduit par des échanges plus ou moins importants qui conditionnent leur productivité du fait de leur exposition aux différentes phases d'apport ou d'exportation de matières dissoutes et en suspension. La succession de ces phases peut être aléatoire ou cyclique, cette périodicité étant liée soit aux phénomènes naturels soit à l'action humaine (Banas, 2001).

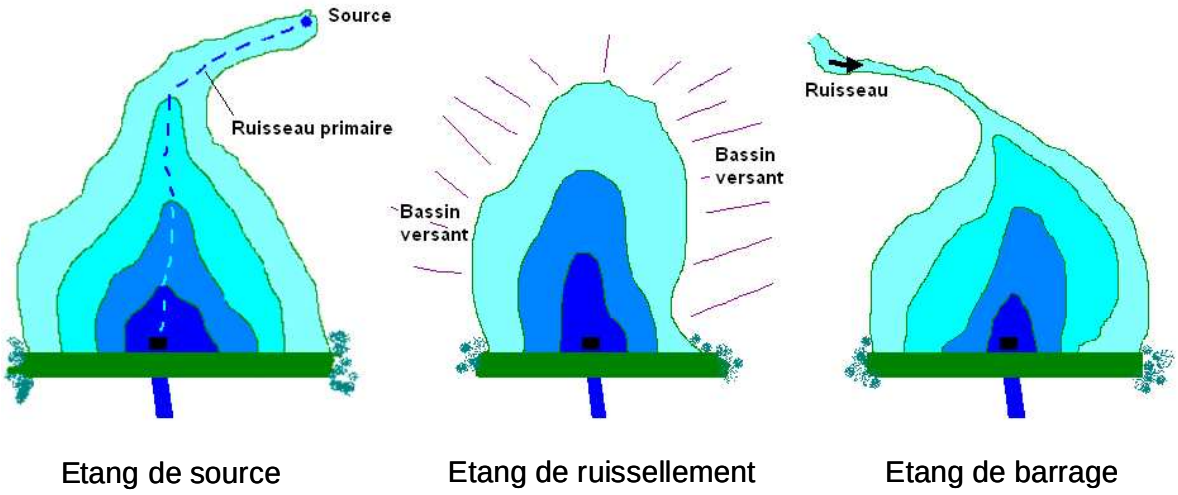


Figure 1.3 : Différents types d'étang de barrage selon leur mode d'alimentation en eau (illustré d'après Arrignon, 1998)

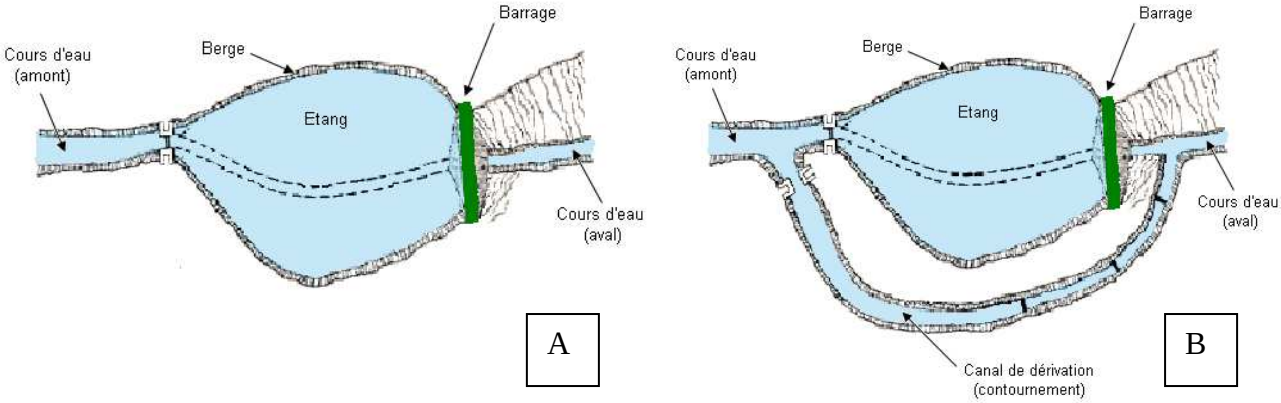


Figure 1.4 : Etang de barrage, (A) simple, (B) avec canal de contournement (D'après Coche *et al.*, 1994).

1.2.2. Fonctionnement d'un étang piscicole

Les systèmes de pisciculture sont des ensembles d'éléments en interaction dynamique, organisés par l'homme en vue de valoriser des ressources plus particulièrement par l'intermédiaire des poissons (dit « d'aquaculture »).

L'étang à gestion piscicole est un écosystème qui vit au rythme des saisons et implique un réseau trophique aboutissant au poisson. On distingue quatre phases d'exploitation distinctes au cours de son cycle de fonctionnement à savoir : le remplissage, la production, la vidange et l'assec (figure1.5).

a) La phase de remplissage en eau

Elle marque le début du cycle avec le remplissage de l'étang par l'eau grâce à la fermeture du système de vidange. La durée de cette phase est variable (de quelques jours à quelques mois) et est fonction de la source d'alimentation en eau et de la superficie de l'étang. D'après Banas (1997) le bilan hydrique de cette phase est principalement caractérisé par la dominance des flux entrants (ruissellement, précipitation…) sur les flux sortants (infiltration, évaporation….).

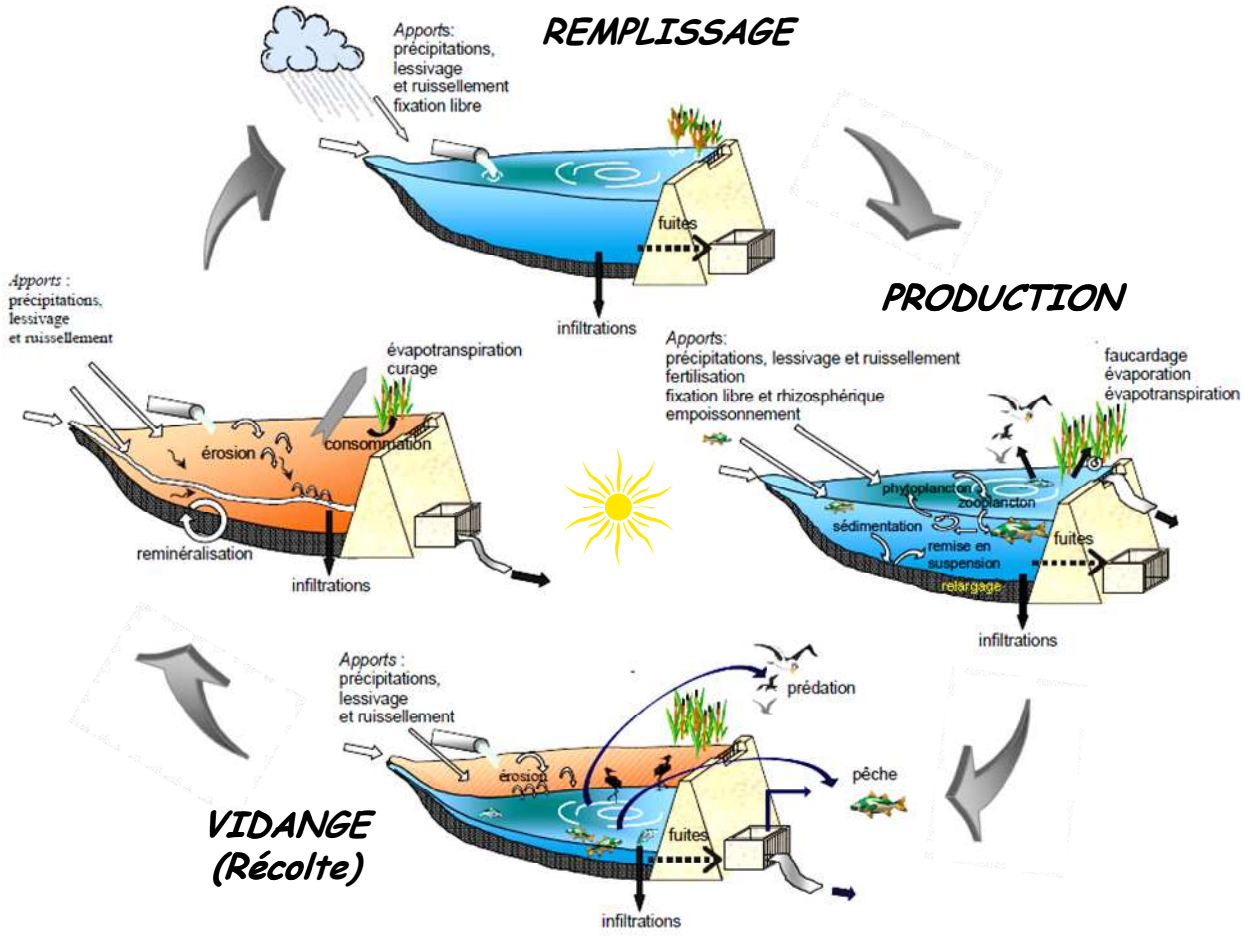


Figure 1.5 : Cycle biologique d'un étang piscicole (D'après Banas, 2001)

b) La phase de production

Une fois le remplissage en eau terminé, l'énergie solaire interceptée par l'étang est utilisée pour partie pour le réchauffement des eaux et pour l'autre à l'activité photosynthétique du phytoplancton (Dabbadie, 1996 ; Bachasson, 1997). Il s'ensuit une succession de colonisations (dont l'empoissonnement pour les étangs de production) par différents organismes induisant une juxtaposition de différents niveaux trophiques (figure 1.6) où les organismes sont indépendants mais entretiennent des relations trophiques entre eux et interagissent avec le milieu (Dabbadie, 1996 ; Thomas, 2000).

La croissance des juvéniles et des poissons adultes est alors possible dans la mesure où ils trouvent dans l'étang des ressources alimentaires dans la matière organique élaborée *in situ* à différents niveaux trophiques et/ou dans les aliments apportés par le pisciculteur.

La production de matière organique *in situ* peut être favorisée par des apports de fertilisants de nature variée et dont une partie est souvent perdue sous forme de gaz et ou sous forme dissoute par les eaux d'infiltration au cours de cette phase.

c) La phase de vidange

Elle survient généralement après une durée d'élevage qui varie entre six à douze mois en milieu tropical. Elle est principalement déterminée par la taille des poissons commercialisables et par la possibilité de remplir à nouveau l'étang (choix d'une saison pluvieuse). Cette phase

correspondant à des exportations d'eau et de matière (Banas, 1997) est la plus préjudiciable pour le milieu récepteur aval (Le Louarn et Bertru, 1991 ; Gigleux, 1992 ; Schwartz et Boyd, 1994). Afin d'éviter de déverser dans les cours d'eau récepteurs, trop de matières particulaires en suspension (MES) et nutriments, certaines régulations peuvent être imposées. Par exemple, il est exigé dans le modèle de pisciculture intégrée à l'élevage de porcs de la Haute Vallée de l'Ítaji (MAVIPI) de l'Etat de Santa Catarina au Brésil des vidanges partielles ne dépassant pas les 2/3 du volume total d'eau de l'étang (da Silva *et al.,* 2009 ; Tamassia, 2011).

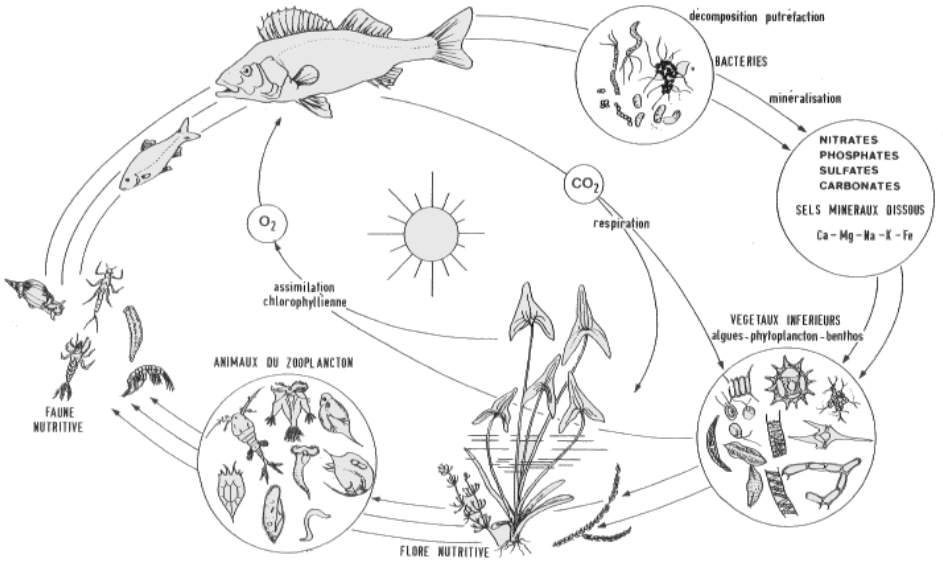


Figure 1.6 : Réseau trophique d'un étang (Arrignon, 1998)

d) La phase de l'assec

L'assec est une phase nécessaire pour d'éventuelles actions d'entretien dans l'étang comme la réparation des digues, le curage, la restauration du fossé principal ou l'entretien des berges. D'après Schlumberger (2002), l'assec jouerait également d'autres rôles importants à savoir :
- l'aération de la vase et la minéralisation de la matière organique,
- la limitation de la prolifération d'organismes indésirables tels que les parasites ou les virus.

Cette phase est souvent brève et incomplète en milieu tropical humide et parfois supprimée. Pour éviter l'exportation des nutriments stockés dans les boues et favoriser leur réutilisation dans le cycle d'élevage suivant, l'étang est remis en eau juste après la récolte (da Silva *et al.,* 2009 ; Tamassia, 2011).

1.3. Les assemblages d'espèces de la polyculture en Afrique sub-saharienne

La polyculture consiste à élever dans un même étang des espèces de poissons aux régimes alimentaires complémentaires, afin de valoriser au mieux toutes les ressources trophiques naturelles du milieu, d'accroître la biomasse en poisson et le cas échéant, de bénéficier d'effets synergiques entre les différentes espèces. Par exemple, Dabbadie *et al.* (2002) et Dabbadie (2008) relèvent qu'un rapport de 1 Tilapia monosexe mâle (*Oreochromis niloticus)* pour 0,03 *Heterotis niloticus,* 0,04 *Heterobranchus isopterus* (ou 1 *Clarias sp)* et 0,2 *Hemichromis fasciatus* augmentent la production de plus de 40% par rapport à la monoculture de Tilapia.

Ainsi la polyculture permettrait d'accroître le revenu final sans augmenter l'investissement initial ou l'apport d'intrants. En effet, d'après les travaux de Tamassia (2011), l'ajout d'espèces même à croissance modérée permet une meilleure exploitation des ressources trophiques naturelles produites dans l'étang. La polyculture constitue également une stratégie de réduction des risques, puisque les différentes espèces ont des exigences écologiques et des valeurs commerciales différentes. En outre, elle permet de contrôler des organismes indésirables dans les étangs. Par exemple, il a été observé dans des étangs de Tilapia *O. niloticus*, que l'introduction de 200 *Heterotis niloticus* et de 200 à 600 poissons carnivores par hectare (*Hemichromis fasciatus, Parachanna obscura, Heterobranchus isopterus* ou *Clarias sp.*) permet d'éliminer les mollusques et les petits poissons indésirables (Dabbadie, 2008).

Il s'agit dans les paragraphes suivants de détailler les caractéristiques des principales espèces utilisées au Cameroun en polyculture d'étang et de présenter quelques éléments sur les densités d'empoissonnement pratiquées en aquaculture tropicale.

1.3.1. Le Tilapia, *Oreochromis niloticus* (figure 1.7 A)

Cette espèce appelée Tilapia du Nil appartient la famille des Cichlidés. Le groupe des Tilapias occupe le deuxième rang mondial des poissons d'élevage après les carpes. Leurs caractéristiques biologiques et zootechniques (rusticité, reproduction spontanée en captivité, régime alimentaire peu exigeant en protéines, plasticité vis-à-vis des systèmes d'élevage) sont particulièrement adaptées à l'élevage (Lazard, 2009). L'espèce *Oreochromis niloticus* constitue la principale espèce élevée (de l'ordre de 85%).

Son régime alimentaire en milieu naturel est microphytophage, constitué essentiellement de phytoplancton et de cyanobactéries (Mukankomeje *et al.*, 1994). Cependant du fait de l'ampleur de son degré d'opportunisme, son régime alimentaire se rapprocherait beaucoup plus de celui des poissons omnivores-détritivores que des herbivores stricts (Dabbadie *et al.*, 2002). Ses meilleures performances de croissance en eau douce sont observées à 28-31°C avec des quantités d'oxygène dissous supérieures à 2 mg/l (Fishbase, 2010), un pH de 7 à 8,5 et des teneurs en azote ammoniacal inférieures à 0,1 mg/l (Pouomogne, 1994). Il tolère les teneurs en N-NH4 +N-NH3 allant jusqu'à 3,4 mg/l, la dose létale étant supérieure à 4 mg/l (Redner et Stickney, 1979 in Pouomogne, 1994).

En étang, la très grande prolificité de cette espèce rend nécessaire la présence d'un prédateur au sein de l'élevage pour contrôler la production d'alevins et garantir une croissance régulière et maximale des poissons marchands même en cas d'usage d'une population monosexe mâle (aucune méthode ne garantit une réussite du sexage de 100%). Dans le cas contraire, les nombreux alevins détourneraient une bonne partie des ressources trophiques de l'étang au détriment des poissons destinés au marché (Baroiller et Jalabert, 1990 ; Lazard et Oswald, 1995). Plusieurs prédateurs existent, à savoir *Hemichromis fasciatus, Parachana obscura* et les claridés *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus isopterus* avec des résultats de contrôle des populations plus ou moins satisfaisants (Pouomogne, 1994 ; Lazard et Oswald, 1995).

Le Tilapia du Nil, originaire des bassins fluviaux africains du Nil, Niger et Volta est aujourd'hui présent dans tous les cours d'eau camerounais où il se reproduit naturellement (Assiah *et al.*, 1996). Au Cameroun, son élevage est conduit en sexes mélangés avec des populations dont l'origine n'est pas toujours connue. Les poissons de certains élevages de la région Centre, présentent une perte de croissance proche de 40% comparée à une souche

provenant du fleuve Sanaga (Brummett et *al.*, 2004a). Cette baisse de performance pourrait être liée à l'absence de gestion des géniteurs. Aussi, ces auteurs recommandent aux producteurs de renouveler une partie de leur stock de géniteurs à partir de poissons du milieu naturel.



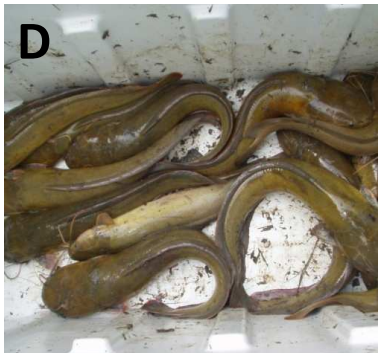
Tilapia (*Oreochromis niloticus*)



Clarias (*Clarias gariepinus)*



Carpe (*Cyprinus carpio*)



Silure (*Clarias jaensis*)

Figure 1.7 : Principales espèces présentes en polyculture au Cameroun

1.3.2. Le Clarias, *Clarias gariepinus* (figure 1.7 B)

Ce poisson communément appelé silure, Clarias ou poisson-chat africain, appartient à l'ordre des Siluriformes et à la famille des Claridés. C'est un poisson rustique en raison de son double système de respiration constitué de branchies et d'organes arborescents capables d'utiliser directement de l'air atmosphérique, ce qui rend facile sa manutention. Sa croissance maximale s'exprime aux températures allant de 27,5-32,5°C et pour des pH compris entre 6,5 et 8 (Hogendoorn *et al.*, 1983). Son régime alimentaire est omnivore à tendance carnivore à partir d'un poids d'environ 150g (Fishbase, 2010).

Le Clarias est fréquemment associé au Tilapia en polyculture bien qu'il existe une certaine compétition alimentaire entre les deux espèces (Lazard et Oswald, 1995). Se révélant un piètre prédateur d'alevin de Tilapia (Lazard et Oswald, 1995) à de faibles densités de mise en charge (0,1 ind/m²), il peut cependant devenir efficace à de fortes densités et à des poids moyens élevés (Bogne Sadeu *et al.*, 2008). En polyculture de Tilapia, la contribution du *Clarias* au rendement final avoisine souvent les 50% (Dabbadie *et al.*, 2002 ; Dabbadie, 2008 ; Lazard et Oswald, 1995).

Le *Clarias* affecte parfois considérablement la population de Tilapias en cas de prolongement du cycle d'élevage. En effet, du fait de sa forte croissance, il a tendance à délaisser les alevins au détriment des Tilapias plus gros, affectant ainsi le rendement final de production

de cette dernière espèce (Dabbadie, 1996 ; Oswald *et al.,* 2002). En Côte d'Ivoire, Morissens *et al*. (1996) ont relevé une augmentation du rendement global de production de 4 à 6,3 t/ha/an de Tilapia monosexe mâle recevant un aliment simple et de la fertilisation, quand il est associé au *Clarias gariepinus* aux densités de 0,25 clarias/m² pour 1,95 Tilapia/m². L'association Tilapia – Clarias procure des rendements économiques supérieurs à ceux d'un élevage de Tilapia en sexes mélangés (Dabbadie *et al.*, 2002 ; Dabbadie, 2008). Dans certains cas, cette association pourrait être plus intéressante qu'un élevage monosexe mâle de Tilapias en raison du prix de vente plus élevé du Clarias sur le marché (Oswald *et al.*, 2002).

1.3.3. La carpe commune, *Cyprinus carpio* (figure1.7 C)

Appartenant à la famille des Cyprinidés, cette espèce, originaire des régions tempérées et froides a été introduite au Cameroun en 1970 (Moreau et Costa-Pierre, 1997). Elle s'accommode bien aux températures d'eaux chaudes tropicales et grossit rapidement (4 $g.j^{-1}$) entre 25 et 30°C mais sa reproduction naturelle est inhibée à ces températures. Elle tolère les fortes concentrations en azote ammoniacal (10-13 mg/l) et peut survivre à de très faibles concentrations en oxygène dissous (0.5mg/l). Cependant pour des concentrations en O_2 dissous <3 mg/l, la carpe arrête de s'alimenter et recherche des zones plus oxygénées en surface (Lafaille et Crivelli, 2011).

Planctonophage aux très jeunes stades, la carpe devient essentiellement benthophage et omnivore au stade adulte (Ranson, 2003 ; Lafaille et Crivelli, 2011). La carpe se comporte très bien en polyculture avec le Tilapia lorsqu'elle y est associé en faible densité De par son activité de fouisseur du fond, elle remet à disposition pour la photosynthèse du phosphore et des minéraux précipités. Rahman (2006) rapporte que l'association de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) à 0,5 ind/m² en polyculture avec d'autres espèces de carpes (*Labeo rohita, Hypothalmichihtys molitrix, Ctenopharyngodon idella*) en étang augmente considérablement la biodisponibilité des nutriments (N, P). Par contre associé en une forte densité au Tilapia, elle provoque une forte turbidité de l'eau et un déficit en O_2 dissous pouvant affecter la croissance de ce dernier. Ainsi, Karplus *et al.,* (1996) ont pu relever qu'une densité de charge en polyculture de Carpe-Tilapia dans un ratio 1/5 dans les systèmes d'élevage semi-intensifs donnait les meilleures croissances pour la carpe, conduisant à la production de grandes carpes en fin d'élevage. Cela a conduit à une augmentation de 41% du revenu global de ce système du fait du prix de vente élevé des carpes de grande taille. Frei *et al.* (2007) ont conclu que l'association de la carpe avec le Tilapia a un rôle vital dans les systèmes d'élevage intégrés riz-poisson au Bangladesh, car elle contribue à une exploitation efficace des populations d'arthropodes, de la faune benthique et du phytoplancton et améliore le rendement global de production.

1.3.4. Le Silure, *Clarias jaensis* (figure1.7 D)

Cette espèce de la famille des Claridés peuple les eaux de quelques pays africains (Fishbase, 2010): rivière Ogooué au Gabon ; rivières Sanaga, Nyong, Kribi, Ntem, Dja et Sangha au Cameroun, cours d'eau du Sud-est Nigeria. Communément appelée « silure local » dans la région de l'Ouest au Cameroun, cette espèce est encore très peu étudiée. Comparativement au *C. gariepinus*, ce Clarias possède une tête relativement longue et, une courte et large fontanelle. La taille maximale observée est de 48,3 cm LT (Fishbase, 2010). Son régime alimentaire n'a pas encore été décrit, mais pourrait être différent de celui du *Clarias gariepinus*.

Il est introduit dans les pisciculture en cas d'insuffisance de disponibilité de *Clarias gariepinus*. Les pisciculteurs observent que *C. jaensis* contribuerait également au rendement final des étangs bien que sa croissance soit faible comparativement à celle du *C. gariepinus*.

1.3.5. Autres espèces

D'autres espèces sont également souvent associées dans les étangs de pisciculture, où elles jouent différents rôles. Le tableau 1.1 résume les familles et les caractéristiques de quelques autres espèces de polyculture en étang en Afrique au Sud du Sahara.

Tableau 1.1 : Familles et caractéristiques d'autres espèces de polyculture en étang au Cameroun

Famille	Espèces	Caractéristiques
Cichlidae	*Tilapia cameronensis* 	Sa présence dans les élevages est dans la plupart des cas accidentelle. Il diffère du *niloticus* par sa faible productivité et sa petite taille (max 32cm) Vivien (1991), ainsi que sa faible croissance en élevage (Breine *et al.,* 1996 ; Nguenga *et al.,* 1997)
	Hemichromis faciatus 	Perciforme de petite taille, carnivore et de grande prolificité est très efficace pour le contrôle de la prolifération des Tilapia dans les étangs (Lazard et Oswald, 1995). La longueur maximale observée est 26,5cm pour un poids max de 300g.
Arapaimidae	*Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829) 	Communément appelé « Kanga » au Cameroun, c'est un Osteoglossiforme unique espèce de sa famille en Afrique. Il est caractérisé entre autre par un corps allongé comprimé latéralement et recouvert de grandes écailles osseuses à consistance plus ou moins cornée (Lévêque *et al*., 1990). La ligne latérale est complète et les nageoires ne sont composées que des rayons mous. La taille maximale observée est de 98cm (10150g). Il est capturé dans les zones calmes et profondes des fleuves et des lacs. C'est un poisson à respiration double donc capable de supporter de faibles teneurs en oxygène dissous. C'est un planctonophage et microphage et est couramment élevé en polyculture avec des espèces à spectre trophique complémentaire. Il a été introduit dans le haut Nyong qu'il a colonisé ainsi que la basse Sanaga (Vivien, 1991). Ne présente pas de dimorphisme sexuel.
Channidae	*Parachanna obscura* 	Perciforme, poisson d'eau douce caractérisé par une tête ressemblant à celle d'une vipère d'où son appellation commune. La taille maximale rencontrée est de 50cm pour un poids max de 1000g. Poisson carnivore est souvent utilisé pour le contrôle de la prolifération des Tilapia en étang (Edwards *et al.,* 1994). Faible colonisation du fait de sa reproduction lente (1,4 à 4,4 années pour le doublement de son effectif dans un milieu)

1.3.6. Densité d'empoissonnement et rendement

La densité est un facteur de régulation du taux de croissance moyen des poissons et par conséquent de la durée de la période d'élevage. Glasser et Oswald (2001) montrent pour des

élevages de Tilapia que, pour un niveau d'intrant donné, le rendement augmente avec la densité d'empoissonnement, puis diminue au-delà d'une densité optimale (tableau 1.2). Cependant, l'augmentation de la taille marchande compense partiellement le rendement lorsque la densité d'empoissonnement est faible. Par ailleurs, le prix de vente au kg est en général supérieur pour les gros poissons. Dabbadie *et al.,* (2002) relèvent en Côte d'Ivoire que les densités de charge de 0,4 et 0,7 Tilapias/m² comparativement à 2 Tilapias/m² couramment pratiquées donnent de meilleures croissances individuelles ainsi qu'un rendement plus intéressant dans les systèmes piscicoles semi-intensifs utilisant uniquement du son de riz.

Tableau 1.2 : Rendement et poids moyen final de tilapia monosexe (*Oreochromis niloticus*) élevé en étang en Afrique sub-saharienne en fonction de la densité d'élevage et un même niveau d'intrants (adapté d'après Dabbadie, 1996 ; Glasser et Oswald, 2001)

Densité de mise en charge (ind. /m²)	Poids moyen individuel final (g)	Rendement (t/ha/an)
0,1	600	1
0,4	500	4
0,7	400	5,5
1	300	6
1,2	134	3,1
1,5	131	2,9

1.4. Les apports en nutriments et éléments minéraux

La productivité de l'étang, quel que soit le niveau d'apport trophique (faible ou élevé), est dépendante des caractéristiques pédologiques de son bassin versant, de l'eau qui l'alimente, ainsi que de la gestion des apports en minéraux et nutriments (C, N, P). McNabb *et al.,* (1990) proposaient en Thaïlande un rapport 50C:10N:1P pour un bon développement de phytoplancton et des poissons. D'après Egna et Boyd (1997), ces rapports moyens observés lors des meilleurs rendements seraient de 40C:10N et 8N:1P dans les étangs tropicaux. Ils montrent aussi qu'un abaissement à 2N:1P voire 1N:1P est nécessaire en condition de faible alcalinité.

En pisciculture d'étang ces équilibres C/N/P sont gérés par l'apport de fumures, d'amendements minéraux, de sous produits agricoles et/ou d'aliments formulés qui ont un effet direct ou indirect sur la chimie de l'eau.

Des données plus précises concernant le cycle des différents nutriments N, P et C sont proposées en annexe 1

1.4.1. Les amendements minéraux

Les processus de précipitation et de dissolution du phosphore liés au pH sont déterminants lors de l'utilisation des fertilisants en étang (Daumer *et al.,* 2007) et notamment

dans les conditions acides. La disponibilité de l'azote et du phosphore dans la colonne d'eau pour des processus photosynthétiques est fonction de son alcalinité totale. Au dessous d'un certain seuil (<20 mg/l $CaCO_3$), la fixation de l'azote par les microorganismes des sédiments, les fortes concentrations en NH_3 ainsi que la précipitation du phosphore sont favorisées au détriment de la photosynthèse (Golterman, 1984 ; Labroue *et al.,* 1995). Il a été relevé qu'une alcalinité comprise entre 47 et 100 mg/l de $CaCO_3$ avec des concentrations adéquates de N et P améliorait la productivité du système.

Le produit utilisé pour améliorer l'alcalinité de l'eau est préférentiellement de la chaux agricole et à défaut de la chaux vive. Cependant quelques essais de substitution de la chaux par la cendre de bois ont été réalisés (Jamu et Msiska, 1996). La limite d'application de la cendre en agriculture en général est fonction de la quantité permettant de maintenir le pH à l'optimum nécessaire au développement des plantes ou des animaux. Ainsi d'après Risse et Gaskin (2002), la capacité de la cendre à remplacer la chaux est fonction de sa concentration en carbonate de calcium ($CaCO_3$). Des amendements calcaires par apport de 2,5 t/ha/an de $CaCO_3$ (Boyd, 1990) ou de cendre de bois (Jamu et Msiska, 1996) permettent soit de relever soit de maintenir le taux d'alcalinité aux seuils tolérables.

1.4.2. Les fertilisants (nutriments)

L'amélioration des rendements de production des étangs au travers de la fertilisation est une pratique utilisée depuis longtemps dans le monde. C'est une tradition bien connue en Chine où les fumures animales et les déjections humaines sont utilisées comme principale source d'apport en fertilisant dans les étangs de polycultures de carpes

D'après Dabbadie (1996), les techniques de fertilisation à mettre en œuvre pour maximiser la production piscicole devraient s'attacher à favoriser plus le développement du périphyton et du benthos qui constituent des réserves trophiques stables pour les poissons que celui du plancton. Il relève également que les étangs dont le sédiment est très sableux ne sont pas favorables à ce type d'apports en raison des temps de séjour courts de l'eau.

Les fertilisants sont constitués par tous les produits dont l'emploi est destiné à entretenir ou améliorer la production primaire de l'étang ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques du milieu (Van De Kerchove *et al.,* 2002).

Dans les systèmes d'élevage à faible niveau d'intrants, la production est essentiellement basée sur la productivité naturelle des étangs. Cette dernière est fonction de la quantité et du type d'apports en nutriments. Les apports notamment en azote, en phosphore et éventuellement en carbone stimulent la production primaire, base du réseau trophique, au travers du processus photosynthétique.

En fonction de leur origine on distingue deux types de fertilisant:
- les fertilisants chimiques,
- les fertilisants organiques.

1.4.2.1. Les fertilisants chimiques

Ils sont constitués des engrais chimiques essentiellement azote (N), phosphore (P) et potassium (K) apportés pour stimuler la productivité primaire dans le milieu. Un apport de 40kg de N, 20kg de P et 30kg de K par an a permis d'obtenir un rendement en poisson (*Cyprinus*

carpio, Ctenopharyngodon idella) de 10t/ha/an en système intégré riz-poisson en Inde (Kumar et Ayyapan, 1998).

1.4.2.2. Les fertilisants organiques

Ce sont des produits d'origine animale ou végétale. Ils apportent dans l'étang principalement de l'azote, du carbone, du phosphore et quelques autres minéraux.

a) Les fertilisants organiques d'origine végétale

Ce sont des sous-produits de l'agriculture utilisés soit directement par les poissons comme aliments, soit indirectement comme fertilisant organique de la production primaire endogène après un compostage intra ou extra étang. Selon leur composition (Tableau 1.3), la dégradation des sous produits végétaux fournirait à l'étang plus ou moins de nutriments biogènes et d'amendements calciques pour la production photosynthétique. Les poissons de pisciculture, dans leur grande majorité, ne sont pas capables d'utiliser, comme le peut uniquement la carpe herbivore *Ctenopharyngodon idella*, de la matière végétale et notamment des macrophytes. En polyculture de carpe commune (*Cyprinus carpio*) et de carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*), des rendements de l'ordre de 3t/ha/an ont été obtenus en Inde uniquement avec des apports de matière végétale. La carpe herbivore tout en transformant les végétaux rejette des fèces qui servent d'aliment pour la carpe commune et de support aux bactéries (Kumar et Ayyapan, 1998).

Tableau 1.3 : Composition (en % de Matière Sèche) de quelques végétaux et fruits couramment utilisés pour l'alimentation des poissons ou comme fertilisants (d'après Pouomogne, 2005 et 2007 ; Friot, 2002)

Intrants	Protéine brute	Phosphore	Calcium
Chromolaena odorata	26	0,2	1,1
Tithonia diversifolia	23	0,2	3,5
Pennisetum purperum	6	17	*
Epluchures de manioc	7,31	0,1	0,2
Feuille de Calliandra	20	0,2	1,41
Leucaena sp.	24	7	*
Feuilles d'arachide	16	19	*
Feuilles de patate	15	0,3	0,4
Feuilles de choux	18,1	0,40	3,3
Feuilles de manioc	27	10	*
Epluchures de banane	10	0,17	0,32
avocat murs	12	0,27	0,1
Goyaves mures	11	0,17	0,1
Déchets de cuisine	20	1	*
Papaye mures	6	0,11	0,25

Au Cameroun, dans la région de Yaoundé, Brummet *et al.*, (2005) ont obtenu des résultats satisfaisants (tableau 1.4) en utilisant des sous-produits agricoles dans des compostières intallées dans les étangs (figure 1.2. D) et/ou en alimentation directe des poissons.

Ces résultats montrent également que l'avocat, bien qu'étant très apprécié par les poissons, a un indice de conversion élevé (IC : 2,49) et induit le taux de croissance spécifique le plus faible (0,44) de l'expérimentation menée. Cependant la production de poisson (2,5 t / ha) reste faible comparée à celle obtenue avec la fumure animale (Brummet *et al*., 2005). Ainsi, Nhan *et al*., (2007) ont relevé des productions journalières maximales en poisson faibles de 1,43 kg/ha/j et 2,35 kg/ha/j, en utilisant des apports de résidus végétaux (dont des fruits), comparées à des productions de 17,66 kg/ha/j obtenues avec de la fumure animale.

Tableau 1.4 : Indice de conversion et taux de croissance de la biomasse totale obtenu en étangs extensifs de polyculture *Oreochromis niloticus-Clarias gariepinus* à partir de quelques sous-produits végétaux (Brummett *et al.*, 2005)

Matériel végétal	Indice de conversion	Taux de croissance de la biomasse (%)
Coque de cacao	1,28	2,16
Coque de café	1,08	2,28
Avocat	2,49	0,44
Chromolaena	2,27	2,51

b) Les fertilisants organiques d'origine animale

Les rejets animaux sont très utilisés pour la production du poisson dans les étangs avec des résultats très probants. Par exemple, la pisciculture recycle dans certaines régions du Viet Nam, près de 77% d'effluents d'élevage majoritairement constitués de lisier de porc (Mikolasek *et al.*, 2009b). D'après Kumar et Ayyappan (1998), la bioconversion dépend du type d'animal et de la composition des déjections (Tableau 1.5). Ces auteurs donnent les performances suivantes (kg de déjection / kg de poisson produit) : 14/1 pour la fiente de poule, 15/1 pour la fiente de canard, 17/1 pour le lisier de porc, 40/1 pour la bouse de vache, 50/1 pour le crottin de cheval et 200/1 pour le lisier de bovin.

Tableau 1.5 : Composition (en % de Matières Sèches) des déjections de quelques animaux domestiques (Source : Kumar et Ayyapan, 1998 ; Tuan *et al.*, 2006)

Animal	Humidité	Matière organique	Azote	phosphore	Potassium
Poule	11,4		3	2	2
Poule pondeuse	11,4		4,7	4,3	2,6
Chèvre	77		1 ,4	0,5	1,2
Bœuf	80 – 85	14,6	0,3 - 0,45	0,15 - 0,25	0,05 - 0,15
Vache laitière	85	11,4	0,36	0,32	0,20
Porc (fèces)	85	15	0,5 - 0,6	0,45 - 0,6	0,35 - 0,5
Porc (urine)	97	2,5	0,3 - 0,5	0,07 - 0,15	0,2 - 0,7
Canard	56,6	25,2	1	1,4	0,62

D'après la Coche *et al.*, (1997), des épandages de 1500 kg MS/ha de fiente de poule sont recommandés pour la fertilisation de fond dix jours avant l'empoissonnement en climat chaud avec des densités d'élevage élevées. Elle permet d'avoir un substrat de fond et de stimuler le développement des bactéries et du phytoplancton. Afin de maintenir une croissance normale des poissons et la vie de l'étang en général, il est nécessaire d'appliquer une ration d'entretien dans la limite de la quantité maximale de matières sèches de 1200 kg/ha/semaine qui permet d'éviter

les risques d'anoxie (Coche *et al.*, 1997). En effet, d'après Hepher et Pruginin (1990), les fumures organiques devraient être appliquées avec prudence, leur rapide décomposition et l'augmentation de la population bactérienne pourraient entraîner des carences en oxygène et la mort des poissons. Cependant selon ces mêmes auteurs, des apports maximaux de 700-840 kg/ha/semaine de fumure animale, correspondant à des apports d'azote et de phosphore respectivement de 0,9 et 0,12 g/m²/j sont à préconiser pour un développement optimal du Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ces résultats sont obtenus avec les apports de fumure de volaille de l'ordre de 70-140 kg/ha/j suivant les conditions d'alcalinité de l'eau de l'étang (McGeachin et Stickney, 1982 *in* El-Sayed, 2006).

Une fertilisation minimale par apport de 125 kg/ha/semaine de fumure de volaille a permis en Thaïlande et aux Philippines d'augmenter la production du Tilapia de 0,63 à 4,64 t/ha/an (Green *et al.*, 1990 *in* Egna et Boyd, 1997). Les mêmes auteurs relèvent que de plus forts rendements de production (3,5 à 4,7 t/ha/an) sont obtenus avec des apports de l'ordre de 1000 kg/ha/semaine. Cependant les rendements de Tilapias les plus élevés (>10t/ha/an) n'ont été obtenus qu'en polyculture avec les carpes chinoises principalement la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). D'autre part, Hopsking et Cruz (1982 *in* El-Sayed, 2006) rapportent que le rendement de production du Tilapia en polyculture avec la carpe commune et le poisson à tête de vipère *Channa striata* ou le *Clarias batrachus* obtenu aux Philippines est meilleur avec du lisier de porc ou de la fiente de poule comparativement à la fumure de canard. Cette dernière donne elle-même de meilleurs résultats que les fertilisants minéraux, du fait de la forte stimulation des productions bactériennes et/ou de la consommation directe des fumures.

Il a été tout de même démontré que les étangs fertilisés uniquement avec de la fumure animale sont souvent carencés en azote pour un bon développement de la production primaire (Batterson *et al.*, 1989 ; Diana *et al.*, 1991). Pour pallier cette carence, Diana *et al*. (1991) relèvent que des apports de 200 kg/ha de fiente de volailles et de 22,4 kg N/ha sous forme d'urée par semaine ont permis d'augmenter la densité d'empoissonnement de 1 à 3 poissons/m² et de réaliser des productions de l'ordre de 6 t/ha/an de Tilapia en Thaïlande. Des travaux de Boyd (1990) relèvent qu'un apport hebdomadaire d'engrais minéral (urée), ou de deux à trois fois d'engrais organique permettent de relever le niveau d'azote.

1.4.3. Les apports alimentaires

Parmi les apports alimentaires autres que des granulés composés, les issues de blé ainsi que le son de riz sont des sous-produits agricoles fréquemment utilisés en étang de pisciculture. Ils joueraient deux principaux rôles :

- alimentation directe des poissons, bien que leur taux de conversion soit faible
- fertilisation, résultant de la dégradation des fractions non ingérées et non digérées de ces issus riches en carbone.

Bien que les modalités d'apports de ces derniers soient variables, Dabbadie (1996) relève que des apports de 1g/m²/j dans un étang fertilisé sont suffisants comme complément alimentaire. Des apports d'autres éléments tels que les déchets de pain, comparables aux issus de blé, sont couramment observés dans les élevages mais leur utilisation n'a jamais fait d'objet d'étude précise ; l'ensemble de ces modalités est résumé au tableau 1.6.

Tableau 1.6 : Quantités et fréquences d'apports de différents types de fertilisant et compléments alimentaires

Apports	Quantités et Fréquences d'apport par ha	Références
Fientes	1500 kg MS au démarrage + 125 kg/semaine	Coche *et al.*, 1997; Green *et al.*, 1990 in Egna et Boyd, 1997 ; Molnar *et al.*, 1996
Urée	22,4 kg N/semaine	Diana *et al.*, 1991
Chaux	2200 kg au démarrage	Boyd, 1979
Cendre	5116 kg au démarrage	Risse et Gaskin, 2002
Remoulagede blé	10 kg/jour	Mêmes types de coproduits que le son de riz (Dabbadie, 1996)
Pain	10 kg/jour	

1.5. Principales intégrations des pisciculture en étang aux systèmes de production agricole

Les systèmes intégrés peuvent être définis comme une association de deux ou plusieurs systèmes d'élevage ou de culture différents qui deviennent de fait des parties du système de production intégré (FAO, 2003). En aquaculture, ces systèmes se sont développés en Asie du Sud Est depuis des siècles. Les systèmes intégrés d'aquaculture reposent essentiellement sur :
- le recyclage des rejets ou sous-produits de l'exploitation, les rejets d'un atelier (de production végétale ou animale) devenant des intrants de l'autre;
- une utilisation efficiente de l'espace pour des productions multiples.

Les intégrations élevage mammifère-poisson, volaille-poisson, riz-poisson ainsi que des pratiques d'assolement en étang ont été largement développées et pratiquées dans les pays comme la Chine, la Hongrie, l'Allemagne, la Malaisie et l'Inde (Kumar et Ayyapan, 1998). Ces systèmes utilisent uniquement des rejets d'élevages et des sous-produits agricoles comme intrants pour la production du poisson. Il a été démontré que 40 à 50kg de fumure organique peuvent produire 1kg de poisson (Milstein, 2005 ; Nhan *et al.*, 2007). Bien que les associations avec les végétaux soient plus nombreuses, les meilleurs rendements, supérieurs à 10 t/ha/an, sont obtenus en associant un élevage terrestre à une production piscicole. Dans la province de Thaï Binh au Vietnam, des rendements de 7 t/ha/an ont été obtenus en polyculture de carpe en association avec un élevage ou en utilisant de la fumure animale. Ces rendements sont à comparer aux rendements de 1 à 2 t/ha/an obtenus dans la même province en association avec du riz (Mikolasek *et al*., 2006 et 2009b). Le tableau 1.7 résume quelques associations en pisciculture d'étang ainsi que leurs rendements.

D'après les travaux de Nhan *et al*, (2007), la motivation à la pratique de la pisciculture intégrée serait liée au fait qu'en plus de la valeur ajoutée qu'elle apporte à l'exploitation, elle contribue à la réduction des impacts environnementaux à travers le recyclage des déchets. Jamu et Piedrahita (2002a) relèvent que le recyclage des sous-produits végétaux des cultures par l'aquaculture dans les systèmes intégrés aquaculture/agriculture permet une très efficace rétention de l'azote. Le tableau 1.8 résume quelques performances écosystémiques de trois

systèmes intégrés d'élevage du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) recyclant les rejets des cultures dans les étangs.

Tableau 1.7 : Association et rendement (t/ha/an) en pisciculture d'étang (Dabbadie et Lazard, 2002 ; Kumar et Ayyappan, 1998 ; Mikolasek *et al.*, 2006 et 2009b)

Pays	Association	Apport (nombre animal ou quantité d'apport/ha)	Rendement en poisson (t/ha/an)
Inde	Riz	Fertilisant (40 kgN, 20 kgP, 30 kg K)	10
Inde	Horticulture	3 ,64 t de déchet des fruits	2-3
Chine	Canard	2 500	3,4
RCI		1000 – 1500	3,8 – 4,5
Philippine		750 – 1 250	2,2 – 4,5
Chine	Porc	30 – 45	2 – 3
Philippine		40 – 140	4,7 – 8,7
Vietnam		50 – 100	4 – 10
RCI		50 – 100	7,7 – 10,2
RCI	Poulet	2 500	5,4
Afrique du Sud		6 000	6,3
Inde	Vache	0,024 kg de bouse/m²/jour	2-3

Tableau 1.8 : Performances écosystémiques de trois systèmes intégrés aquaculture /agriculture, les valeurs de rendement d'azote sont calculés pour une parcelle dans laquelle l'étang et la culture (maïs) occupent chacun un demi-hectare (adapté de Jamu et Piedrahita, 2002a)

	Indicateurs de performances écosytémiques				
Systèmes (apport/semaine)	Azote apporté à l'étang (Ne) (kg/ha)	Indice de rétention par le poisson (Np/Ne)	Production nette de poisson (kg/ha)	Production végétale nette (kg/ha)	Transformation azotée nette (poisson+ végétal) (kg/ha)
A : 160 kg N_{min} /ha	160	3,56	3,51	2,88	54,4
B : 500 kg/ha/de fiente de volailles	278	2,75	4,32	2,68	57,5
A+B	438	1,71	4,32	2,88	63,5

N_{min} : azote minéral ; Ne : quantité azote entrée, Np : quantité azote retenue par les poissons

L'amélioration des performances des systèmes de production intégrée est aussi liée à l'usage d'un système approprié de polyculture de poissons qui permet d'augmenter l'utilisation des ressources alimentaires des différents niveaux trophiques réduisant ainsi la charge des rejets de la production piscicole tout en augmentant la marge économique de l'activité (Shouqi *et al.*, 2007)

1.6. Conclusion

L’exploitation familiale agricole (EFA) ainsi que le système de production piscicole qu’elle intègre, se trouve être une structure complexe dont le fonctionnement serait lié aux différentes stratégies et mécanismes développés par les acteurs pour faire face aux multiples contraintes.

Le système piscicole se trouve être en interaction avec tous les autres systèmes de production. Sa caractérisation globale au sein de l’EFA permettrait de mieux appréhender son fonctionnement aux fins de son optimisation durable.

Chapitre 2 : Rôle et place de la pisciculture dans le fonctionnement des exploitations familiales agricoles des régions Centre et Ouest du Cameroun

Différentes enquêtes conduites au Cameroun dans les régions de l'Ouest (Nji et Daouda, 1990 ; Tomedi Eyango *et al.,* 2009), de l'Ouest et du Nord-Ouest (Satia *et al.,* 1992) et du Centre (Hirigoyen *et al.,* 1997) montrent qu'il existe un véritable intérêt des exploitants à vouloir insérer la pisciculture dans les EFA (de nombreux étangs ont été construits), mais seuls 40 à 50 % d'entre eux pérennisent cette activité. Pour un petit nombre d'exploitants, la pisciculture constitue cependant une véritable activité génératrice de revenus au même titre que les autres spéculations d'élevage et de culture végétale de l'exploitation. Les raisons données aux abandons sont multiples mais l'une des plus fréquentes est le manque de connaissances biotechniques. L'adoption dans les années 90 d'une démarche systémique a permis de mieux prendre en compte les mécanismes complexes de fonctionnement des différents systèmes au sein de l'exploitation. Ceci s'est traduit par l'élaboration de nombreuses typologies à partir d'enquêtes d'exploitations pour approfondir la compréhension des stratégies des producteurs dans le contexte biophysique et socioéconomique dans lequel ils évoluent. Les typologies constituent alors des outils d'évaluation et d'aide à la décision pour la mise en place de politiques publiques capables de prendre en compte la diversité des systèmes de production aquacole à l'échelle d'un territoire et dans la perspective d'un développement durable (Lazard *et al.,* 2010).

Dans ce contexte, il est nécessaire d'appréhender l'hétérogénéité de fonctionnement des exploitations ayant maintenu une véritable activité de pisciculture, de comprendre les stratégies mises en place par les exploitants en relation avec les contraintes et les évolutions des différents systèmes de production et ainsi d'identifier des points d'intervention en vue d'une amélioration globale et durable. Aussi, la caractérisation des types d'ateliers piscicoles enquêtés, sera analysée dans le contexte global que représente le système de l'EFA.

2.1. Revue de la littérature et cadres théoriques

Les premières typologies proposées dans le domaine aquacole ont souvent été construites à seul dire d'experts. Cette approche peut conduire à ne pas prendre suffisamment en compte les conditions réelles et à délivrer des conseils standards tirés d'une doctrine de portée générale (Landais et Bonnemaire, 1996).

Ainsi de nombreux auteurs (Edwards *et al.,* 1988 ; Edwards, 1993 ; Tacon, 1997 ; Dabbadie *et al.,* 2002) déterminent 3 grands types de systèmes aquacoles en fonction de critères techniques portant sur le niveau des apports trophiques (tableau 2.1), le rendement, la gestion de l'eau ou la densité de poissons.

Ces typologies à portée générale sont utilisées pour décrire les systèmes mais aussi discuter des meilleures stratégies à adopter pour améliorer l'efficacité globale de l'utilisation des ressources en aquaculture, dans un contexte de développement durable (Billard, 1995 ; Tacon, 1997).

Tableau 2.1 : Niveau d'intensification et gestion des apports trophiques dans les systèmes aquacoles (Tacon, 1997, d'après Edwards 1993)

<table>
<tr><td>Caractéristiques</td><td colspan="5">Niveau d'intensification</td></tr>
<tr><td></td><td>EXTENSIF</td><td colspan="2">SEMI-INTENSIF</td><td colspan="2">INTENSIF</td></tr>
<tr><td>Rendement t/ha/an</td><td>0 - 1</td><td>1 – 15</td><td>15 - 20</td><td>20 - 100</td><td>100 - 1000</td></tr>
<tr><td rowspan="9">Gestion des apports trophiques</td><td>Pas d'intrants</td><td colspan="4">Fertilisation</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Aliment supplémentaire</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Fertilisation</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Aliment supplémentaire</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aliment complet</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td></td><td colspan="2">Aliment complet</td></tr>
<tr><td>Aération</td><td colspan="2">Recirculation</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>Aliment complet</td></tr>
<tr><td>Raceways/cages</td></tr>
</table>

D'autres typologies croisent cette fonctionnalité technique avec des considérations socio-économiques (tableau 2.2) en vue d'orienter les politiques publiques. En 1991, Lazard *et al.* proposaient une typologie des pisciculture en Afrique subsaharienne suivant le système et la finalité des produits :

- une pisciculture d'autoconsommation dans laquelle la dimension technico-économique de l'activité n'est pas ou peu prise en compte;
- une pisciculture artisanale de « petite » production marchande caractérisée par l'acquisition d'intrants et la commercialisation de tout ou d'une partie importante de la récolte de poissons. La disponibilité à faible coût de sous-produits agricoles ou agroindustriels apparaît comme la principale contrainte et donc la proximité d'un centre urbain, comme un avantage. Il faut noter que ce type englobe la pisciculture extensive dans des petites retenues d'eau en raison de sa rentabilité.
- une pisciculture de type «filière» (aux Bénin, Côte d'Ivoire, Niger) qui a connu un certain développement dans les années 80 et le début des années 90. Ce type n'a pas été pérennisé au-delà de projets ponctuels.
- une pisciculture industrielle, dont le développement apparaît alors limité dans le contexte socio-économique qui prévalait à cette époque.

Ces auteurs concluaient que la pisciculture artisanale de petite production marchande était celle qui semblait avoir le plus d'avenir tout en insistant sur l'absence d'études socioéconomiques approfondies d'une part , et d'un modèle rentable en milieu rural d'autre part.

Après avoir énuméré quelques contraintes du développement des élevages de tilapia en Asie, Little (2000) propose une classification des fermes piscicoles sur la base des principaux critères suivants : localisation, taille associée à quelques facteurs de production et degré d'insertion dans le réseau social. Cet auteur introduit les notions d'intégration horizontale et verticale pour caractériser les systèmes. Ainsi, il définit trois grands types : (i) les exploitations de petite taille (« smallholders », < 3t/ha/an) généralement localisées en zone rurale, incluant parfois des pêcheries communautaires, sans apports trophiques ; (ii) les exploitations commerciales (5-15t/ha/an) localisées en zone périurbaine, avec apports trophiques, fertilisation et souvent apport d'aliments composés, dont plus de 50% des produits de récolte sont destinés à la commercialisation; et enfin (iii) les exploitations industrielles (> 100t/ha/an) avec une

intégration exclusivement verticale, forte technicité et rendement de production élevés. Le type « smallholders » englobe les systèmes les plus extensifs qui en milieu rural connaissent un succès économique.

Dans une proposition plus récente, Brummett *et al.* (2008) proposent un regroupement des fermes aquacoles africaines en quatre type : (i) fermes extensives (< 2.5t/ha/an) avec des étangs de grande surface, une faible densité d'empoissonnement, pas d'apport trophique et une production orientée vers la consommation familiale; (ii) fermes «artisanales» de petite taille (< 1.5t/ha/an) ayant des étangs de faible superficie (souvent < 500m²), utilisant des sous produits de cultures et/ou d'élevage comme fertilisant et dont près de 50% des récoltes sont vendues ; (iii) fermes entrepreneuriales petites et moyennes (PME) avec une mobilisation élevée de capitaux, ayant un recours non limité aux intrants (fertilisation et/ou aliments composés), et dont plus de 70% des récoltes sont vendues ; (iv) fermes commerciales de grande taille, avec une forte densité d'empoissonnement et un niveau de technicité élevé. Les 3 premiers types sont qualifiés d'intégration horizontale (ensemble des sous-systèmes ayant le même niveau et le rendement économique étant la complétion des rendements des différents sous-systèmes qui interagissent entre eux) et le 4ième à intégration verticale (sous-systèmes isolés de niveaux différents unis par l'intermédiaire d'une hiérarchie).

Tableau 2.2 : Quelques typologies des systèmes aquacoles en étang en zone inte tropicale

Auteurs	Types d'aquaculture				
	A	B	C		D
Lazard *et al.,* 1991	de subsistance		Artisanale de «petite» production marchande	filière	industrielle
Bozena et Weigel, 1998 Brummet *et al.*, 2008	extensive	«artisanale » de petite taille	petites et moyennes entrepreneuriales (PME)		

Ces typologies synthétisées dans le tableau 2.2 mettent en évidence quatre types d'aquaculture qui combinent et valorisent de manière différentes les facteurs de production et correspondent à des logiques différentes. Ainsi peuvent être distinguées des aquacultures: extensive rurale (A), semi-intensive intégrée aux systèmes de production agricole (B), PME (C) et industrielle (D). On observe deux voies d'intensification, qui dans certains cas peuvent être combinées : l'une basée sur l'utilisation croissante d'intrants et l'autre par une valorisation du foncier. Toutes ces typologies qui ont comme trait commun la prise en compte des caractéristiques socio-économiques, restent cependant très générales. Elles ne permettent pas d'appréhender facilement les choix opérés par les producteurs, choix inhérents à certains facteurs caractéristiques du milieu local ou de la région dont l'ensemble des évènements qui peuvent influencer la démographie familiale (Jasmin *et al.,* 2007). Cependant, ces classifications fournissent des éléments permettant de définir la place (fournisseur de devise) et le rôle (écologique au travers le recyclage des déchets) de la pisciculture au sein de l'exploitation globale.

2.2. Méthodologie

2.2.1 Les zones d'étude

Le Cameroun, pays du Golf de Guinée, situé entre 1°40 – 13° de latitude Nord et 8°80-16°10 de longitude Ouest, couvre une superficie de 475 650 km². Sa population est estimée à 19,4 millions d'habitants dont 46,6% vivent en milieu rural et un taux de croissance démographique annuel de 2.8% (BUCREP, 2010 ; INS, 2006). L'économie est à 70% dominée par le secteur primaire. Le secteur agricole contribue pour 20,4% au PIB national (BAfD/OCDE, 2008). Le pays comporte une variété de paysages (Wautelet, 1995) et zones géomorphologiques et climatiques qui permettent de le subdiviser en cinq zones agro-écologiques. Notre étude a été réalisée dans les exploitations familiales agricoles de deux des quatre zones à fort potentiel aquacole (Pouomogne et Pemsl, 2008) : la région Centre (zone de forêt à pluie bimodale) et les hautes terres de l'Ouest (figure 2.1).

2.2.1.1. La région de l'Ouest

Elle couvre une superficie de 13 892km² et est subdivisée en 8 départements dont la Menoua et les hauts plateaux qui abritent les exploitations étudiées.

Le relief est montagneux, marqué par des plateaux dont l'altitude moyenne est de 1600m. Les vallées étroites qui séparent les différents plateaux, sont occupées par les cours d'eau et une végétation dominée par les raphias.

Le climat est de type soudano guinéen modifié par l'altitude. Il est caractérisé par une saison sèche allant de novembre à mars au cours de laquelle les températures varient de 20 à 27°C et une saison de pluies de mi-mars à mi-novembre avec des températures de 16 à 23°C. La moyenne annuelle des précipitations est de 1600 mm. L'humidité relative varie de 49,0 à 97,9% entre la saison sèche et la saison des pluies.

La végétation naturelle est caractérisée par les savanes arbustives dominées par *Hyparrhinia sp, Imperata cylindrica, Pennisetum clandestinum, sporobolus midalis, pennisetum purpereum* ; les forêts galeries et les raphias dans les bas-fonds laissent progressivement la place aux champs de cultures maraîchères et à la pisciculture.

La densité de la population de la zone est de 124 habitants/km² (BUCREP, 2010). La concentration humaine est forte sur les plateaux, ce qui réduit la taille des exploitations. Dans les zones de montagne, la taille des exploitations tend à être plus grande avec de grands espaces de pâture. La population est essentiellement agricole, les principales cultures sont les cultures de rentes : café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*) et les cultures vivrières : maïs (*Zea mays*), haricot (*Phaseolus vulgaris*), arachides (*Arachis hypogaea*), manioc (*Manhiot esculenta*), patates douces (*Ipomoea batatas*), macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), taro (*Colocasia esculenta*), igname (*Dioscore*a). Le sol est occupé en permanence par les cultures pérennes : fruitiers, bananiers (*Musa*)… On y pratique l'élevage de porc, de volaille et de petits ruminants ainsi que de l'agroforesterie basée sur la culture des eucalyptus. La configuration du paysage agraire est caractérisée par, du haut des collines vers le bas, un gradient d'intensification croissante en rapport avec la densité des cultures et des arbres sur l'espace cultivé (Fotsing, 1999).

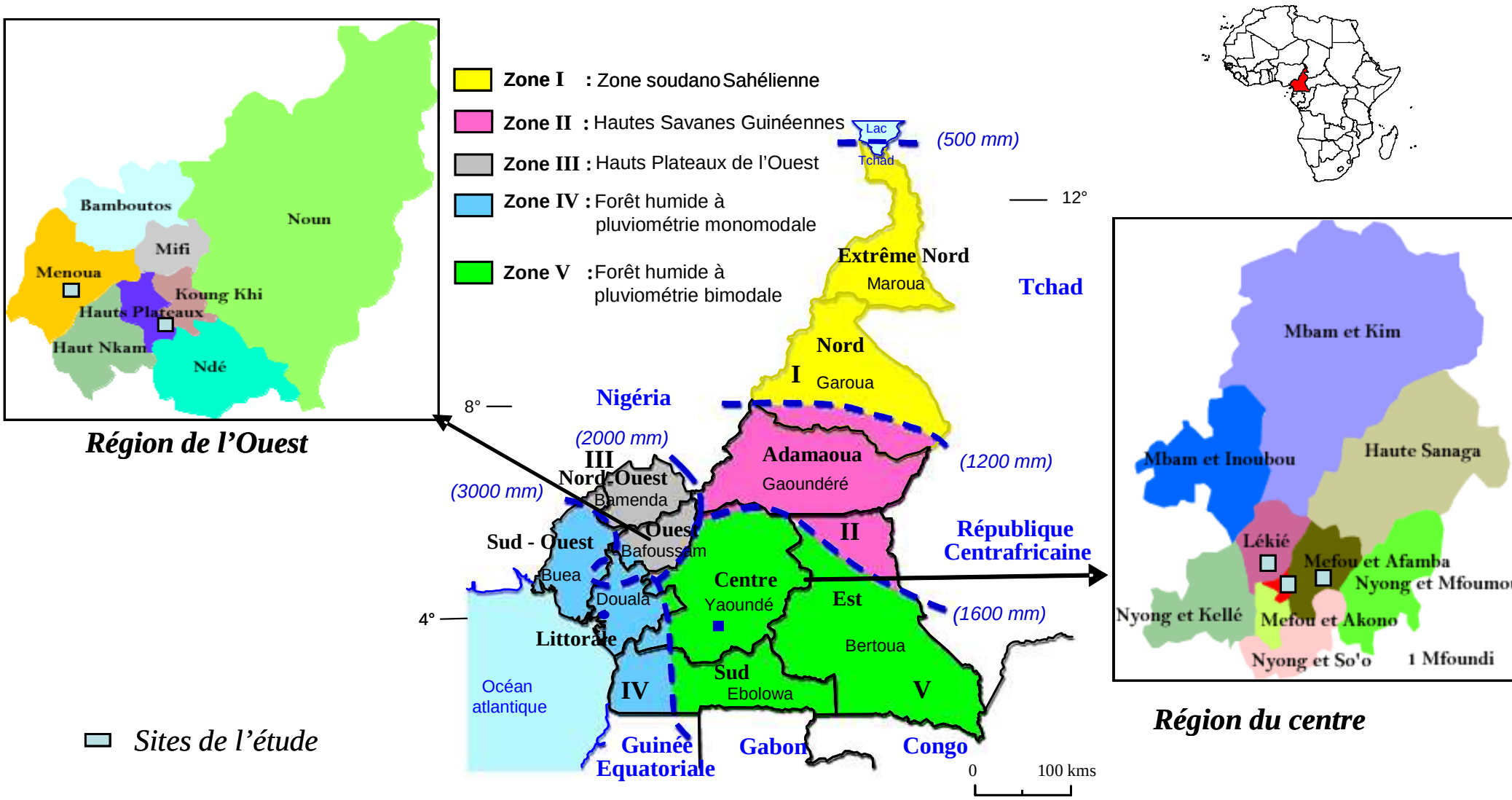


Figure 2.1 : Zones agro-écologiques du Cameroun – Détails des Régions du Centre et de l'Ouest et les localisations des fermes étudiées

2.2.1.2. La région du Centre

D'une superficie de 68 953km², la région Centre est subdivisée en 10 départements dont le Mfoundi, la Lékié, la Méfou – Afamba et la Mefou - Akono abritant les exploitations prises en compte dans notre étude.

Le relief est celui des collines en lanière avec une vaste surface d'aplanissement d'altitude moyenne 700-800 m présentant des buttes surbaissées (Eno Belinga et Kabeyene, 1982 ; Wonkna *et al.,* 2003). Les sols y sont de deux types : (i) les sols ferralitiques rouges issus des formations géologiques appartenant au socle ancien, dont le faciès dominant est un gneiss granifère à deux mica ou biotite seule et dont la couleur s'altère vers le jaune au fur et à mesure qu'on s'éloigne des sommets (Pellier et Humel, 1969 ; Wonkna *et al.,* 2003) ; (ii) les sols hydromorphes dans les vallées, formés de dépôts de déchets et d'alluvions.

Le climat est de type équatorial modifié par l'altitude et la continentalité, et il est qualifié de climat yaoundéen par Suchel en 1987. Il comprend 4 saisons inégalement réparties, deux sèches (décembre-février et juillet-août) et deux de pluies (mars-juin et septembre-novembre). La moyenne annuelle des précipitations est de 1700 mm et la gamme de la température de 19-28°C.

La végétation est celle de la forêt dense fortement modifiée par l'homme pour cause de l'avancement de l'urbanisation et des cultures.

La densité de la population est de 44,9 habitants/km² (BUCREP, 2010). La configuration des exploitations et la gestion des espaces cultivés sont fort différentes de celles des hautes terres de l'Ouest avec la pratique de la jachère et des cultures itinérantes sur brûlis. La principale culture de rente est le cacao (*Theobroma cacao*), les cultures vivrières sont la banane plantain, le maïs (*Zea mays*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le manioc (*Manhiot esculenta*), le macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), et d'autres produits maraîchers. Les arbres fruitiers occupent les terres de façon pérenne.

2.2.2. Méthodes d'étude

2.2.2.1. La démarche d'enquête

Pour pouvoir générer une typologie des ateliers de production piscicole, des enquêtes à caractère semi–directif (Bourdieu *et al.,* 1968) ont été réalisées suivant une démarche systémique. Cette démarche consiste à considérer qu'une exploitation agricole n'est pas la simple juxtaposition d'ateliers de production ni l'addition de moyens et techniques de production mais une entité tridimensionnelle : système de production – famille - environnement (SFE) (Brossier, 1987). Cette démarche permet de mieux comprendre et prendre en compte les mécanismes de fonctionnement complexes des différents systèmes au sein de l'exploitation. Un essai de représentation schématique de cette complexité au travers un ensemble de sous-systèmes de production ainsi que les interconnexions entre sous-systèmes est proposé à la figure 2.2. Ainsi l'enquête a porté d'une part sur le profil socio-professionnel de l'exploitant et d'autre part sur les caractéristiques globales des exploitations, dont les moyens de production, le revenu par activité et le devenir des productions. Ainsi chaque EFA est caractérisée par un ensemble de 59 variables brutes (annexe 2) regroupées en 8 groupes :

- Localisation de l'exploitation (3 variables)
- Caractéristiques socioprofessionnelles de l'exploitant (8 variables)
- Force du travail humain (1 variable)

- Système de culture (5 variables)
- Système d'élevage terrestre (6 variables)
- Système piscicole (25 variables)
- Orientations des productions de l'exploitation (8 variables)
- Incidence de la pisciculture sur le revenu agricole total brut de l'exploitation (2 variables)

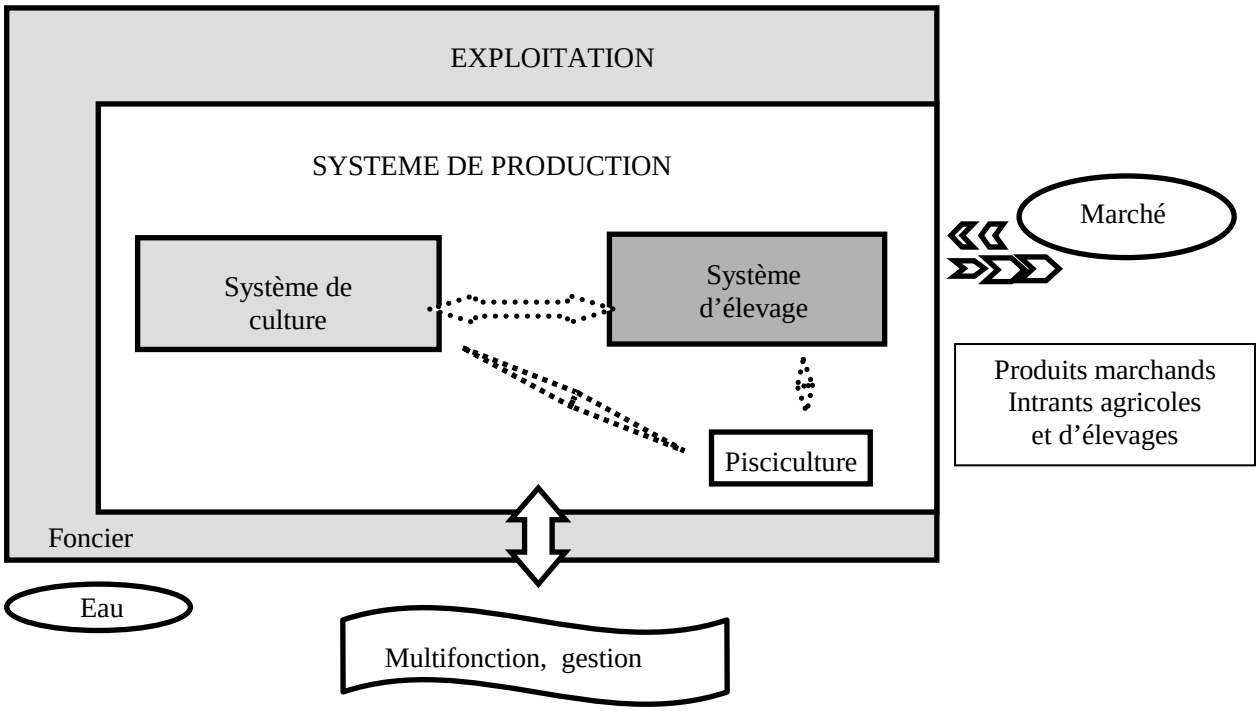


Figure 2.2 : Exploitation familiale agricole avec des relations entre systèmes et sous-systèmes

Un total de 31 exploitations, choisies suivant une pré typologie basée sur le niveau d'intensification en intrants et la superficie des étangs piscicole (Lazard *et al.,* 2009), a été enquêté de mai 2008 à février 2009. Elles sont réparties de manière égale dans les 2 régions étudiées (tableau 2.3). Cet échantillon représente environ 60% des EFA présentant une réelle activité piscicole dans les régions concernées. Le choix s'est fait après une prospection préliminaire pour s'assurer de l'accessibilité des données à travers des groupes structurés de pisciculteurs, des individus connus pour leur engagement dans la pisciculture et l'APDRA à travers le PVCOC.

Tableau 2.3 : Matrice des choix des exploitations étudiées par niveau d'intensification et taille (adapté de Lazard *et al.*, 2009)

Région	Effectif de l'échantillon,	Niveau d'intensification,	Taille de la pisciculture,	Représentativité par rapport au total d'exploitations avec une véritable activité piscicole (%)
Ouest	15	Semi-intensif	Petite (<500m²)	55
			Moyen (500m² et plus)	
Centre	16	Extensif	2000m² et plus	65
		Semi-intensif	Petite (<500m²)	
			Moyenne (500m² et plus)	

2.2.2.2. Traitement des données

Un premier travail a consisté à harmoniser les données récoltées. Une des difficultés rencontrées a été de convertir toutes les productions en unité conventionnelle de mesure pondérale (kg). En effet, les producteurs n'estiment pas (ou peu) en poids les quantités de produits végétaux récoltées ni des animaux élevés, mais expriment les quantités en unité de mesure locale (Uml), comme par exemple nombre de seaux pour certains légumes.

Aussi, ces Uml ont été converties en kg sur la base de mesures et d'estimations faites sur le terrain avec les producteurs et de quelques données bibliographiques (GIC Nem Mbock Ngalli II, 2006) (tableau 2.4).

Tableau 2.4 : Unités de mesure locale (UmL) et équivalent de mesure conventionnel (Kg) pour diverses productions végétales et animales

Spéculations	Unité de mesure locale (UmL)	équivalent en kg
Production Végétale		
Macabo	Cuvette	20
	Sac (4 cuvettes)	80
arachide à coque	Sac	50
Manioc	Panier	23
	Sac (4 paniers)	92
	camionnette (10 sacs)	920
Café*	Sac	100
Cacao*	Sac	100
Haricot*	Sac	100
Soja*	Sac	100
Maïs*	Sac	100
Igname	Cuvette	20
	sac (4cuvettes)	80
Pomme de terre*	Cuvette	18
	Sac (4 cuvettes)	72
Tomate	Cageot	8
Banane plantain	Régime	15
noix de palme	Régime	8
Choux*	sac (40 têtes de 300g)	12
Production animale		
Porc*	gros porc	80
	porc moyen	50
	Porcelet	10
Volaille	poulet local	1,5
	poulet de chair	1,8
	Canard	2
Ovin	Mouton	40
Caprin	Chèvre	30

Source : GIC Nem Mbock Ngalli II, 2006 ; * équivalents constatés sur le terrain

Sur la base des données brutes des enquêtes et après transformation des quantités produites en kg, 57 variables ont donc été retenues et codées. Elles sont présentées dans les tableaux 2.5 A à 2.5 C.

Tableau 2.5 A : Variables et modalités des variables retenues pour l'analyse

Groupes de variables	Variables	Modalités
localisation de l'exploitation	Région (*Reg*)	1 = Centre ; 2= Ouest
	Département (*Dpt*)	1=Lekié, 2= Mefou et Afamba, 3=Mefou et Akono, 4=Mfoundi, 5=Hauts plateaux, 6=Menoua
	Arrondissement (*Art*)	1=Yaoundé IV 2=YaoundéVI, 3=Obala, 4=Mfou, 5=Soa, 6=Esse, 7= Fokoué, 8= Penka-Michel, 9=Batié
Caractéristiques socioprofessionnelles de l'exploitant	Sexe	1=masculin ; 2= féminin
	Age	1= 30 - 50] ; 2 =] 50 - 60] ; 3=]60 – 75
	Education (*Educ*)	1= primaire ; 2=secondaire ; 3= supérieur ; 4= pas été à l'école
	Religion (*relig*)	1=chrétienne ; 2=musulmane ; 3= anémisme
	Situation matrimoniale (*sitmat*)	1=célibataire ; 2=marié ; 3=veuf (ve)
	Activité principale (*Acp*)	1=pisciculture ; 2=agriculture ; 3=fontionnariat ; 4= commerce ; 5= artisanat
	Activité secondaire (*AcS*)	1=pisciculture ; 2=agriculture ; 3=fontionnariat ; 4= commerce ; 5= artisanat
	Nombre d'année de pratique agricole (*Nap*)	1= [1 - 10] ; 2=] 10 - 20] ; 3=] 20 - 30] ; 4=]30 – 60
force du travail humain	type de main d'œuvre*(*Moe*)	1=familiale ; 2=salariée ; 3=les deux
Système de culture	Nombre de parcelles (*nbrparc*)	1 = 1 ; 2= 2 ; 3=3 ; 4= 4 ou 5
	Superficie totale des champs (ha) (*St*)	1= ... - 2 [; 2= [2 - 3[; 3= [3 - 7[; 4= [7 - ...
	mode d'acquisition des terres (*macq*)	1= héritage ; 2=achat ; 3=don ; 4=location
	Nombre de culture végétale (*NbrCV*)	1= [0 - 3] ; 2= [4 - 5] ; 3= [6 - …
	cultures végétales *(associée/unique) (*asCV)	1=associées ; 2=séparées
système d'élevage	nombre d'élevage animal (*NbrElvA*)	1= 0 ; 2=1 ; 3= [2- ….
	élevage Porcins (*Elvporc*)	1=oui ; 2=non
	élevage ovins (*Elvov*)	1=oui ; 2=non
	élevage volailles (*Elvvo*)	1=oui ; 2=non
	Alimentation des animaux (*AlimtA*)	1=simple ; 2=composée ; 3=autre
	usage des s/produits d'élevage (*Usa spa*)	1=fertilisation des étangs ; 2=fertilisation des champs ; 3=les deux

* : variables actives dans l'ACM

Tableau 2.5 B : Variables et modalités des variables retenues pour l'analyse (suite)

Groupes de variables	Variables	Modalités
système piscicole	Nombre d'étangs (*nbrEt*)	1 = 1 ; 2= 2 ; 3=3 ou 4 ; 4= 5 ou plus
	superficie totale des étangs (ha) (*SupEt*)	1= …- 0,06] ; 2=]0,06 – 0,25] ; 3=]0,25 - …
	superficie totale utilisée (ha) (*SupEtu*)	1= …- 0,06] ; 2=]0,06 – 0,25] ; 3=]0,25 - …
	taille moyenne des étangs (ha) (*taille*)	1=…- 0,025[; 2=[0,025 – 0,030] ; 3 =]0,030 – 0,100] ; 4=]0,100 - …
	proportion (%) de surface occupée par les étangs (*Supoc*)	1= …- 5%] ; 2 =]5% - 10%] ; 3=]10% - …
	Système piscicole (*syst*)	1= intensif ; 2=semi intensif ; 3= extensif
	Objectif de production (t/ha/an) (*Objp*)	1=<3 ; 2=3 à 6 ; 3=>6
	Usage d'aliments pour les poissons* (*Alimtp*)	1=oui ;2=non
	usage de fumure animale *(*fumA*)	1=oui ; 2=non
	usage de fumure végétale *(*fumV*)	1=résidus des cultures et/ou de cuisine ; 2=rien
	source d'alimentation en eau *(*SourceE*)	1=ruisseau ; 2nappe phréatique ;3=les deux
	mode d'apport d'eau*(*GestE*)	1=compensation des pertes ; 2 =continu
	autres usage de l'eau (*AusE*)	1=culture ;2=alimentation animale et domestique ; 3=aucun
	nombre d'espèces de poisson associé*(*nbrEsp*)	1= …- 3] ; 2 =]3 -…….
	densité totale (ind/m²)*(*dens*)	1=1 ; 2=]1 - 4[; 3=[4 - …….
	durée du cycle d'élevage (mois)*(*tempcycl*)	1=6; 2=6-12; 3=>12
	empoissonnement de base*(*Ebase*)	1=Tilapia;2=Tilapia+Clarias gariepinus; 3=Clarias gariepinus
	espèces associées *(*Eass*)	1= carpe commune ;2=carpe +Heterotis ; 3=heterotis +parachana ; 4=Heterotis ; 5=parachana
	source alevins Tilapia (*AlvT*)	1=ferme ; 2=écloserie ; 3=milieu naturel
	source alevins Clarias (*AlvCla*)	1=ferme ; 2=écloserie ; 3=milieu naturel
	source alevins Carpe (*Alvcc*)	1=ferme ; 2=écloserie ; 3=milieu naturel
	source alevins Heterotis (*AlvH*)	1=ferme ; 2=écloserie ; 3=milieu naturel
	rendement obtenu (t/ha/an)* (*rdt*)	1= ..-0,5] ; 2 =]0,5 - 1[; 3=[1 -2[; 4= [2 -....

* : variables actives dans l'ACM

Tableau 2.5 C : Variables et modalités des variables retenues pour l'analyse (fin)

Groupes de variables	Variables	Modalités
Orientation des productions de l'exploitation	production végétale totale récoltée (kg) (*prodVt*)	1= [300- 1000[; 2 =]1000 -2000[; 3=[2000 - …….
	production végétale vendue (%) (*prodVv*)	1= [25- 50[; 2 =]50 -75] ; 3=]75 - …….
	production animale autre que poisson réalisée (kg) (*prodAt*)	1= …-300] ; 2 =]300 -….....
	production animaux vendue (%) (*prodAv*)	1= ..-50] ; 2 =]50 -….....
	quantité de poisson récoltée (kg) *(prodPt*)	1= ..-50] ; 2 =]50 - 200] ; 3=]200 - ….....
	proportion vendue (%) (*pvend*)	1= ..-25] ; 2 =]25 - 50] ; 3=]50 – 75] ; 4=]75- …
	proportion consommée (%) (*pcon*)	1= ..-25] ; 2 =]25 - 50] ; 3=]50 -....
	proportion don (%) (*pdon*)	1= ..-5] ; 2 =]5 - 15[; 3=[15 -……
incidence de la pisciculture sur le revenu agricole total brut de l'exploitation	revenu piscicole potentiel (fcfa) (*revbrut*)	1= ..-50000] ; 2 =]50000 - 300000[; 3=[300000 - ….....
	contribution (%) de la production piscicole au revenu agricole global de l'exploitation (*crva*)	1= ..-5] ; 2 =]5 - 10] ; 3=]10 - 50] ; 4=]50- ….....

* : variables actives dans l'ACM

Stevenson *et al.,* (2007) montrent l'intérêt de l'usage d'analyses multivariées pour rattacher les systèmes aquacoles en étangs d'eaux saumâtres des Philippines à 5 types fonctionnels sans trop de simplification et permettre ainsi une analyse comparée plus rigoureuse des performances économiques et du niveau de risque de chacun des types décrits. Ceci constitue, par exemple, une information utile pour les décideurs pour appréhender la capacité d'adaptation des différents systèmes à une évolution du prix des intrants ou de celui de la vente des produits aquacoles sur le marché. Joffre et Bosma (2009) utilisent aussi les analyses multivariées pour réaliser une typologie des fermes de crevettes au Viet Nam et mettent notamment en évidence les facteurs techniques et écologiques qui réduisent la vulnérabilité des élevages à une maladie virale.

Dans notre étude, l'analyse statistique des caractéristiques des EFA a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 15.0. Sur la base des données brutes des enquêtes, des variables ont été définies et codées (tableaux 2.5.A à 2.5.C). La typologie a été établie en s'appuyant sur une Analyse en Composante Multiple (ACM) suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à l'aide du logiciel SPAD (version 6.0) permettant ainsi de regrouper les systèmes aquacoles étudiés en différents types fonctionnels sans trop de simplification (Joffre et Bosma, 2009).

2.3. Résultats

2.3.1. Caractéristiques générales des Exploitations Familiales Agricoles

2.3.1.1. Profils socio-professionnels des producteurs

La figure 2.3 montre que la majorité 22 des 31 exploitants (68%) sont des hommes, quelle que soit la région ; ceci est d'autant plus marqué dans l'Ouest où seulement 3 femmes (20%) sont chef d'exploitation. Dans la région Centre, la situation est très différente du fait que les femmes peuvent être propriétaires terriens et donc avoir une forte possibilité de devenir chef d'exploitation. Ainsi, la proportion de femme chef d'exploitation (44% , soit 7 femmes) est plus de deux fois supérieure à celle de la région de l'Ouest.

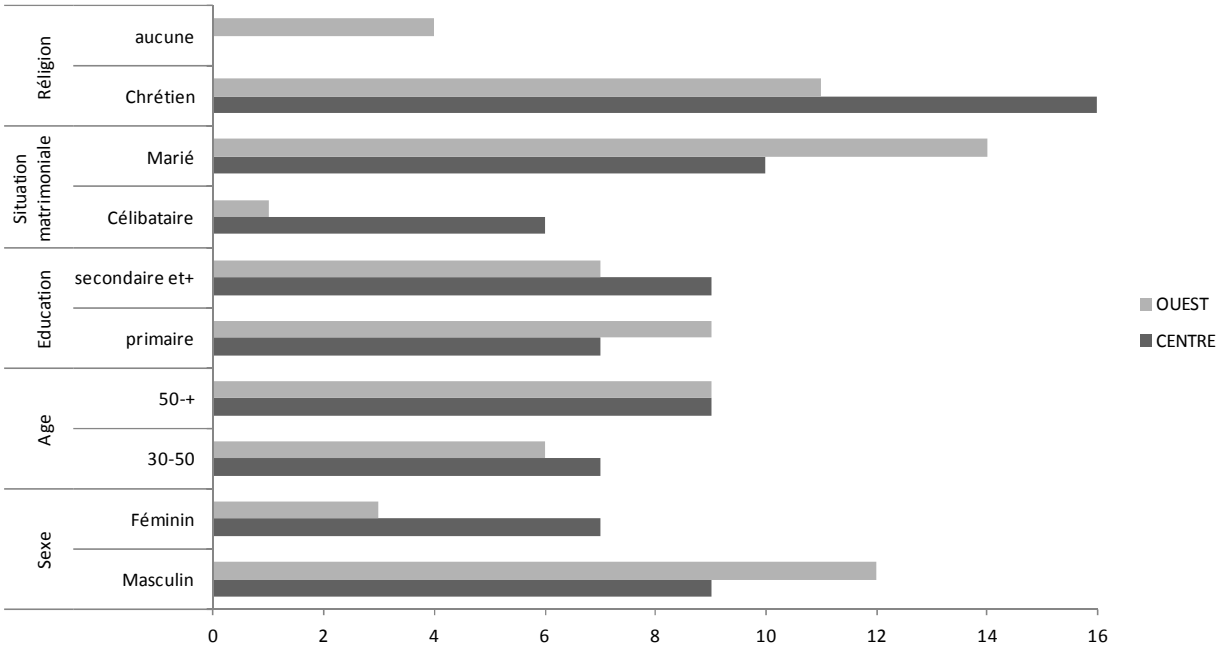


Figure 2.3 : Quelques caractéristiques socio-professionnelles des producteurs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun

La tranche d'âge comprise entre 50-70 ans est majoritaire (18 expl. ; 58% en moyenne) dans les 2 régions. Cependant, un grand nombre d'exploitants d'âge intermédiaire (30-50 ans) a été rencontré (7 ; 43% dans le Centre et 6 ; 40% dans l'Ouest).

Les chefs d'exploitation ont été pour plus de la moitié au moins à l'école primaire (16 ; 52%), les plus scolarisés (niveau secondaire et plus) étant ceux de la région Centre : 9 (56%) contre 6 (40%) dans l'Ouest. Cependant aucun n'a reçu de formation en pisciculture. Notons que ces deux régions sont celles où le niveau de scolarisation dans le pays est le plus élevé (BUCREB, 2010). Les exploitants sont majoritairement mariés et de religion chrétienne : (11 et 13 ; 77 et 87%), (13 et 16 ; 80et 100%) respectivement pour l'Ouest et le Centre.

L'agriculture constitue l'activité principale de la plupart des exploitants, 23 (74%) en moyenne, avec cependant une grande disparité entre les 2 régions étudiées (figure 2.4). Dans la région Ouest on observe une domination presque exclusive 14 (93%) de l'agriculture et un peu de petit commerce 1 (7%). Les activités principales des exploitants sont plus diversifiées dans la

région Centre avec 8 (56 %), 3 (19%), 2 (12,5%), 2 (12,5%) respectivement pour l'agriculture, le petit commerce, le fonctionnariat et l'artisanat. Cette forte diversification en région Centre découle des stratégies adaptatives des EFA, qui multiplient leurs sources de revenus au travers des activités répondant à la satisfaction des besoins des citoyens, face à la forte poussée démographique des villes.

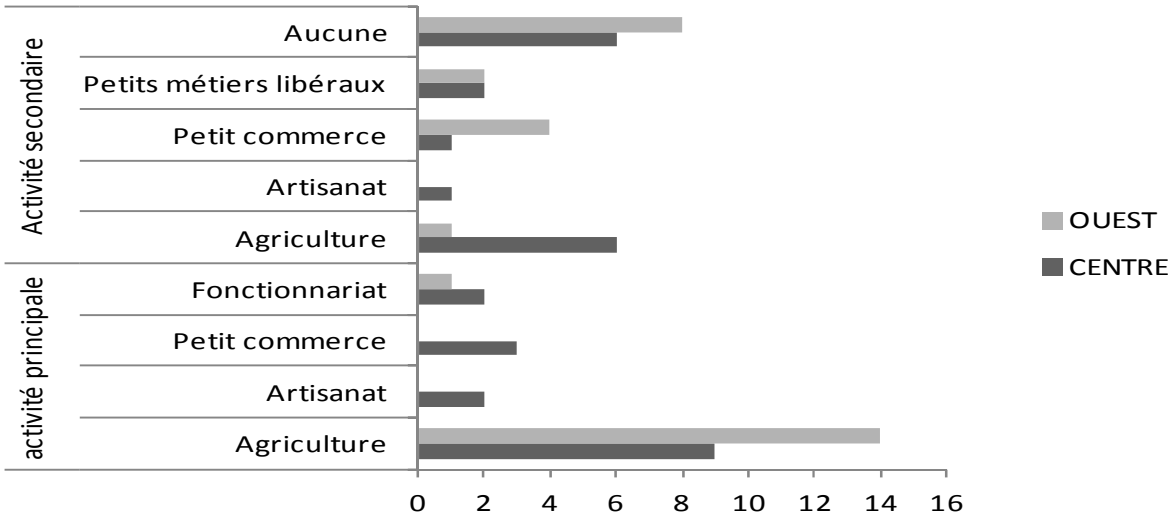


Figure 2.4 : Activités principales et secondaires des producteurs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun

2.3.1.2. Moyens de production

a) Le foncier

Les figures 2.5 et 2.6 illustrent respectivement la répartition des superficies des EFA enquêtées par région ainsi que les différents modes d'acquisition de leur foncier.

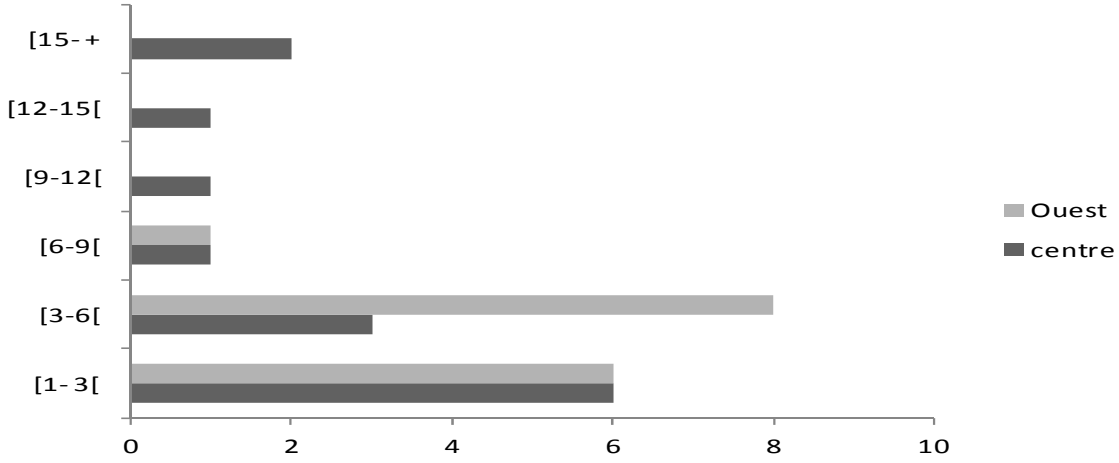


Figure 2 5 : Répartition (%) de la superficie totale des exploitations par région

De manière générale, les exploitations enquêtées sont de petite taille (inférieure à 6 ha pour 23 d'entre elles, soit 75%). Les exploitations de taille moyenne (6 à 11 ha) sont minoritaires dans les deux régions. Les exploitations de plus de 15 ha (3 soit 20%) n'ont été rencontrées que dans la région Centre. Leur mode d'acquisition (figure 2.6) varie suivant les régions : l'héritage

constitue le principal mode de cession des terres en région Centre tandis que dans la région Ouest les terres sont majoritairement et à part égale achetées ou héritées. Les locations (absentes en région Centre) et les dons (absents en région Ouest) restent des modes d'acquisition du foncier marginaux.

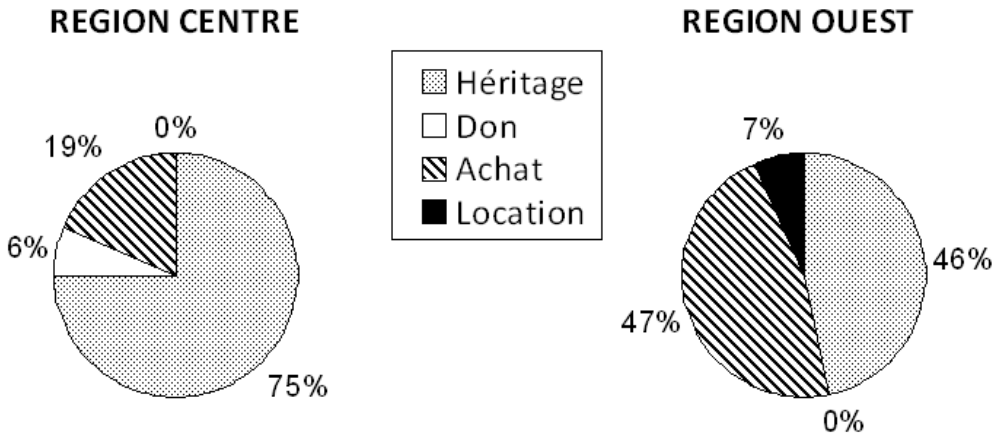


Figure 2.6 : Mode d'acquisition du foncier dans deux régions du Cameroun

b) La main d'œuvre

Les caractéristiques de la main d'œuvre sont spécifiques des exploitations et des régions (figure 2.7). Les exploitations de la région Centre se caractérisent par l'usage presque exclusif de la main d'œuvre familiale contrairement à celle de l'Ouest qui associe main d'œuvre familiale et salariée, malgré des familles très nombreuses. Cependant la main d'œuvre salariale lorsqu'elle existe, est permanente et vouée à toutes les tâches en région Centre, tandis qu'à l'Ouest, elle est temporaire et sollicitée pour des tâches spécifiques.

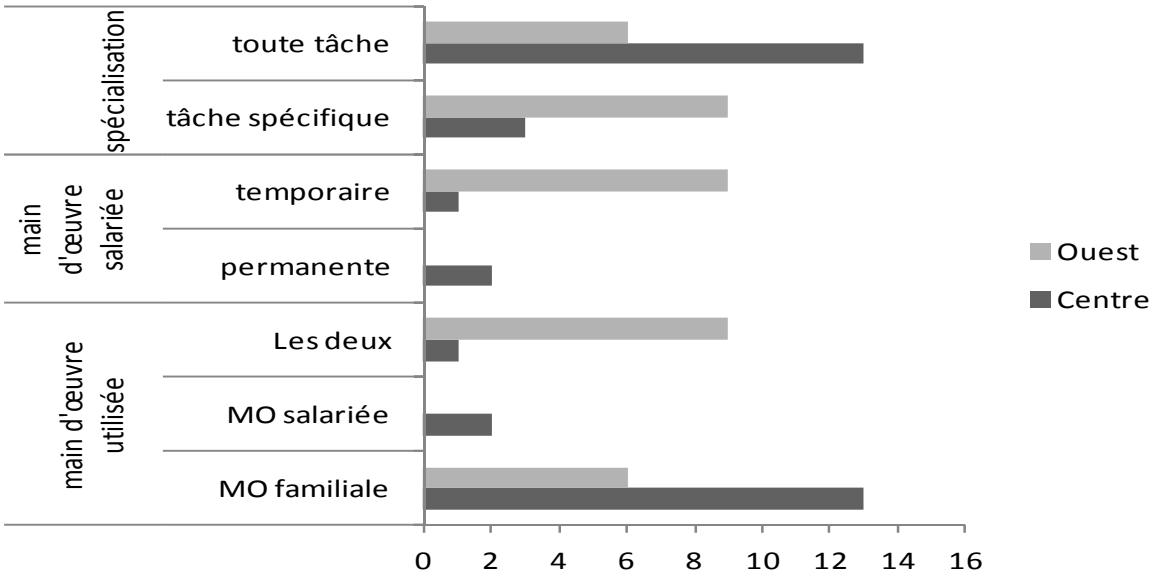


Figure 2.7 : Caractéristique de la main d'œuvre utilisée dans 31 EFA des régions Ouest et Centre du Cameroun

2.3.1.3. Les systèmes de production

La configuration actuelle de l'agriculture et de l'élevage dans les deux régions est issue d'une adaptation des EFA aux contraintes et aux opportunités face au contexte socio-économique général et particulier à chacune des régions.

a) Les productions végétales

Pour simplifier le discours, on parlera dans ce document de culture de rente pour les production commerciale destinée à l'exportation de type café, de culture vivrière traditionnelle pour celle de subsistance (autoconsommation) dont les surplus peuvent être malgré tout vendus et de cultures vivrières maraîchères pour des produits destinés principalement à la vente à l'échelle régionale (Uwizeyimana L., 2009).

Dans la région Centre à l'exception de quelques particuliers ou groupes qui mettent en place des parcelles de monocultures, le système de production végétale est en majorité artisanal avec une prédominance de la jachère et de l'agriculture itinérante sur brulis dans les campagnes. Chacune des exploitations possède une à quatre cultures vivrières (bananier, macabo, manioc, arachide, ananas….) ou maraîchères (poivron, tomate, gombo…), qui sont en majorité associées dans les différentes parcelles.

Dans la région Ouest, la diversité culturale est plus forte avec en moyenne six cultures différentes par exploitation (pomme de terre, haricot, maïs, bananier, taro, arachide, manioc, igname). Du fait que l'espace y est un facteur limitant, la pratique courante est celle de la succession des cultures dans les parcelles et de l'usage des engrais chimiques ou organiques achetés pour partie.

b) Les productions d'animaux terrestres

La pratique de l'élevage constitue une activité traditionnelle au sein des 15 EFA de la région de l'Ouest (soit 100% qui possède au moins un élevage de porc) contre 4 (25%) dans la région Centre. L'élevage de porc en semi-intensif prédomine quelle que soit la région bien que la non maîtrise parfaite des itinéraires (plan sanitaire notamment) entraîne parfois des pertes du cheptel entier pour cause de peste porcine africaine. L'alimentation du porc est constituée chez 7 producteurs (40%), de remoulage de blé et de déchets de cuisine, chez 7 autres (40%) d'un aliment complet et chez 2 autres (10%) de drêche de brasserie. Enfin chez les 2 restants (10%), l'alimentation du porc est constituée essentiellement d'herbe et de quelques produits végétaux.

Pour les autres ateliers d'élevage, les animaux sont laissés en divagation. Dans la région de l'Ouest on observe tout de même une exploitation avec un atelier avicole intensif. Celle-ci est en phase de relance après un passé catastrophique pour cause de médicaments mal conservés. Cet exemple démontre la fragilité de ces différents ateliers de production faisant appel à un peu de technologie, dans un contexte général où la chaîne de froid n'est pas toujours respectée pour cause de coupure non anticipée de l'électricité.

L'ensemble de ces caractèristiques générales est résumé dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 : Quelques traits de caractères généraux des ateliers de productions végétales et d'animaux terrestres des deux régions.

Régions	Nombre de productions végétales			Nombre de productions d'animaux terrestres			Elevage porcin
	1 – 2	3 – 4	> 4	1	2	3 et +	
Ouest	0	3	12	7	3	5	15
Centre	7	9	0	2	1	1	4

c) Les productions piscicoles

L'activité piscicole est plus ou moins développée au sein des exploitations ceci en fonction des moyens disponibles et de la technicité des exploitants, les figures 2.8 et 2.9 en résument quelques caractéristiques générales.

Au Centre, le nombre d'étangs varie de 1 pour la moitié des EFA (8 ; 50%) à 2-3 pour 3 d'entre elles (19%) et à 4 (et plus) pour le reste. La taille des étangs varie de 200 à 7200 m². Les structures étangs sont de type barrage (44%) généralement sans aucun canal de contournement, de type barrage dérivé (31%) ou sur nappe (25%). L'intégration de la production végétale et de la pisciculture est majoritaire (13 EFA sur 15 soit 82%). Trois espèces (le Tilapia, *Oreochromis niloticus* ; le silure africain, *Clarias gariepinus* ; la carpe commune, *Cyprinus carpio*) constituent la base d'empoissonnement des étangs, l'association Tilapia-silure étant la plus représentée (9 EFA ; 60%). A ces espèces correspondant à l'association principale sont souvent ajoutés selon la disponibilité soit *l'Heterotis niloticu*s (kanga), seul (8 EFA soit 50% des cas) ou avec le poisson à tête de vipère, *Parachana obscura* (5 EFA soit 35% des cas). Les alevins, même ceux du Tilapia, proviennent en majorité d'une écloserie ou ferme tierce (9 EFA soit 56% des cas). Dans les autres cas, les alevins proviennent du milieu naturel (par manque de structure annexe proche pour les nouvelles fermes) ou de techniques d'autogestion.

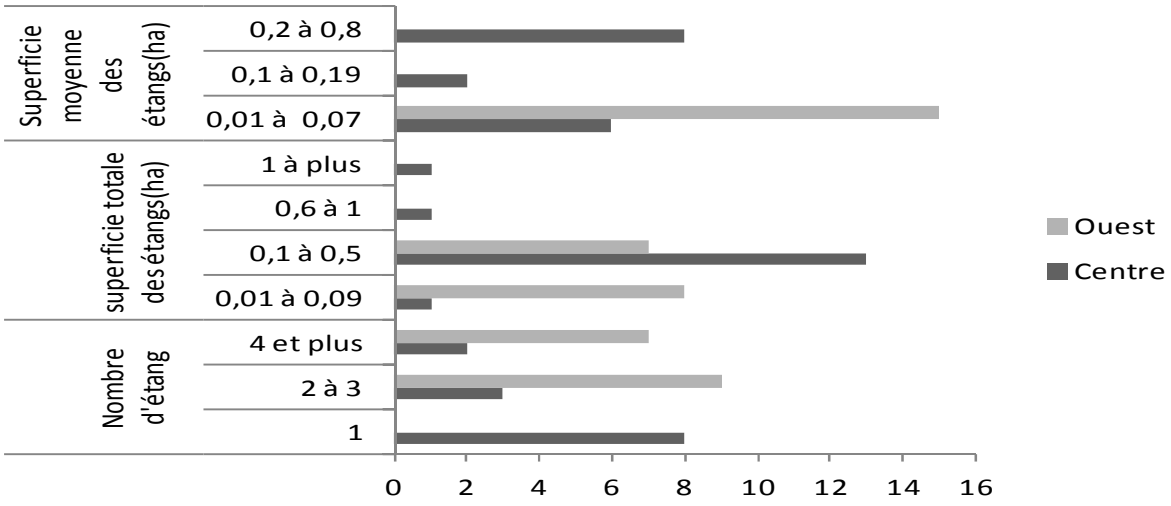


Figure 2.8: Nombre et superficie des étangs des EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun

En région Ouest, le nombre d'étangs par EFA est plus important : 2 à 3 dans 8 EFA (60% des cas) et plus de 4 dans 7 cas (40%) dont la superficie varie de 150 à 700 m²). Les structures des étangs sont majoritairement de type dérivation, le système piscicole étant intégré dans le système agricole entier (élevage et production végétale). Tout comme en région Centre, l'association Tilapia-silure africain constitue la principale association d'empoissonnement de

base des étangs (dans 14 EFA, soit 90%) à laquelle est ajoutée en fonction de la disponibilité et des moyens financiers des producteurs, de la carpe seule (7 EFA soit 40% des cas) ou avec de l'Heterotis (4 EFA soit 30% des cas). Dans l'échantillon, analysé, seule 1 EFA avait comme association de base le Tilapia avec de la Carpe. Il existe une autogestion des alevins de Tilapia au sein des exploitations. Les alevins des autres espèces proviennent d'une écloserie (totalité des carpes et moitié des *Clarias gariepinus*) ou du milieu naturel pour l'autre moitié des *C. gariepinus* (soit pour 7 EFA).

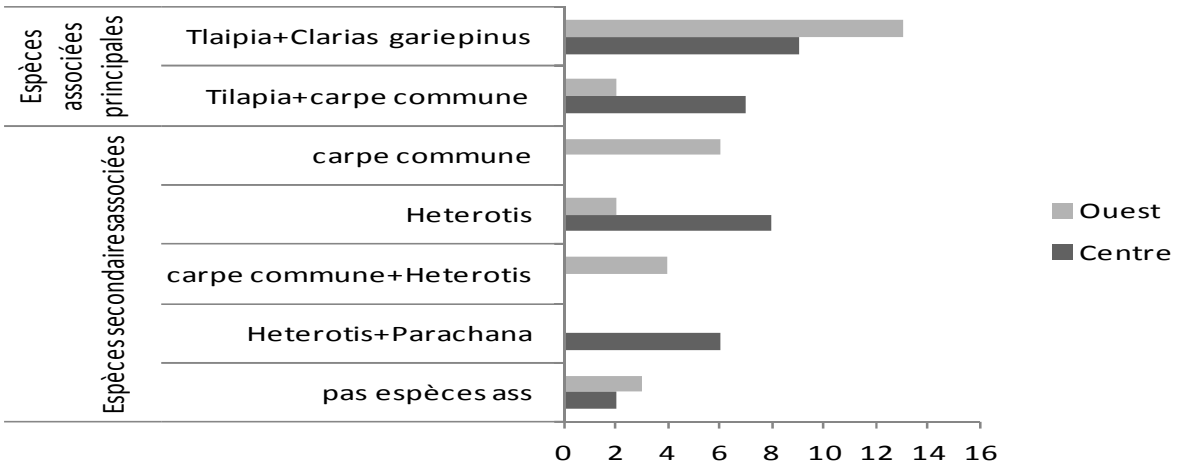


Figure 2.9 : Associations principales et secondaires d'espèces retrouvées dans les pisciculturesdes EFA des régions Centre et Ouest du Cameroun

2.3.1.4. ***La production de poissons***

Le niveau de production piscicole des fermes reste très faible. Le tableau 2.7 résume la quantité de poisson obtenue à la récolte, sa répartition et la part de contribution de l'atelier piscicole au revenu agricole brut de l'exploitation.

Dans la région Centre, la production moyenne est de 0,5 ±1,09 t/ha/an avec des écarts importants de production entre fermes (gamme : 0,04 – 4,2 t/ha/an). La destination de la production est répartie selon l'ordre d'importance suivant: vente, autoconsommation au sein de l'exploitation, don. Le don reste très important car loin du simple payement en nature de la main d'œuvre, il sert à renforcer des liens sociaux. La pisciculture contribue en moyenne pour 36.61% au revenu agricole brut de l'exploitation, mais tout comme précédemment une forte disparité subsiste (gamme : 0,2 – 100%), les mono producteurs de poissons étant rares.

Dans la région de l'Ouest, la production moyenne est de 1,4 ± 2,09t/ha/an (gamme 0,3 – 7,1 t/ha/an). Elle est significativement ($p<0,001$) plus élevée qu'en région Centre. Sa destination suit la même tendance que celle de la région Centre mais avec une part de vente un peu plus élevée (61.7%) et une part de don plus faible (8%).

Tableau 2.7 : Quantité de poisson récoltée, sa répartition et la part de la pisciculture dans le revenu agricole brut de l'exploitation

Régions		Quantité de poisson récoltée		Vendue	Auto consommée	donnée	Part de la pisciculture dans le revenu agricole brut de l'exploitation
	unité	(kg/cycle)	(kg/ha/an)	(%)	(%)	(%)	(%)
Centre	Moyenne	387	538	51	33	15	37
	Minimum	30	42	10	5	5	0,2
	maximum	3000	4166	90	80	50	100
Ouest	Moyenne	94,9	1356	62	30	8	12
	Minimum	20	286	10	5	0	0,8
	maximum	500	7143	90	80	20	53

La contribution moyenne de la pisciculture au revenu agricole brut reste encore marginale (12,2%), bien qu'en augmentation (6,12% relevé par Satia *et al.*, en 1992) en raison de la faible quantité de poisson produite du fait, à la base, de la taille réduite des étangs.

2.3.2. Typologie des systèmes de pisciculture

Pour l'analyse par ACM et CAH, seulement 29 des 31 exploitations sont des individus actifs du fait de données trop lacunaires pour deux d'entre elles localisées en région Centre. Elles ont été considérées comme des individus illustratifs.

Les variables actives retenues sont au nombre de 12 (tableau 2.8). Par soucis de réaliser une typologie basée sur des facteurs de production déterminant pour la production piscicole, certaines variables bien que caractérisant les ateliers de pisciculture, n'ont pas été utilisées comme variables actives car trop liées à la position géographique de l'EFA (par exemple la taille moyenne des étangs – voir paragraphe 2.3.1.3.) .

Les 2 premiers axes de l'ACM expliquent 53,6 % de la variabilité de l'inertie totale. L'axe 1 traduit le niveau d'intensification : densité d'empoissonnement et apports trophiques via une fertilisation avec de la fumure animale et des sous-produits végétaux (figure 2.10). L'axe 2, plus difficile à interpréter, combine l'origine de l'eau des étangs, et la forme d'intégration des ateliers allant d'une intégration horizontale (interactions fortes entre les différentes productions de l'EFA) où l'essentiel de la production piscicole est destiné à la satisfaction des besoins familiaux, à une intégration à tendance verticale (relative autonomie de l'atelier piscicole) avec une orientation des produits vers des marchés locaux et l'utilisation d'une main d'œuvre salariée.

La partition en 6 classes (figure 2.10) est caractérisée par un quotient d'inertie (inertie interclasse/inertie totale) de 0,75. L'axe 1 « intensification » oppose la classe C6 aux autres classes et l'axe 2 « type d'intégration » oppose la classe C1 aux classes C4 et C5.

- La classe C6 correspond à un atelier de pisciculture extensive où l'empoissonnement de base est le Tilapia seul. Les densités sont faibles et aucun intrant n'est utilisé, conduisant à des rendements faibles. Selon l'axe 2 « intégration », dans cette classe la pisciculture est peu intégrée dans les autres productions de l'EFA mais valorise cependant la main d'œuvre familiale.
- Parmi toutes les autres classes que l'on peut qualifier de pisciculture semi-intensive, les classes C4 et C5, qui ne se distinguent l'une de l'autre que par la superficie moyenne des étangs (plus

petite en C5), mobilisent les fumures végétales et animales mais pas d'aliment composé. Les densités d'élevage et les rendements sont moyens. Ces classes regroupent toutes les EFA de la région Ouest.

- Les classes C1 et C3, s'opposent aux classes C4 et C5, par une densité d'empoissonnement plus forte, et l'utilisation de fumures animales et d'aliments composés. Ces classes regroupent les fermes des milieux périurbains de la ville de Yaoundé. La classe C3 ne comprend qu'une ferme qui diffère de la classe C1 par l'origine de l'eau (nappe phréatique).
- La classe C2, intermédiaire à toutes les autres classes, est caractérisée par un nombre d'espèces plus important (ajout de l'Heterotis à l'association Tilapia-Clarias) et des rendements moyens. Ce profil correspond aux fermes de la périphérie de Yaoundé.

Tableau 2.8 : Variables utilisées pour la typologie

Groupes de variables	Variables ou nombre de variables
Localisation géographique de l'exploitation	3 var.
Caractéristiques socioprofessionnelles de l'exploitant	8 var.
Force du travail	Type de main d'œuvre*
Ateliers de culture	5 var.
Ateliers d'élevage d'animaux terrestres	6 var
Ateliers piscicoles	Nombre d'étangs
	superficie totale des étangs (ha)
	superficie totale utilisée
	taille moyenne des étangs (ha)
	proportion (%) de surface de l'exploitation occupée par les étangs
	Système piscicole a priori
	Objectif de production (t/ha/an)
	alimentation des poissons*
	Fumure animale*
	Fumure végétale*
	source d'alimentation en eau*
	mode d'apport d'eau*
	autres usage de l'eau
	Nombre d'espèces de poisson associées*
	Densité totale (ind/m²)*
	durée du cycle d'élevage (mois)*
	empoissonnement de base*
	espèces associées *
	5 var : sources alevins de Tilapia, Clarias, Carpe, Heterotis et Parachana
	rendement obtenu (t/ha/an)*
Productions et finalité des produits	8 var.
Incidence de la pisciculture sur le revenu brut de l'exploitation	revenu piscicole potentiel (fcfa)
	contribution (%) de la production piscicole au revenu agricole global de l'exploitation

* : variables actives – var : variable

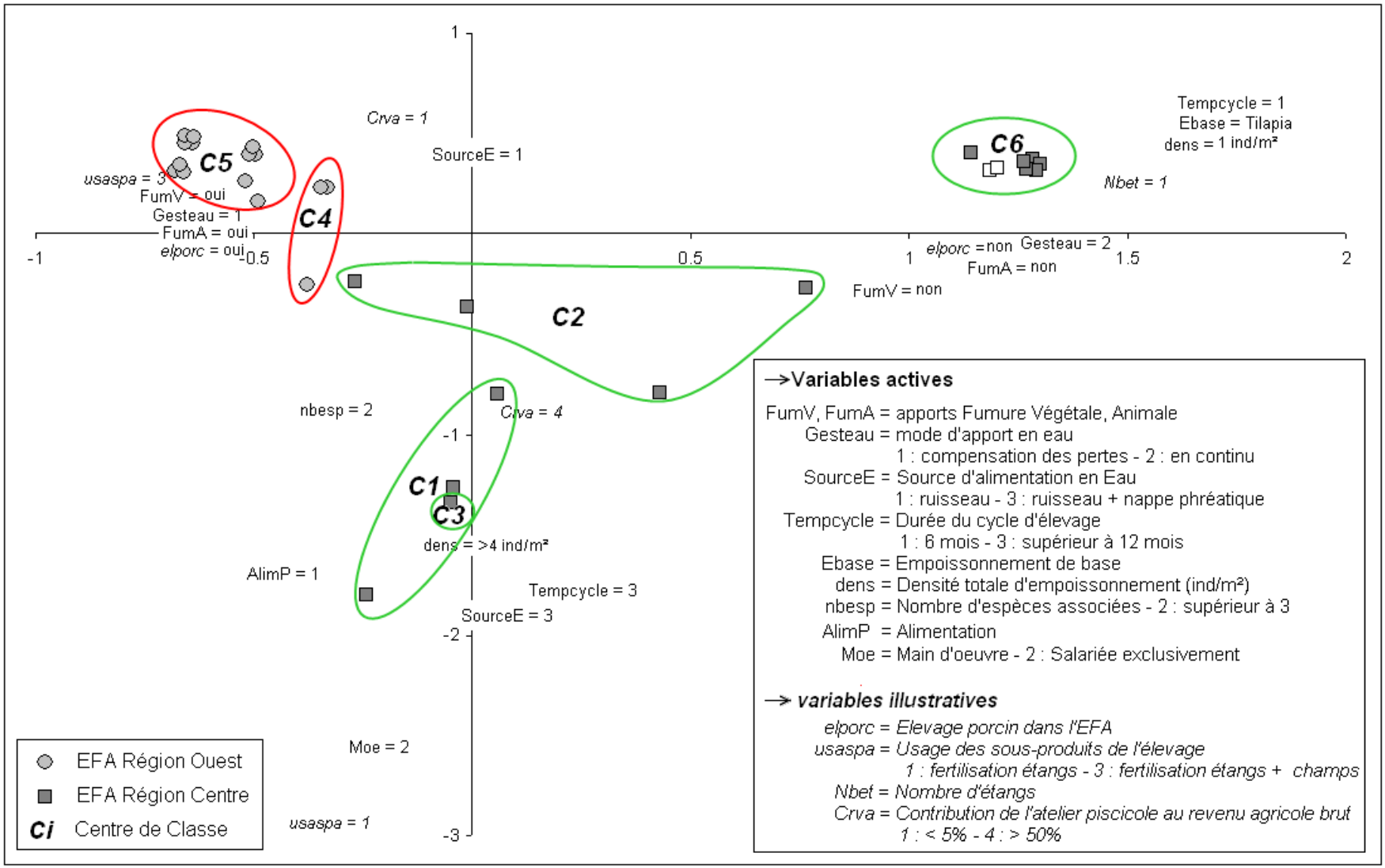


Figure 2.10 : Illustration graphique des 2 premiers axes et des classes de piscicultures de l'analyse multivariée.

Les caractéristiques socio professionnelles des pisciculteurs ne semblent pas être des facteurs expliquant le type d'atelier piscicole. Par contre la région (contextes socio-économique et environnemental) sont déterminants. Après avoir regroupé les classes C4 et C5 d'une part et C1 et C3 d'autre part, il est proposé (tableau 2.9) une typologie en 4 catégories d'exploitations piscicoles, dont l'une regroupe toutes celles de la région Ouest et les trois autres celles de la région Centre. Cette typologie est en adéquation avec celles établies pour l'Afrique subsaharienne (Lazard *et al.,* 1991 ; Bozena et Weigel, 1998 ; Brummett *et al.,* 2008), bien que le type industriel ne soit pas représenté dans notre étude. Cependant, elle montre également que les petites exploitations sont aussi productives (maximum de 3,7 t/ha/an dans l'échantillon) et tournées vers le marché (vente > 70%) que les plus grandes fermes entrepreneuriales en zones périurbaines, utilisant de l'aliment composé et dont les productions à ce jour restent faibles (maximum de 2.8 t/ha/an pour les 4 EFA de cette classe), pour cause d'une gestion biotechnique encore précaire (Brummett *et al.,* 2004b).

Tableau 2.9 : Typologie des ateliers piscicoles des régions Centre et Ouest du Cameroun basée sur 31 fermes enquêtées

Caractéristiques	Grande extensive C6	Moyenne semi-intensive C2	Petite semi-intensive commerciale C4 et C5	Grande semi-intensive commerciale C1 et C3
Effectif	8	4	15	4
Superficie (ha)	> 7	3 à 7+	≤ 3	> 7
Elevage	pas d'élevage	Présent	présent	
Main d'œuvre	familiale	familiale + salariée	familiale+salariée	salariée
Taille moyenne des étangs (m^2)	> 1000	500 – 1000	150 - 500	1000 +
Espèces de base	Tilapia	Tilapia et Clarias	Tilapia et Clarias	Tilapia et Clarias
Densité d'empoissonnement (ind/m^2)	faible (1)	moyenne (≥ 4)	moyenne (≤ 4)	forte (≥4)
Nombre d'étang	1	3+	2+	2+
Fumure et alimentation des poissons	rien	fumure végétale+animale	fumure végétale+animale + aliment simple	fumure animale + aliment composé
Apport d'eau	Continu	Compensation perte	Compensation perte	Compensation perte
Rendement (t/ha/an) mini – maxi	0,1 - 1	0,1 - 0,6	0,2 - 3,7	0,6 - 2,8
Vente des productions	<50%	50-70%	> 70%	> 70%
Zone	Rurale	Rurale et péri-urbaine	Rurale	Péri–urbaine
Région	Centre	Centre	Ouest	Centre
Rattachement aux typologies antérieures				
Lazard *et al.,* 1991	De subsistance	De subsistance	Artisanale de «petite» production marchande	Filière
Bozena et Weigel, 1998 Brummett *et al.,* 2008	Extensive	De subsistance «artisanale» de petite taille	Petites et moyennes entrepreneuriales (PME)	Petites et moyennes entrepreneuriales (PME)

2.4 Discussion

2.4.1. Une structuration du milieu local différenciée

La dominance des hommes comme chef d'exploitation s'expliquerait par le fait que les femmes, notamment dans la région de l'Ouest, ne sont pas propriétaires terriens comme le relevaient Tomedi-Eyango *et al.* (2009) dans la Ménoua ainsi que Poumogne *et al,* (2010) dans le Noun, deux départements de la région Ouest. Cette configuration découle également des origines des peuples, des traditions ainsi que du statut de la femme différent dans les deux régions. Chez les Bantous de la région Centre, la femme hérite des biens de la famille ainsi que des terres, et même des trônes des chefferies traditionnelles au même titre que son frère, ce qui est exclusivement réservé aux hommes chez les semi-bantous des Hautes terres de l'Ouest (Janin, 2000).

Concernant l'âge des chefs d'exploitation, la classe d'âge de 50-70 ans semble en légère hausse ans la région de l'Ouest (60% des enquêtés en 2008-2009) comparativement aux 53% relevés en 1984 (Nji et Daouda, 1990) et aux 49,2% relevés en 2004 (Tomedi-Eyango *et al.*, 2009). Toujours dans la région Ouest, on constate une augmentation de la classe d'âge intermédiaire alors que l'on observe une disparition de la classe des moins de 30 ans. Il en est de même dans la région du Centre où la classe des plus de 50 ans représentait 43,2% de l'effectif (pour 62 observations) en 1991 (Hirigoyen *et al.*, 1997) alors qu'elle atteint 56 % en 2008-2009. Ce vieillissement des chefs d'exploitation est de façon générale observé dans toutes les exploitations agricoles avec ou sans activité piscicole. Ce phénomène serait lié d'une part au désintérêt de la plupart des jeunes pour l'activité agricole au profit des petits métiers et commerces dans les villes. Ce phénomène est illustré par la forte croissance démographique des villes dans les pays en voie de développement entre 1980 et 2003 : + 4,9% contre + 0,8% de moyenne mondiale (FAO, 2009) et particulièrement au Cameroun (+ 4,8%) entre 1987 et 2005 (BUCREP, 2010). D'autre part le manque de moyen financier et la suppression brutale des subventions (Courade, 1996) qui pourraient stimuler et encourager les plus jeunes à retourner vers l'agriculture, en sont une autre cause non négligeable. En outre dans la région de l'Ouest, ce phénomène relève d'un fait culturel lié à l'héritage unique sélectif (entre les fils) et non divisible du patrimoine familial qui pousse tous les jeunes des familles à l'émigration économique avec l'objectif de faire fortune ailleurs tout en restant attaché au noyau familial (Fotsing, 1999).

Le niveau relativement élevé de scolarisation observé dans la région Centre comparé à celui de la région de l'Ouest serait lié à la reconversion en agriculteur d'anciens travailleurs des villes ayant perdu leurs emplois pour cause de crise économique des années 1990. Ce phénomène s'explique aussi par la recherche d'un complément de salaire pour des fonctionnaires et employés d'entreprises, au travers du développement de l'agriculture en tant qu'activité secondaire.

Les faibles superficies ainsi que d'autres caractéristiques des EFA de la Région de l'Ouest sont liées à la forte densité de population, mais aussi au statut socio-culturel du foncier rendant plus difficile l'acquisition d'un lopin de terre. Dans la région du Centre par contre la superficie des exploitations dépend de la force de travail disponible ; le patrimoine foncier revenant de plein droit à celui qui le met en valeur. La conception foncière n'étant pas la même que dans la région Ouest, il est plus facile d'acquérir les terres notamment dans la périphérie des grandes villes, à condition d'en avoir les moyens financiers (Wautelet, 1995).

Quelle que soit la région, malgré une configuration du paysage agraire des EFA différente, l'accent est mis sur le développement des cultures vivrières et maraîchères dans les bas-fonds et zones humides. D'après Fongang (2008) l'intérêt porté aux cultures vivrières et au maraîchage dans la région de l'Ouest serait lié à leur cycle de production (court), leur consommation directe au sein de l'exploitation et à leur revenu cumulé plus important que celui du café (culture de rente). Ceci n'a pu être possible que grâce à la maîtrise des itinéraires techniques de ces cultures qui pour la plupart sont nouvelles dans les exploitations. Cette orientation proviendrait du fort intérêt commercial des cultures vivrières au détriment des produits de rentes des années 80 (Wautelet, 1995) et du rôle d'amortissement des effets d'ajustement structurel que jouent les productions vivrières (Courade, 1996) en permettant la subsistance des ménages avec des dépenses limitées. De même, la forte présence des élevages de porc dans la région de l'Ouest serait liée à son adoption après introduction de nouvelles races (Large white, Land race) de même qu'à celle du remoulage comme aliment des porcs dans les années 1970. L'adhésion massive des producteurs à ce type d'élevage a été conditionnée par les meilleurs résultats zootechniques obtenus (Fongang, 2008).

2.4.2. Des stratégies piscicoles sous contraintes

Dans les régions étudiées, la pisciculture repose sur deux modèles de polyculture, l'un Extensif à base d'une population monosexe de Tilapia mâle sans (ou à faible) niveau d'intrants (Hanquiez et Oswald, 2009) et l'autre Semi-intensif à base d'une association Tilapia-silure à niveau d'intrants moyen à fort (Brummett *et al.,* 2004b) dont les rendements sont respectivement inférieurs à 1 t/ha/an et compris entre 1 à quelques t/ha/an. Le principal poisson d'élevage reste le Tilapia quelle que soit la région considérée. Bien que son élevage soit maîtrisé et très développé dans d'autres parties du monde (Lazard, 2009), les principes et techniques de son élevage demeurent encore méconnus d'une grande partie des producteurs (Tomedi-Eyango *et al.,* 2009 ; Brummett et William, 2000). L'association Tilapia-silure promue par les services de vulgarisation agricole camerounais ressort comme étant le modèle de pisciculture phare dont les rendements restent, sauf exception (4 fermes sur les 23 qui le pratiquent), inférieurs à 2t/ha/an dans les EFA analysées. Cela est notamment du à une gestion approximative, pour une grande part liée à la méconnaissance des exigences de cette association d'espèces (Bogne Sadeu *et al.,* 2008). Des rendements meilleurs peuvent être atteints à travers une gestion adéquate de l'eau et de la fertilisation avec ou sans apports d'un aliment simple ou composé (Edwards, 1993 ; Tacon, 1997, Dabbadie *et al.,* 2002).

De ce fait, la contribution moyenne de la pisciculture au revenu agricole brut reste encore marginale (12,2% dans notre étude) du fait des petites quantités de poisson récoltées, bien qu'elle soit le double des 6,12% relevés par Satia et ses collaborateurs dans les régions Ouest et Nord-Ouest du Cameroun en 1992. Cependant, l'augmentation de la contribution de la pisciculture au revenu agricole brut serait plus liée à l'orientation de plus en plus poussée des récoltes de poisson vers la commercialisation qu'à une augmentation des rendements: vente d'en moyenne 48% de la production piscicole dans notre étude contre moins de 30% relevée par Satia *et al.,* (1992). D'après les mêmes auteurs, la participation relativement mineure de la pisciculture au revenu serait liée aux petites superficies et au manque de crédit pouvant stimuler la modification des pratiques et par conséquent améliorer les rendements de production.

Le modèle Extensif (classe C6 de la typologie) a été mis en place récemment dans la région Centre où la densité humaine est faible et les exploitations agricoles souvent grandes. La stratégie de la grande exploitation extensive du Centre est de valoriser les facteurs de production disponibles, principalement le foncier et le travail. D'après Oswald (2008), ceci permettrait d'assurer une rentabilité et à terme une viabilité économique du système piscicole. Ce modèle à faible densité d'empoissonnement permet d'exploiter la productivité naturelle de l'étang dont la grande superficie garantit une forte croissance (gros poissons à la vidange en adéquation avec les attentes de l'exploitant) et un rendement faiblement inférieur voire équivalent qu'à plus forte densité d'élevage (Glasser et Oswald, 2001).

A l'opposé, dans la région Ouest à forte densité humaine et où le foncier utile est souvent restreint, la stratégie vise à intensifier les petits espaces disponibles afin de satisfaire les besoins alimentaires de la famille et générer des revenus. L'intensification du système suppose alors de disposer d'intrants en abondance pour produire dans de petits étangs des quantités suffisantes de gros poissons (Bogne Sadeu *et al.,* 2008) et l'accès à des marchés rémunérateurs. Ceci explique que la petite exploitation Semi-intensive commerciale de l'Ouest (classes C4 et C5 de la typologie) vende plus de 70% de sa production piscicole dans un milieu rural à forte densité humaine, sans que pour autant la viabilité économique ne soit assurée (Lazard *et al.,* 2009). En région Centre, ce modèle a pu être mis en place avec un certain succès dans le cadre de grandes exploitations Semi-intensives commerciales (classes C1 et C3 de la typologie): 2 des 4 EFA de cette catégorie ont des rendements supérieurs à 2 t/ha/an. Cela n'est possible qu'à travers des petits et moyens entrepreneurs, capables de mobiliser un capital suffisant pour l'achat d'intrants, de produire des quantités de poissons suffisantes et d'accéder aux marchés les plus rémunérateurs de grandes villes comme Yaoundé. La forte production relative observée dans la région Centre est liée à la présence de quelques nouveaux investisseurs qui sont pour la plupart des anciens fonctionnaires et employés à la retraite, qui trouvent dans la pisciculture un moyen de diversifier leurs activités. Cette forme d'intégration basée sur la diversification des sources de revenu avait été relevée par Mikolasek (2003) dans l'Etat de San Paulo du Brésil et aurait un rôle très important dans le développement du secteur. Par contre dans la région Centre, les exploitations Semi-intensives moyennes (catégorie C2), qu'elles soient rurales ou périurbaines, sont en quête de rentabilité comme le montre les faibles rendements piscicoles (< 0,6 t/ha/an) obtenus sur des surfaces qui restent modestes (500 à 1000 m²).

Les faibles résultats piscicoles obtenus expliquent pour partie l'implantation encore marginale de la pisciculture dans les EFA (Tomedi-Eyango *et al.,* 2009 ; Pouomogne *et al.,* 2010). Ils peuvent être liés à divers facteurs relevant à la fois des institutions en charge du développement de la pisciculture et des exploitations, notamment par l'absence d'un réseau sociotechnique et organisationnel de la pisciculture, principal moteur de développement. Un tel réseau faciliterait la diffusion des innovations technologiques et assurerait également une certaine stabilité des flux de matières permettant ainsi aux producteurs de faire face aux différentes crises économiques (da Silva *et al.*, 2009), mais aussi d'augmenter la productivité des différents systèmes du fait de la disponibilité et à moindre coût de certains intrants : fumure, aliment (Mikolasek, 2003).

2.4.3. Des interactions entre ateliers de production

La typologie met en évidence que les ateliers piscicoles Extensifs ou à faible niveau d'intrants sont peu ou pas liés aux ressources trophiques des autres sous-systèmes de l'EFA. Ceci est d'autant plus vrai que les EFA rurales du Centre ne possèdent pas en général d'élevages terrestres. Au contraire à l'Ouest, la forte intégration des systèmes élevage-agriculture (chaque producteur disposant d'au moins un petit élevage de porc) facilite la mise en place de systèmes Semi-intensifs (Lazard *et al.*, 1991). Néanmoins, bien souvent, une nécessaire intensification oblige le producteur à acheter des issus de céréales, voire des fertilisants pour augmenter le niveau des apports trophiques. Sur la base du niveau d'inter relation entre les différents ateliers composites des EFA étudiées, qui caractérise leur fonctionnement, quatre types ont pu être distingués (figure 2.11) : 3 types à intégration horizontale croissante et 1 type à intégration verticale.

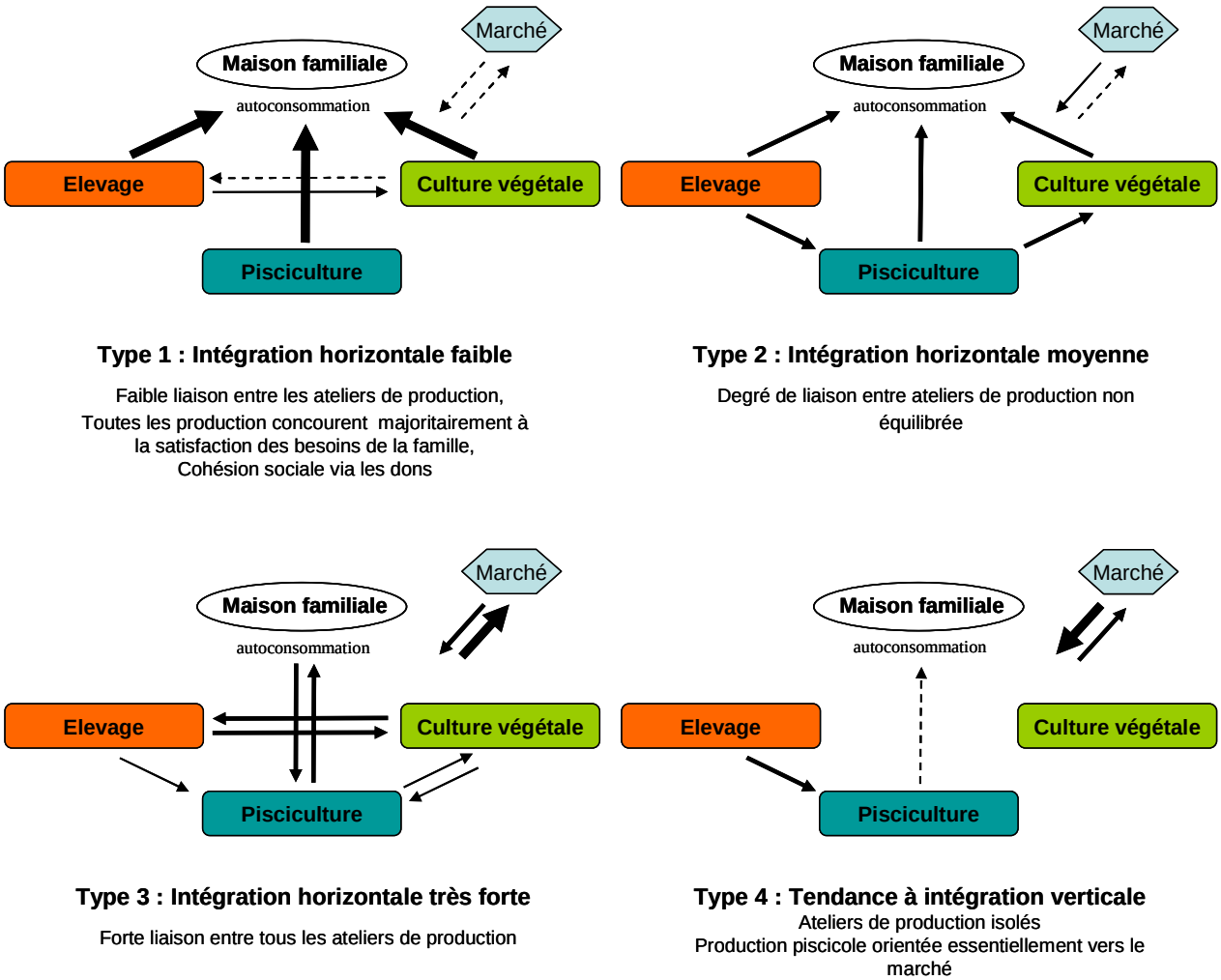


Figure 2.11 : Types d'exploitations familiales agricoles des régions Centre et Ouest du Cameroun en fonction du degré d'interrelations entre les ateliers de production et l'environnement socio-économique

Bien que chaque type d'exploitation soit ancré dans un cercle familial, le degré de relation des sous-systèmes est fonction de sa dimension et de l'importance de la famille, qui imposent des modes de fonctionnement permettant de répondre aux sollicitations matérielles et économiques. Ainsi plus les exploitations sont petites, plus les différentes composantes sont inter reliées et le niveau de complexité est important. Cette intégration horizontale est avantageuse, car elle permet de recycler les matières; les déchets d'un système constituant les intrants de l'autre. Les options d'amélioration du fonctionnement en vue de la durabilité de l'exploitation globale ne peuvent alors être apportées à un seul atelier. A l'opposé, pour les grandes exploitations à ateliers isolés, il est possible d'intervenir au niveau de chacun d'entre eux pour améliorer globalement l'EFA. Cette dernière privilégie des relations verticales dans chacune des filières agricoles. Cette tendance à l'intégration verticale de la pisciculture (Brummett *et al.*, 2008) conduit l'exploitant à établir des liens étroits avec l'amont et l'aval de la filière, notamment par l'achat d'aliments poissons (ou ingrédient pour fabriquer son propre aliment) auprès de fournisseurs.

L'intégration des différents ateliers (élevages terrestres, cultures végétales, pisciculture) composantes de l'exploitation, permettraient sous réserve d'améliorations biotechniques (en plus de la transformation de déchets en biomasse de poisson), de réduire significativement les rejets des exploitations et par conséquent les coûts énergétiques qui seraient nécessaires à leur traitement. Ce type de système va dans le sens d'une meilleure durabilité de la pisciculture (Milstein, 2005). Pour aller dans le même sens, une typologie a été élaborée dans la province de Thai Binh au Nord Vietnam dans l'optique d'évaluer la capacité d'absorption d'effluents porcins par les étangs piscicoles (Mikolasek *et al.*, 2009b). L'étude conclue que les autorités locales devraient promouvoir une intensification écologique des modèles intégrés porcs-poissons existants.

2.5. Conclusion

Au terme de cette étude, nous avons relevé que les caractéristiques locales (contextes humain et environnemental) étaient déterminantes pour expliquer la structure et le fonctionnement des exploitations familiales agricoles et de l'atelier piscicole qu'elles conduisent. Les chefs d'exploitation sont vieillissants (classe 50-70 ans dominante), l'activité agricole ayant perdu sa valeur économique au profit des petits métiers dans les villes.

L'association des végétaux cultivés est de rigueur et l'élevage des animaux terrestres quand il existe, est encore artisanal, dans la majorité des cas. Les rendements de la production piscicole restent bas en raison de la non maîtrise des techniques ainsi que la non prise en compte de certains facteurs déterminants pour les systèmes étangs, tels que la gestion de l'eau. Bien qu'elle reste faible, l'augmentation de la contribution de la pisciculture au revenu agricole brut depuis 10 ans serait liée à l'orientation de plus en plus poussée des récoltes de poisson vers la commercialisation et non à une augmentation des rendements. Dans ce travail, nous n'avons pas étudié la rentabilité économique de l'atelier piscicole des EFA enquêtées du fait de la difficulté d'avoir des données chiffrées fiables. Ce point sera abordé dans le chapitre 4.

Les quatre grandes catégories d'exploitation piscicoles définies, correspondent à différents modes de fonctionnement et à des degrés de complexité et d'intensification des EFA. Trois stratégies de développement de la production piscicole apparaissent : la première basée sur la valorisation du foncier (Type C6), la deuxième sur celle des intrants trophiques (Types C4 et C5) et la troisième sur la combinaison de ces deux facteurs de production (Types C1 et C3). A ces 3 stratégies, correspond une combinaison optimale différente des facteurs de production tels que l'assemblage des espèces et leur densité d'élevage.

Les plus petites exploitations sont mieux intégrées horizontalement et plus complexes, et facilitent le recyclage des matières améliorant ainsi le fonctionnement global de l'exploitation. Ce type de système montre la contribution potentielle de la pisciculture au développement durable des EFA sous réserve d'une meilleure combinaison des facteurs de production qui n'exclut pas une augmentation des surfaces en étang et l'achat d'intrants extérieurs. Plus largement, l'augmentation des rendements, de la rentabilité économique se pose pour tous les systèmes à travers une combinaison des facteurs de production propre à chacun d'entre eux et qui reste à définir.

Une caractérisation biotechnique et environnementale approfondie de chaque type de pisciculture à l'aide d'outil d'analyse environnementale notamment d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) permettrait d'en dégager de manière précise ces différents facteurs de production. Leurs améliorations au travers des options d'optimisation permettront de rendre le système plus productif et durable.

Chapitre 3 : Analyse environnementale des systèmes de pisciculture intégrés dans les Exploitations Familiales Agricoles

Au Cameroun, la pisciculture est portée par les Exploitations Familiales Agricoles (EFA) dans lesquelles, en plus d'être un élément de sécurisation alimentaire et de diversification des revenus, elle joue un rôle écologique au travers le recyclage des rejets d'élevage et des sous-produits. En outre, quel que soit son niveau de production, elle est aussi responsable d'impacts sur l'environnement au même titre que les autres activités d'élevage terrestre (Steinfeld *et al.*, 2006) et par conséquent, elle peut entrainer la perte de services écosystémiques (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). De cette constatation nait la nécessité d'intégrer de nouvelles approches pouvant servir d'aide à la décision pour le développement durable de cette activité.

En Afrique subsaharienne, la composante environnementale constitue une préoccupation récente du cadre règlementaire. Sous la pression internationale, les gouvernements ont été amenés à réglementer cette activité (Bozéna et Weigel, 1998). Cette démarche, bien qu'étant encore théorique, a été renforcée à partir de 2005 en Afrique, et au Cameroun en particulier, au travers de documents stratégiques de développement d'une aquaculture durable (NEPAD, 2005; MINEPIA, 2009).

Les piscicultures sont responsables de rejets ayant des effets sur l'environnement à différentes échelles spatiales : locale, régionale et globale. Le niveau des rejets, et par conséquent celui des impacts environnementaux associés, peut être considéré comme une traduction de l'efficience du système (Gross *et al.*, 2000 ; Nhan *et al.*, 2006). La pisciculture en étang, notamment celle intégrée dans les EFA, pouvant recycler et valoriser des sous-produits (Pouomogne, 1994 ; Dabbadie, 1996), aurait moins d'impacts polluants sur l'environnement (Jamu et Piedrahita, 2002a et 2002b ; Little et Edwards, 2003) et améliorerait de ce fait la durabilité à l'échelle locale. Les impacts environnementaux désignent ici, l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, des organismes ou des produits, depuis leur conception, jusqu'à leur "*fin de vie*". Du point de vue écologique, c'est l'ensemble des déviations de dynamiques naturelles d'évolution aboutissant à des modifications de l'état théorique d'un écosystème (Wathern, 1988 ; Landreau, 2004).

Une de nos hypothèses de travail est que le niveau des impacts environnementaux est déterminé par les sources de nutriments utilisées, les processus de biotransformation dans l'écosystème étang, ainsi que les modalités de gestion de l'eau de l'étang. Une seconde hypothèse est qu'une évaluation environnementale de ces types de production piscicole, aiderait à la compréhension de leur fonctionnement propre mais aussi du devenir des nutriments dans les agro-écosystèmes.

Pour tester ces hypothèses nous nous sommes basés sur les analyses du cycle de vie associées à une étude particulière des rejets des étangs.

3.1. L'analyse environnementale et l'analyse de Cycle de Vie (ACV)

3.1.1. Les analyses environnementales en aquaculture

En aquaculture, différentes méthodes sont à même de mettre en évidence le rôle des facteurs de production majeurs ainsi que leurs interactions, et ainsi d'aider à la quantification des effets environnementaux. Citons par exemple : la budgétisation de l'énergie et des nutriments (Ruddle et Zhong, 1989 *in* Prein, 2007), les bilans de masse (Ruddle et Chistensen, 1993 in Prein, 2007), la simulation dynamique (Zweig, 1992 *in* Prein, 2007) et la quantification des flux des bio-ressources (Noble *et al.*, 1991 *in* Prein 2007). L'usage de ces méthodes a été notamment développé dans les systèmes aquacoles intégrés à l'agriculture (Prein, 2007). Cependant toutes ces méthodes se limitent à de simples quantifications des impacts sans en déterminer les éléments critiques pouvant être améliorés. L'analyse environnementale apparait donc comme une voie intéressante à explorer pour améliorer l'efficience des systèmes agricoles et aquacoles.

L'analyse environnementale est une discipline nouvelle qui s'est beaucoup développée ces dernières années et constitue une des principales étapes de la mise en place d'un système de management environnemental (Faure-Rochet, 2009). En tant qu'outil structuré permettant d'évaluer les impacts générés par un produit, elle sert de base à la détermination d'objectifs d'amélioration d'un programme d'action ou d'un système. Elle constitue l'état des lieux environnemental initial sur lequel débute toute démarche d'amélioration. Ainsi, la base de l'analyse environnementale s'est construite sur des indicateurs environnementaux présentant une relation linéaire entre les activités humaines et l'état de l'environnement (OECD, 1993). D'après Prats (2008), l'analyse environnementale est un enregistrement qui permet de faire un inventaire le plus exhaustif possible des impacts environnementaux réels et potentiels liés à une production. Sa réalisation nécessite la mise en œuvre de méthodes pertinentes et bien adaptées au secteur d'activité. Dans le secteur agricole, des recommandations ont été formulées sur la base de synthèses et comparaisons des différentes méthodes d'analyses environnementales (van der Werf et Petit, 2002 ; Payraudeau et van der Werf, 2005) à savoir :

- La prise en compte de l'ensemble des impacts environnementaux pertinents à différentes échelles (locale, régionale et globale) pour le système ainsi que l'ensemble des étapes de production,
- L'usage des indicateurs basés sur les effets ainsi que sur les pratiques,
- La prise en compte des différentes fonctions de l'agriculture,
- La validation des concepts et indicateurs employés en fonction de l'objectif de l'étude et des utilisateurs finaux.

Ces recommandations ont permis de relever la pertinence de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie pour ce secteur d'activité bien qu'elle comporte des incertitudes (Basset-Mens, 2005) ainsi qu'un manque de valeurs de référence (Acosta-Alba, 2010).

Quelques références d'application de cette méthode en aquaculture existent, principalement dans les systèmes intensifs (Papatryphon *et al.*, 2004a et 2004b ; Roque d'Orbcastel *et al.*, 2009 ; Aubin et van der Werf, 2009 ; Aubin *et al.*, 2009 ; Pelletier et Tyedmers, 2010), mais pratiquement pas dans les systèmes semi-intensifs en milieu tropical (Casaca, 2008 ; Efole Ewoukem, 2008 et 2010).

Ainsi deux questions peuvent se poser :

1) L'application de l'ACV dans les systèmes de pisciculture en étang semi-intensifs et extensifs à faible niveau d'intrants a-t-elle un sens et est-elle réalisable ?

2) Peut-elle servir d'outil d'aide à la décision pour l'amélioration de ces systèmes ?

3.1.2. L'Analyse du cycle de vie

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) développée dans les années 1970 et standardisée suivant la norme ISO 14044 (ISO, 2006), est une méthode d'analyse environnementale globale qui évalue l'ensemble des impacts environnementaux potentiels attachés à un produit, depuis sa source (extraction des matières premières nécessaires à l'élaboration du produit) ou « berceau », jusqu'à son recyclage ou à sa mise en déchet final (mise en décharge, incinération, …) ou « tombeau » (Guinée *et al.*, 2002). L'ACV permet de comparer différents processus remplissant une même fonction (par exemple : la voiture et le bus remplissent la même fonction de transport) ainsi que les différentes étapes du cycle de vie d'un même produit. Elle constitue la seule méthode d'analyse environnementale qui permet de lier l'impact environnemental à la fonction d'un produit (Jolliet *et al.*, 2005 et 2010). Loin d'une simple description, elle fait émerger des voies d'amélioration des systèmes de production (Jolliet *et al.*, 2005 et 2010 ; ILCD,2010).

L'ACV est à la fois :

- une procédure, c'est-à-dire une suite d'étapes standardisées,
- un modèle de transformation mathématique permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels.

Selon la norme ISO 14044 qui regroupe les séries des normes ISO 14040-43 et qui spécifie les principes et cadres applicables à la réalisation d'une ACV (ISO, 2006), elle comprend quatre étapes schématisées à la figure 3.1 :

1) Définition du système et des objectifs de l'étude
2) Analyse de l'inventaire
3) Evaluation de l'impact
4) Interprétation

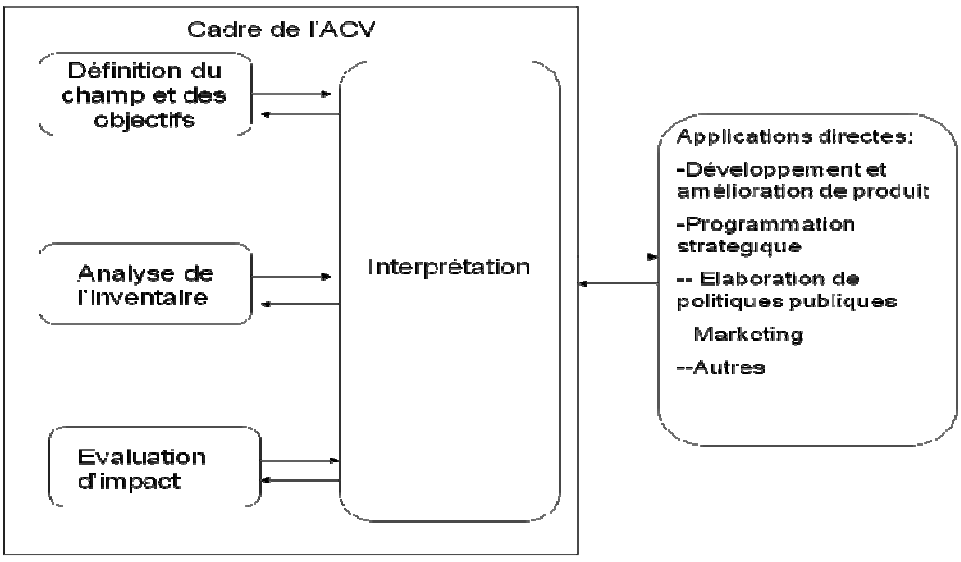


Figure 3.1 : Cadre méthodologique d'une ACV: les quatre étapes de l'ACV d'après ISO 14040:2006 (ILCD, 2010)

3.1.2.1. Etape 1 : La définition du système et des objectifs de l'étude

La première phase de cette étape consiste à définir l'objectif de l'étude et le public visé, dont peuvent dépendre certains choix au cours de l'analyse.

La seconde phase vise à décrire la fonction du système étudié et en conséquence l'unité représentative de cette fonction (appelée Unité fonctionnelle, UF) qui permet de quantifier la performance de cette fonction. Par exemple pour un système étang, la fonction peut être la production piscicole, l'épuration de l'eau, la fonction paysagère, ….. Pour une fonction de production piscicole, l'unité fonctionnelle pourra être la tonne de poisson produite. L'unité fonctionnelle qui caractérise la fonction sert aussi de base de référence pour le calcul des flux d'intrants (ressources) nécessaires à l'élaboration du produit et des émissions (déchets, recyclage, …).

Une troisième phase consiste à définir le système étudié et ses limites en le modélisant par un arbre de processus élémentaires (extraction de matière première, transport et distribution, étapes de transformation et de production, utilisation, gestion de la fin de vie, …) correspondant à des flux de matières, d'énergie, mais aussi aux infrastructures nécessaires à tous les processus élémentaires.

3.1.2.2. Etape 2 : L'inventaire du cycle de vie (ICV)

L'ICV quantifie les flux de matières et d'énergies associés aux différents processus élémentaires du cycle de vie, en les rapportant à l'unité fonctionnelle retenue. Il s'agit donc des ressources consommées et des émissions dans l'air, l'eau et le sol à chaque étape du cycle de vie du produit. Ce recueil de données est une phase lourde à mettre en œuvre mais capitale pour la suite de l'étude. Les données de chaque processus élémentaire à l'intérieur des frontières du système sont préalablement classées en :

- intrants

  - énergétiques (électricité, combustible fossile pour le fonctionnement des machines, engins et moyen de transport),

  - de moyens de production (matériels, infrastructures, …) ; semences et juvéniles (porcelets, poussins, alevins …)

  - auxiliaires (fertilisants, aliments et autres éléments trophiques) ;

  - autres éléments de nature physique (eau, sol,…);

- extrants

  - produits agricoles (maïs, soja, œufs, viandes laits, poissons) et coproduits (huiles, tourteaux et autres dérivés) et déchets (rejets agricoles, déjections animales, eaux usées….);

- émissions dans l'air (CO_2, NH_3, CH_4, N_2O, SO_2…, dans l'eau (NO_3, PO_4,. .) et dans le sol (N, P, NO_3…..);

- autres conséquences environnementales (bruit, odeurs…).

Afin de générer les résultats de l'inventaire pour chaque processus élémentaire, un calcul met en relation les données descriptives des flux d'éléments (intrants, émissions…) avec l'unité fonctionnelle. Pour ce faire, il est nécessaire de définir une règle (économique, massique, ou énergétique), indispensable du fait que la plupart des processus agricoles donnent lieu à plus d'un produit et recyclent des produits intermédiaires.

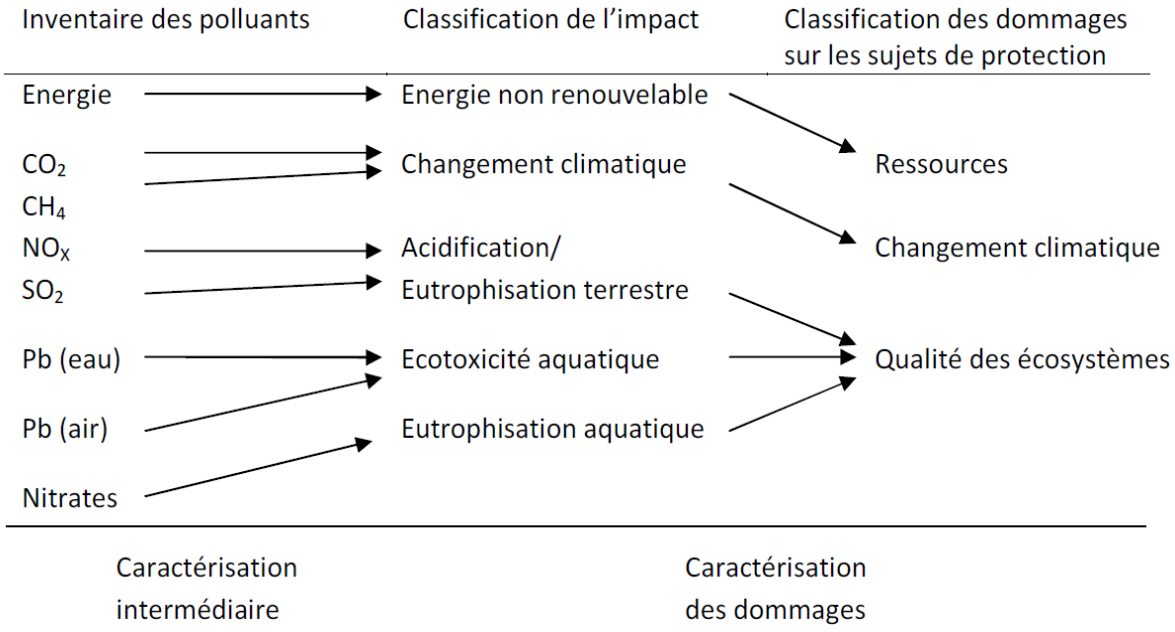
Cette étape nécessite une validation des données en cours de récolte, lors du traitement et à sa fin.

3.1.2.3. Etape 3 : L'évaluation de l'impact environnemental

Cette étape consiste à agréger les informations provenant de chaque processus élémentaires (extraction de matière, rejets, …) qui composent l'inventaire pour permettre d'estimer les impacts globaux du système sur l'environnement (figure 3.2). Cette étape comporte deux phases ordonnées obligatoires à savoir :

Phase 1 : La sélection des catégories d'impact potentiel.

Il existe plusieurs types de catégories d'impacts (Jolliet *et al*., 2005) : des catégories orientées dommages (épuisement des ressources, impacts sur la santé humaine, impacts écologiques), et des catégories orientées problèmes (changement climatiques, acidification, eutrophisation, utilisation des terres, utilisation de l'eau, ….). Le choix des catégories doit être tel qu'elles ne soient pas redondantes et n'amènent pas de doubles comptages, mais pertinentes pour le système étudié. Seules celles couramment utilisées en aquaculture sont présentées dans le paragraphe 3.1.3.



.

Figure 3.2 : Démarche générale de l'analyse de l'impact des émissions (D'après la figure 5.5 *in* Démarche générale de l'analyse de l'impact des émissions sur les sujets à protéger ; Jolliet *et al.*, 2010).

Phase 2 : La caractérisation.

Cette phase correspond au calcul de la valeur de chaque catégorie d'impact par agrégation des données d'inventaire à l'aide des facteurs de caractérisation, qui font le lien entre les impacts et les émissions. A titre d'exemple, quelques facteurs de caractérisation (utilisés dans notre étude) sont présentés dans le tableau 3.1. Ces facteurs de caractérisation sont issus de publications scientifiques et font l'objet de consensus internationaux.

Pour mieux comprendre la démarche, prenons le cas du méthane CH_4 et du gaz carbonique CO_2 qui participent tous les deux à l'effet de serre, exprimé par la catégorie d'impact Changement Climatique Potentiel. Le Changement Climatique Potentiel est mesuré en kg éq CO_2 car ce gaz

est la substance de référence. Le CH_4 a un potentiel d'impact 25 fois plus important que le CO_2. Donc l'émission de 1kg de CH_4 équivaudra à 25 kg de CO_2.

Tableau 3.1: Facteurs de caractérisation pour trois catégories d'impact de quelques émissions vers l'air, l'eau et le sol (d'après Guinée *et al.,* 2002 ; Forester *et al.,* 2007).

Emissions (en kg)	Eutrophisation pot. *(en kg- ép PO_4)*	Acidification pot. *(en kg- éq SO_2)*	Changt. climatique pot. (à 100 ans) *(en kg- éq CO_2)*
CO_2, air	-	-	1
CH_4, air	-	-	25
N_2O air	-	-	298
NH_3, air	0,35	1,6	-
NOx, air	0,13	0,5	-
SO_2, air	-	1,2	-
NO_3, eau	0,1	-	-
PO_4, eau	1	-	-
N sol	0,42	-	-
P sol	3,06	-	-
NO_3 sol	0,1	-	-

Une 3ème phase optionnelle de normalisation peut être ajoutée. Elle consiste en la transformation du résultat d'un indicateur pour le rendre comparable à d'autres valeurs du même domaine. Le résultat est alors divisé par une valeur de référence choisie (par exemple : pour 1000 habitants). Elle est peu utilisée du fait du manque de valeurs de références adéquates pour chaque type de système, d'impact et de contexte. Nous n'avons pas retenu cette phase.

3.1.2.4. Etape 4 : L'interprétation

Elle consiste en un résumé et à la discussion des résultats de l'évaluation de l'impact afin de dégager des conclusions et des recommandations adaptées et conformes à la définition du champ de l'étude. Elle doit permettre d'aboutir à une prise de décision conformément à la définition des objectifs et du champ de l'étude. On procède généralement par comparaison des performances de différents systèmes, et par l'analyse de la contribution des différents processus du système, aux différentes catégories d'impact. Cette phase permet de comprendre le fonctionnement du système et le rôle que joue chaque partie du système dans la genèse des impacts.

Quand les données le permettent, cette étape comprend aussi une analyse de sensibilité, pour comprendre l'effet de la variation de certains paramètres (biotechniques, environnementaux, pratiques…) et une analyse de l'incertitude permettant de qualifier la qualité des données et la robustesse des résultats.

3.1.3. Les catégories d'impact utilisées dans les ACV analysant la production aquacole

Dans les analyses environnementales par ACV des systèmes aquacoles, un certain nombre de catégories d'impact ont été régulièrement retenues (Papatryphon *et al.*, 2004 ; Casaca, 2008 ; Efole Ewoukem, 2008 ; Roque d'Orbcastel, 2009 ; Aubin et van der Werf, 2009 ; Aubin *et al.,* 2009 ; Pelletier et Tyedmers, 2010). Elles sont décrites dans le paragraphe suivant.

3.1.3.1. Le Changement climatique potentiel

Il correspond à l'ensemble des modifications climatiques potentielles pouvant survenir du fait de l'émission supplémentaire dans l'atmosphère des gaz à effet de serre. Il représente le réchauffement global de la planète sur une période de 100 ans dû aux émissions de gaz à effet de serre, calculées à l'aide des facteurs de caractérisation décrits par Forester *et al.,* (2007) et s'exprime en kilogramme d'équivalent CO_2 (kg éq-CO_2) par unité fonctionnelle de produit. La modification de l'environnement par déforestation pour l'aménagement des pâturages et les émissions des gaz à effet de serre (N_2O, CO_2, CH_4 …….) des systèmes de production agricole et d'élevage en particulier, contribuent au réchauffement de l'atmosphère qui intervient dans le bilan radiatif de la terre (Steinfeld *et al.,* 2006). En élevage de monogastriques et en aquaculture intensive, la phase de production des aliments est le principal contributeur à cet impact (Basset-Mens, 2005 ; Papatryphon *et al.*, 2004a ; Aubin *et al*., 2009) du fait des émissions de gaz issus des ressources énergétiques fossiles pendant les phases de culture (ou de transformation) et de dégradation des engrais. Cependant au regard des variations de cet impact suivant le type d'élevage (Steinfeld *et al.,* 2006), les émissions liées à la production au sein même des fermes aquacoles méritent également d'être prises en compte pour une meilleure décision du choix de système.

3.1.3.2. L'Acidification potentielle

Les activités industrielles et agricoles émettent des gaz polluants acides qui après oxydation enrichissent l'atmosphère d'acides sulfurique et nitrique plus particulièrement, qui retomberont sur terre généralement sous forme de pluies acides. Les polluants acidifiants ont une large gamme d'impacts sur le sol, la nappe phréatique, les eaux de surface, les organismes vivants, les écosystèmes et les matériaux. Potting *et al*., 1998*in* Basset-Mens, 2005 évalue son niveau grâce au modèle d'acidification « RAINS » qui calcule les effets du soufre et de l'azote en fonction des propriétés de l'écosystème. L'acidification est exprimée en kg éq-SO_2. Son évaluation en système d'élevage piscicole intensif a révélé qu'elle est liée pour 61% à 82% à la production des aliments (Papatryphon *et al.*, 2004a et 2004b ; Aubin *et al*., 2006 et 2009) du fait des émissions de gaz de la phase agricole de production des ingrédients. Néanmoins elle est également fonction du type d'élevage (Steinfeld *et al.*, 2006).

3.1.3.3. L'Utilisation de la production primaire nette (UPPN)

L'utilisation de la production primaire nette fait référence à la consommation de la production primaire par des organismes de niveau trophique supérieur qui sont des intrants du système de production piscicole (farine de poisson, alevins issus du milieu naturel en aquaculture, …). Elle concerne également celle utilisée directement sous forme d'aliment végétal en fonction de composition en carbone des végétaux. Exprimée en kg C par unité fonctionnelle, elle permet de représenter le niveau trophique des espèces du système selon le modèle proposé par Pauly *et al.* (2002). L'UPPN est liée en majorité à l'aliment dans les élevages (Basset-Mens, 2005 ; Papatryphon *et al.*, 2004a ; Aubin *et al.*, 2006 et 2009). Elle varie selon que l'on s'adresse à des espèces à niveaux trophiques différents. Papatryphon *et al.* (2004b) relèvent qu'un remplacement de la farine de poisson par des protéines d'origine végétale dans les aliments induit une diminution forte d'UPPN.

3.1.3.4. L'Utilisation de l'énergie (Cumulative Energie Demand)

L'utilisation d'énergie se réfère ici à la déplétion des ressources énergétiques non renouvelables (dont le cycle de renouvellement est lent) et à l'utilisation des énergies

renouvelables (solaire, éolien…). Elle est exprimée en méga joule (MJ) par unité de produit. La fabrication des différents intrants, les matériaux pour la construction des infrastructures ainsi que le fonctionnement de certains systèmes d'élevage nécessitent généralement de grandes quantités d'énergie qui sont souvent fournies pour partie ou totalement par des combustibles non renouvelables (charbon, pétrole, gaz naturelle, uranium…..). Ainsi, elle varie suivant le système technique, le type et la quantité d'aliment mobilisé (Basset-Mens, 2005 ; Papatryphon *et al.*, 2004a ; Aubin *et al.*, 2006 et 2009).

3.1.3.5. L'Utilisation de Surface (land competition)

L'utilisation de surface se réfère à l'ensemble des surfaces nécessaires à la production d'une quantité d'unité fonctionnelle. Elle concerne les surfaces utilisées de façon directe et indirecte pour la production. Dans les systèmes agricoles, il s'agit de la ferme et de tous les espaces de terre qui ont été occupés temporairement ou de façon permanente pour la production de tous les intrants. Elle s'exprime en m^2.a (mètre carré.année) par unité fonctionnelle.

3.1.3.6. La Dépendance à l'eau

Le maintien actuel des ressources en eau constitue un challenge majeur pour le développement agricole dans le monde (Steinfeld *et al.,* 2006). La dépendance à l'eau est définie comme la quantité d'eau entrée dans le système durant tout le cycle de production (Aubin *et al.*, 2009).

Le lien des élevages piscicoles à l'eau est fonction du type d'élevage. Il peut s'agir uniquement d'un support physique (milieu de transfert) pour les gaz et les produits dissous dans le cas des systèmes intensifs ou bien d'un milieu productif qui fournit des ressources trophiques aux poissons et assure les fonctions de recyclage dans les élevages extensifs et semi-intensifs. La dépendance à l'eau (Aubin *et al.,* 2006) représente tous les volumes en m^3 ayant servi ou transité dans la ferme durant le cycle d'élevage:

- l'eau séquestrée, qui est bloquée dans une structure et donc non utilisable pour d'autres utilisateurs (agriculture, usage domestique),
- l'eau consommée, qui est l'eau perdue par évaporation ou par infiltration donc qui n'est plus accessible,
- l'eau qui transite et est restituée, notamment dans les systèmes en eau libre.
-

Les besoins en eau sont non seulement dépendants des systèmes d'élevage mais également du type de poisson et influent sur les rendements de production. Le tableau 3.2 résume les quantités d'eau nécessaires pour la production dans quelques systèmes d'élevage de poisson. De ce tableau on peut noter que la quantité d'eau consommée est également fonction du degré de mécanisation ou de réutilisation de l'eau dans système.

Tableau 3.2 : Quantités d'eau nécessaires pour quelques systèmes d'élevage de poisson (Phillips *et al*., 1991 ; Papatryphon *et al.,* 2004a ; Aubin *et al.,* 2006 et 2009)

Espèces	Système d'élevage	Pays	Production (t/ha)	Quantité d'eau

				nécessaire (m^3/t)
Oreochromis niloticus	Extensif en étang (pas de renouvellement d'eau)		0,05 – 0,3	3000 - 5000
Oreochromis niloticus	Extensif en étang (renouvellement d'eau minimum)	Thaïlande	6,8	1500 - 2000
carpe/Tilapia (polyculture)	Extensif	Israël	3	12000
carpe/Tilapia (polyculture)	Semi-intensif	Israël	9	5000
Oreochromis niloticus	Intensif (étang aéré)	Taiwan	17,4	21000
Carpe/Tilapia (polyculture)	Intensif	Israël	20	2250
Carpe commune	Raceways	Japon	1443	74000
Turbot	Intensif re-circulé	France		4800
Truite	Intensif eau libre	France		60 000

3.1.3.7. Le Travail humain

Il ne s'agit pas d'une catégorie d'impact environnemental au sens propre du terme. Il traduit la valorisation de la force de travail humain et pourrait s'inscrire dans le courant de l'approche « configurationnelle », développée par Delery et Doty (1996) ainsi que Delery *et al.* (2005), qui mesure les effets des pratiques de ressources humaines sur la performance économique. D'après Cappelletti et Noguera (2005) la mise en œuvre d'indicateurs de travail humain permet d'apprécier l'influence et le rôle actif du facteur humain dans la création de valeur ou dans la stimulation de la production. Le coût de la production correspond au coût du capital (charges financières, amortissements, provisions pour risques et charges), il reste inerte tant qu'il n'est pas activé par l'humain. Ainsi, dans un contexte local d'absence de mécanisation au sein des exploitations agricoles, l'indicateur de travail humain pourrait également servir de mesure de la création de valeur ajoutée globale réalisée par l'ensemble des acteurs de l'exploitation.

3.1.3.8. L'Eutrophisation potentielle

L'eutrophisation est l'enrichissement de l'eau en nutriments biogènes notamment l'azote (N) et le phosphore (P), stimulateurs de la photosynthèse mais entraînant aussi l'altération de la qualité de l'eau. Elle est exprimée en kilogramme d'équivalent ortho-phosphate (kg éq-PO_4^{-}) par tonne de poisson produit. C'est une catégorie d'impact prépondérante pour les systèmes de production agricoles du fait des quantités d'azote et phosphore mobilisés pour la fertilisation des cultures et la gestion des déjections animales dont les rejets peuvent être directs dans les écosystèmes aquatiques. Des travaux récents ont montré que le niveau de cet impact est fonction du type d'élevage et pour les mêmes élevages, fonction du système d'élevage (Steinfeld *et al.*, 2006). Papatryphon *et al.* (2004a), Aubin *et al.* (2009) et Basset-Mens (2005) ont relevé des niveaux d'impact de 55,4 ; 52,4 et 20,8 kg éq-PO_4 respectivement en élevage intensif de truite en eau libre, de turbot en eau re-circulée et intensif de porcs. Ces mêmes auteurs relèvent la dépendance de cet impact à l'efficacité de l'utilisation des aliments. En outre, d'après nombreux auteurs, la pratique de la polyculture (animale ou végétale) serait une bonne alternative de réduction, sans consommation supplémentaire d'énergie, de cette catégorie d'impact pour

l'aquaculture, au travers de la valorisation par d'autres espèces aquacoles, animales ou végétales, d'une partie importante des nutriments émis (Troell *et al.*, 2003 ; Neori *et al.*, 2004 ; Casaca, 2008).

L'eutrophisation potentielle étant une catégorie d'impact majeure pour les systèmes aquacoles, il est nécessaire de conduire un travail approfondi sur les rejets des pisciculture durant l'étape d'inventaire du cycle de vie. La quantification des rejets est un problème ancien mais qui reste d'actualité et qui n'est actuellement pas résolu, en particulier dans les systèmes piscicoles en étang semi-intensif (Gross *et al.*, 2000 ;Vedegem, 2007 ; Boyd *et al.*, 2007).

3.2. Les rejets des pisciculture

De façon générale les rejets des pisciculture proviennent des intrants non « utilisés » par les poissons avant ou après transformation, des poissons morts et des apports terrigènes (Blancheton *et al.*, 2004). Ces derniers proviennent des ruissellements d'eau de pluie dont l'importance dépend de la topographie du site ou du bassin versant (Banas, 2001). Quel que soit le système, les rejets peuvent être regroupés en trois types : ponctuels (solides, particulaires, dissous), diffus (principalement sous forme dissoute) et gazeux tous issus des différents compartiments des étangs (figure 3.3). Leur quantité et qualité dépendent du système d'élevage, de l'usage d'un aliment et de sa composition (digestibilité), ainsi que des conditions physiques et climatiques du milieu (Jamu et Piedrahita, 1996, 1997, 2002a et 2002b ; Verdegem, 2007).

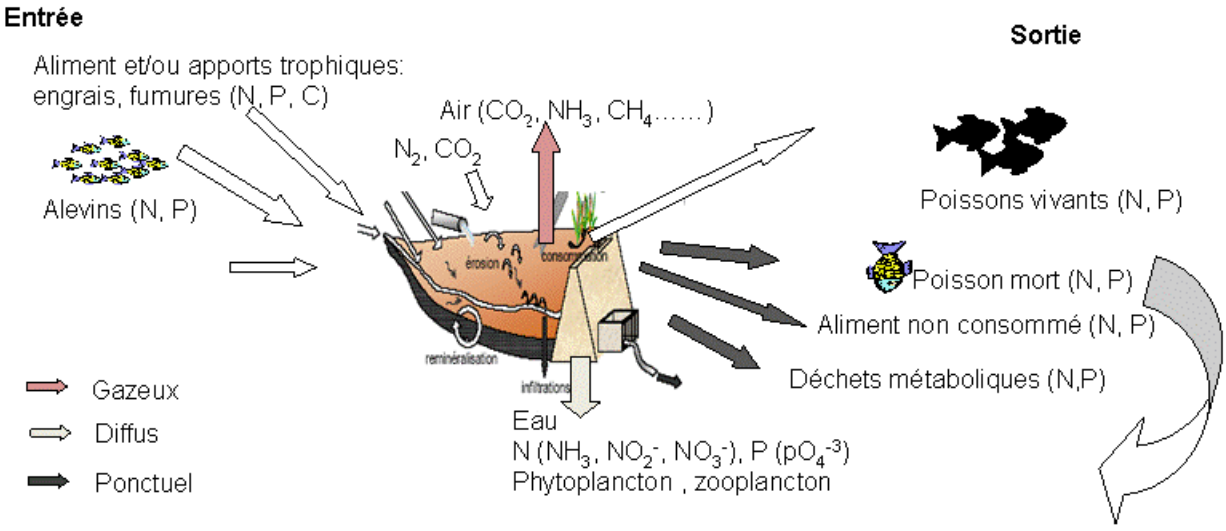


Figure 3.3 : Différentes formes de rejets des pisciculture en étang

3.2.1. Les différents types de rejets des étangs piscicoles

a) Les rejets ponctuels

La vidange constitue la phase par excellence d'exportation de matières particulaires et nutriments dans un laps de temps relativement court. Banas (2001) relève que l'exportation des matières particulaires durant cette période représente 5 à 35% des masses totales de matières en suspension (MES) charriées par les différents tributaires du cours d'eau récepteur durant l'ensemble de l'année dans des étangs de Lorraine. L'exportation se déroule généralement en

deux phases : (1) l'écoulement des eaux pour abaisser le niveau d'eau dans l'étang, (2) la pêche. Le tableau 3.3 résume les quantités de matières en suspension et nutriments exportées durant les deux phases lors de la vidange d'un étang d'une surface de 1 ha en France (Le Louarn et Neveu, 2001).

Tableau 3.3 : Quantités de Matières particulaires En Suspension (MES) et nutriments exportés au cours de la vidange d'un étang de 1ha (Le Louarn et Neveu, 2001)

Eléments exportés	Ecoulement des eaux	Pêche
Matières en suspension (kg)	133	2495
Orthophosphates PO_4 (kg P)	0,26	0,52
Phosphore total (kg)	1,82	0,42
NH4 (Kg N)	16,3	2,05
Nitrates (Kg N)	2,66	0,12

L'élévation des concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux rejetées durant la vidange est liée à la mise en suspension des sédiments par bioturbation sous l'action des poissons et la dilution des produits d'excrétion dans un faible volume d'eau. Les exportations pendant la phase de pêche sont diminuées dans les petits étangs quand il n'y a pas d'utilisation de filets. En effet, la mise en mouvement des vases est alors réduite.

Ces exportations peuvent être à l'origine de colmatage de fond de rivière par le dépôt des matières particulaires et des phénomènes d'eutrophisation en aval (Boutet-Berry, 2000).
Cependant après un bilan entrée/sortie, Banas (2001) relève que, malgré l'exportation remarquable des sédiments durant la vidange, les étangs piscicoles réduisent les risques d'eutrophisation du milieu aval au travers de la rétention des particules et nutriments ainsi que par la dégradation *in situ* des déjections des poissons et des matières provenant du bassin versant amont.

b) Les rejets d'éléments diffus

Ce sont des exportations diffuses au travers les infiltrations pendant la phase de fonctionnement de l'étang. Elles sont constituées particulièrement des nutriments (N, P) et autres éléments dissous issus de la dégradation des aliments et autres matières (phytoplancton, zooplancton) non ingérés et transportés par l'eau au cours des pertes d'eau par infiltration. Ces infiltrations sont responsables de l'enrichissement de la nappe sous jacente en nutriments biogènes. Leur incidence est fonction de l'intensité des fuites. Boyd et Gross, (2000) estiment à 5-6 mm/j la perte en eau par infiltration des étangs bien construits aux Etats Unis et classent par conséquent ces fuites de faible (0-5mm/j) à extrême > 15mm/j.

c) Les rejets gazeux

Ils sont issus du métabolisme des poissons et de l'ensemble de la biocénose de l'étang, y compris l'activité photosynthétique, et des processus de minéralisation des matières organiques inertes (fèces, cadavres, fumures organiques, …) sous l'action des bactéries. Ils sont constitués de gaz carbonique (CO_2) issu de la respiration et qui, dissous dans l'eau, abaisse le pH, d'oxygène (O_2) issu du processus photosynthétique, de l'ammoniac (NH_3) entrant dans la composition des excrétas des poissons (et des autres animaux) et produit par dégradation bactérienne de l'azote organique (Gross *et al.*, 2000). D'autres gaz peuvent être émis par l'écosystème étang : des composés azotés comme N_2, N_2O, NO, fruits des phénomènes de

nitrification-dénitrification et le méthane (CH_4) issu de la fermentation anaérobie du carbone organique. L'importance de ces émissions gazeuses est également liée à l'intensité des processus d'évaporation qui sont fonction du climat et de l'environnement immédiat de l'étang (Repo *et al.*, 1999).

3.2.2 Quantification des rejets des étangs

Dans le cadre de l'Analyse du Cycle de Vie des systèmes d'étang, il est nécessaire de quantifier les émissions de molécules pouvant avoir un effet polluant. Cette quantification peut se faire selon différentes méthodes, qui doivent apporter un niveau de précision suffisant tout en restant suffisamment simple à mettre en œuvre.

a) La méthode de bilan nutritionnel

Développée par les nutritionnistes (Cho et Kaushik, 1990), la méthode de bilan nutritionnel consiste en une évaluation des rejets des poissons au travers d'un bilan de masse des quantités d'azote et de phosphore entrées et sorties du système. La production de rejets étant déduite de la différence entre les quantités d'azote et phosphore entrées (aliments et alevins) et la part retenue par le poisson pour son gain de poids. C'est une méthode simple et utilisée actuellement en Analyse de Cycle de Vie pour l'évaluation des rejets des pisciculture (Aubin *et al.*, 2009 ; Roque d'Orcastel *et al.*, 2009). Elle ne prend pas en compte le devenir des produits émis dans l'atmosphère ou dans le milieu aquatique récepteur et les différents processus dynamiques au sein de l'étang. En considérant tout ce qui n'a pas été fixé par le poisson comme rejeté, cette méthode peut entrainer des erreurs d'estimation, à cause de la non prise en compte des biotransformations de nutriment en matières autres que le poisson à l'intérieur de l'étang (exemple : plancton, bactéries, invertébrés…) ou d'un compartiment entier comme les sédiments.

b) La méthode des flux, ou méthode hydrologique

Développée par les hydrobiologistes (Liao, 1970 ; Lemarié *et al.*, 1998 ; Banas, 2001), la méthode hydrologique consiste à mesurer les flux en entrée et sortie de l'étang, des différents éléments nutritifs contenus dans l'eau et les intrants. Les flux de rejets solubles (eau) et solides (vases) sont calculés en retranchant les flux d'entrée (eau, vases, alevins, intrants agricoles) aux flux de sortie (eau, vases, poissons). Nous avons synthétisé ces concepts au travers de la figure 3.4 puis les avons déclinés sous forme d'équations simples pour calculer des flux.

La méthode hydrologique nécessite cependant des mesures de flux d'eau adaptées à l'hydrologie du système et des quantifications de stocks, ainsi que des analyses chimiques associées à des plans d'échantillonnage pouvant être complexes. Elle prend en compte les processus hydrodynamiques qui déterminent la productivité et par ricochet la production finale de l'étang.

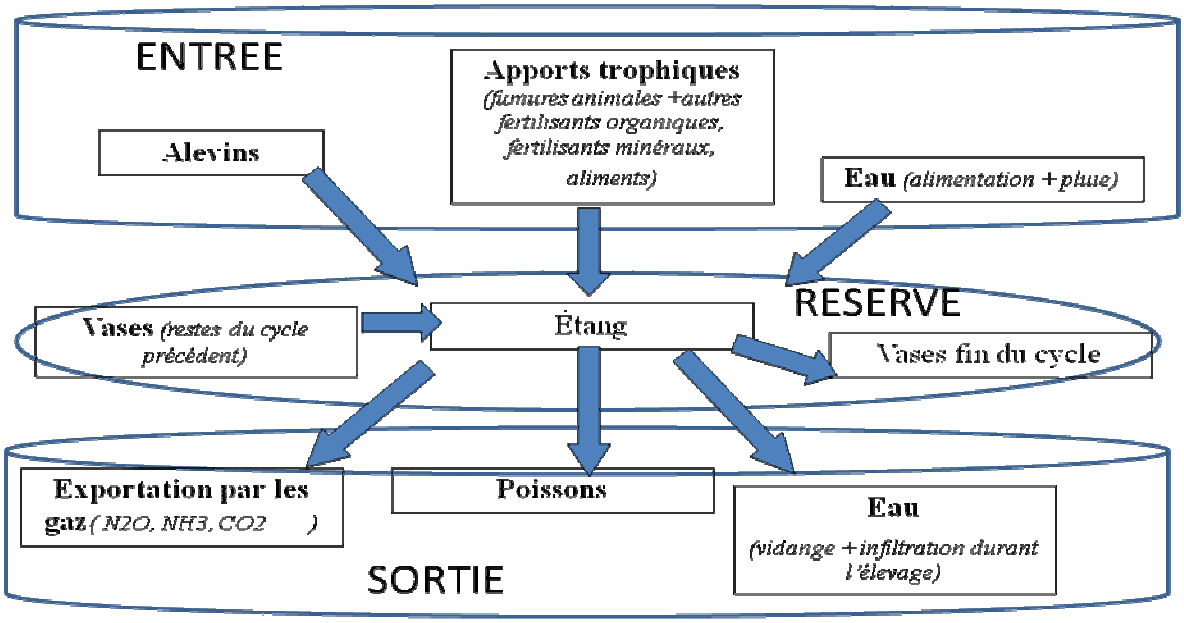


Figure 3.4 : Principe d'évaluation des flux entrant et sortant d'azote et phosphore dans les différents compartiments d'un étang de pisciculture

Les formules de calcul utilisées peuvent se résumer ainsi :

Les quantités d'azote apportées :

- Qté N apportée par l'eau = (Qté eau alimentation * concentration N) + (Qté eau pluie*concentration en N)
- Qté N apportée par les vases = volume de vases initial * concentration initiale en N
- Qté N apportée les alevins = ∑(masse d'alevins par espèce * composition corporelle N%)
- Qté N apportée par les intrants agricoles (fumure et sous produits) = ∑ (masse des intrants agricoles * composition N%)

Les quantités d'azote sorties :

- Qté N poisson pêché = ∑ (masse de poisson par espèce * composition corporelle N%)
- Qté N de l'eau = (Qté eau percolée * concentration N) + (Qté eau vidangée*concentration en N)
- Qté N des vases = volume de vases final * concentration finale en N

Cette méthode ne prend pas non plus en compte les pertes gazeuses.

Les quantités de phosphore apportées et sorties sont évaluées selon le même principe que les quantités d'azote.

La comparaison de ces deux méthodes a été mise en œuvre dans les systèmes d'élevage intensif de salmonidés en bassin (Roque d'Orbcastel *et al.*, 2008 ; Aubin *et al.* , 2011) où les caractéristiques des aliments utilisés sont connues, où les flux d'eau entrant et sortant sont maîtrisés et où il y a peu de bio-transformation des éléments dans les bassins d'élevage. Dans ce cas, on trouve de bonnes corrélations entre les deux méthodes. Cette comparaison est beaucoup plus délicate dans les systèmes d'étang semi-intensifs où l'alimentation des poissons est fortement basée sur la productivité naturelle du milieu. Verdegem (2007) relève qu'une certaine

quantité de nutriments apportés disparaît dans ces systèmes quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée. Le tableau 3.4 résume la ventilation des quantités d'azote, de phosphore et de carbone (en pourcentage de l'apporté) fixées par les poissons, stockées dans les sédiments, et non justifiées (non expliquées) par la méthode hydrologique, dans les élevages semi-intensifs en étang en Asie. La partie non expliquée peut pour partie correspondre à des pertes gazeuses en ce qui concerne N et C plus particulièrement.

Tableau 3.4 : Pourcentages de N, P, C fixés par le poisson et les sédiments et non justifiés en fin d'élevage, dans les systèmes semi-intensifs en étang en Asie, évalués par la méthode hydrologique (adapté de Verdegem, 2007)

	N	**C**	**P**
Poissons	5 – 25	20	5 – 18
Sédiments	66 – 70	38 - 46	30 – 86
Non justifié	5 -29	34 - 42	0 – 65

N : azote ; C : carbone ; P : phosphore

Ces valeurs sont indicatives et dépendent des espèces de poisson et des pratiques d'alimentation et/ou de gestion (Boyd *et al.*, 2007). En 2000, Gross *et al.* ont relevé des fixations de N et P par le poisson chat américain *Ictalurus punctatus*, de l'ordre de 31% en étangs conduits de façon intensive. La même étude relève des accumulations de N et P dans les sédiments respectivement de 22,6% et 57,6%, des pertes sous formes dissoutes de 16% de N et 11,4% de P, ainsi qu'une part importante d'émission d'azote sous forme gazeuse (29,9%). Boyd *et al*, (2007) présentent des taux de fixation de 25,7% N et 46,8% P, en élevage de Tilapias en étang avec de l'aliment formulé ; le solde étant considéré comme rejeté.

3.3. Matériel et méthodes

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental de la production piscicole en étang dans le contexte camerounais. Il vise aussi à comparer les résultats obtenus en utilisant successivement les deux méthodes d'estimation des rejets (bilan nutritionnel et flux hydrologiques). Aussi, un protocole assez lourd de recueil de données de terrain a été mis en place.

3.3.1. Sites d'étude.

Notre étude a été réalisée dans des exploitations familiales agricoles (EFA) des localités d'Esse, Messeng et Yemessoa, dans la région Centre du Cameroun et celles des localités de Batié, Fokoué et Bamedou, dans la région de l'Ouest. Ces deux régions sont naturellement contrastées tant sur les plans structurel que pédoclimatique (cf. paragraphe 2.2.1, chapitre 2).

Ainsi, 20 cycles de production ont été observés sur les étangs de 9 exploitations, choisies en s'appuyant sur la typologie des systèmes piscicoles intégrés dans les EFA (2.3.1, chapitre 2), mais aussi en tenant compte du volontariat du producteur à tenir à jour ses relevés en échange de conseils, et de la présence d'un projet ou d'une expérimentation. Les systèmes d'élevage

analysés correspondent à trois classes typologiques : 14 cycles conduits en mode semi-intensif dans des exploitations de taille moyenne (11) et de petite taille (3) et 6 cycles de type extensif (sans apports trophiques).

Le tableau 3.5 résume les caractéristiques des pratiques et le tableau 3.6 présente les données quantitatives descriptives des cycles de production des différentes exploitations

3.3.2 Mise en œuvre de la démarche ACV

3.3.2.1. Définition du système et des objectifs de l'étude

L'ACV a été réalisée suivant la méthode CML 2001 adaptée à l'aquaculture (du berceau à la porte de la ferme) et suivant son application antérieure dans divers systèmes de production aquacole (Papatryphon *et al.*, 2004a et 2004b ; Aubin *et al.*, 2006 et 2009 ; Roque d'Orbcastel, 2008 ; Casaca, 2008) en utilisant :

- L'allocation économique des impacts entre co-produits. Quand un processus conduit à l'élaboration de plusieurs produits, appelés les co-produits, l'impact du processus est réparti entre les co-produits au prorata de leur valeur marchande.
- L'unité fonctionnelle utilisée est une tonne de production totale de poisson,
- Des données secondaires concernant l'énergie, les transports, les matériaux,… proviennent de la base électronique de données d'inventaire ACV Ecoinvent (ecoinvent®, 2007).

Tableau 3.5 : Modes de gestion piscicole des cycles de production utilisés dans l'étude ACV

Type d'exploitation piscicole	Lieu/propriétaire, N°étang (code)	Numéro étang	Numéro Cycle	Mode de gestion piscicole			
				Monoculture	Polyculture	Alimentation	Gestion de l'eau
Extensif	Esse 1 (ESE1)	1	1	*Oreochromis niloticus (monosexe et Hemichromis fasciatus en espèce de contrôle)*	*Oreochromis niloticus* (sexes confondus et sans espèce de contrôle)	pas d'apport trophique	Aucune gestion de l'eau (renouvellement continu par le ruisseau ou la nappe)
	Esse 2 (ESE2)	2	1				
	Esse 3 (ESE3)	3	1		*Oreochromis niloticus (sexes confondus) + Clarias gariepinus*		
	Esse 4 (ESE4)	4	1				
	Thérèse 1 (THER)	1	1				
	Ondoua 1 (OND)	1	1				
semi-intensif (petite taille)	Fongang 1(FNG)	1	1		*Oreochromis niloticus (sexe confondu) + Clarias gariepinus*	lisier issu d'élevage de porc nourri d'aliment simple et/ou des rejets végétaux et déchets de cuisine	compensation des pertes par infiltration (fonction de la nature du substrat) et évaporation (identique dans les deux régions)
	Kegni 1 (KGN)	1	1				
	Tchetsa 1 (TCH)	1	1				
semi-intensif (taille moyenne)	Onomo 1 (ONO)	1	1	*Oreochromis niloticus(sexe confondu et Parachana obscura en espèce de contrôle)*		lisier issu d'élevage de porc nourri d'aliment simple et/ou des rejets végétaux et déchets de cuisine	compensation des pertes par infiltration (fonction de la nature du substrat) et évaporation (identique dans les deux régions)
	Wache 1 (Wch)	1	1		*Cyprinus carpio+ Clarias gariepinus*	lisier issu d'élevage de porc nourri d'aliment composé	compensation des pertes par infiltration (fonction de la nature du substrat) et évaporation (identique dans les deux régions)
	Bernard Y. 1 (BY1)	1	1		*Oreochromis niloticus(monosexe et Hemichromis fasciatus en espèce de contrôle)+ Cyprinus carpio*		
	Bernard Y. 2 (BY2)	2	1				
	Bernard Y. 3 (BY3)	3	1				
	Bernard Y. 4 (BY4)	4	1	*Cyprinus carpio*			
	Bernard Y. 1 (BYA)	1	2		*Oreochromis niloticus(monosexe et Hemichromis fasciatus en espèce de contrôle)+ Cyprinus carpio*	lisier issu d'élevage de porc nourri d'aliment composé	compensation des pertes par infiltration (fonction de la nature du substrat) et évaporation (identique dans les deux régions) +vidange de 25cm de hauteur d'eau avant chaque pêche de contrôle
	Bernard Y. 2 (BYB)	2	2				
	Bernard Y. 3 (BYC)	3	2	*Cyprinus carpio*			
	Bernard Y. 4 (BYD)	4	2		*Oreochromis niloticus(monosexe et Hemichromis fasciatus en espèce de contrôle)+ Cyprinus carpio*		
	Bernard Y. 5 (BYE)	5	2				

Tableau 3.6 : Caractéristiques de la production piscicole pour les 20 cycles étudiés en ACV

type d'exploitation piscicole	fermes	Description sommaire	Pratique d'empoissonnement	Durée T du cycle (mois)	Surface de l'étang (m^2)	Hauteur d'eau moyenne he (m)	Volume en eau moyen Ve (m^3)	VeR (m3)	Evapo (m3)	Quantité lisier (kg)	Quantité de poisson récoltée (kg)	Rendement Rdt (t/ha/an)	Localité (Région)
semi-intensif (taille moyenne)	BY1	Expérimentation APDRA du test du ratio d'empoissonnement en polyculture du Tilapia (On) monosexe et de la carpe commune(Cc)	0,25On+0,75Cc	6	568	0,75	426	7668	537	1559	118	4,14	Batié (Ouest)
	BY2		0,5On+ 0,5Cc	6	562	0,75	421,5	9104	531	1682	119	4,23	
	BY3		0,75On+0,25Cc	6	478	0,7	334,6	12046	422	1559	93	3,9	
	BY4		1Cc	6	304	0,6	182,4	2298	230	859	62	4,06	
	BYA		0,125On+0,125Cc	6	500	0,75	375	5725	473	1350	16,7	0,67	
	BYB		0,25On+0,25Cc	6	590	0,8	472	7127	595	1593	39,8	1,35	
	BYC		1Cc	6	510	0,7	357	5518	450	1377	24,2	0,95	
	BYD		0,5On+0,5Cc	6	300	0,7	210	3246	265	810	20,4	1,36	
	BYE		0,375Cc+0,156On	6	300	0,7	210	3246	265	810	16,2	1,08	
	WCH	polyculture *Clarias gariepinus* et carpe	0,24Cg+0,49Cc	18	450	0,4	180		680	9113	70	1,04	
	ONO	polyculture Tilapia+ *Parachana obscura*	1,5On+0,04Po	12	700	0,75	525	3780	1323	2520	167,5	2,4	Yemesoa (Centre)
semi-intensif (petite taille)	TCH	polyculture association Tilapia- *Clarias gariepinus* avec carpe pour espèce d'association secondaire	2On+0,24Cg+0,11Cc	8	350	0,85	297,5	4998	500	1680	97,3	4,17	Fokoué-Bamendo (Ouest)
	FNG		1,1On+1Cg+0,125Cc	8	160	0,85	136	1632	228	2090	50	4,7	
	KGN		2On+1Cg+0,24Cc	8	150	0,75	112,5	540	189	982	62	6,15	
Extensif	ESE1	ferme d'Esse orientée vers la production du *Clarias* et *Heterotis*, Tilapia espèce secondaire ou fourrage	1,250n+0,375Hn	33	800	0,3	240	1663	1663	0	163	0,74	ESSE et Messeng (Centre)
	ESE2		1,66On+0,66Cg+0,5Po	32	600	0,3	180	1210	1210	0	96	0,71	
	ESE3		2,5On+1Cg	15	400	0,3	120	378	378	0	74,8	1,5	
	ESE4		2,5On+1Cg	15	400	0,3	120	378	378	0	61,0	1,2	
	THR	monoculture du Tilapia monosexe(*Hemichromis fasciatus* espèce de régulation) + *Heterotis niloticus*	0,08On+0,003Hn	10	1700	0,9	1530	91800	3213	0	55,8	0,4	
	OND		0,15On+0,003Hn	14	2000	1	2000	226800	5880	0	107	0,46	

On : *Oreochromis niloticus* ; Cg : *Clarias gariepinus* ; Po : *Parachana obscura* ; Hn : *Heterotis niloticus ; Cc : Cyprinus carpio ;* VeR : volume d'eau rejeté ; Evapo : volume d'eau évaporé

Les limites de chaque système de production piscicole comprennent les processus de production des ingrédients alimentaires (production au champ comprise), la production d'animaux terrestres dont la fumure est utilisée pour la production piscicole, la production des alevins, la production du poisson ainsi que le transport à toutes les étapes. La figure 3.5 illustre l'arborescence des processus constituant le système de production du poisson.

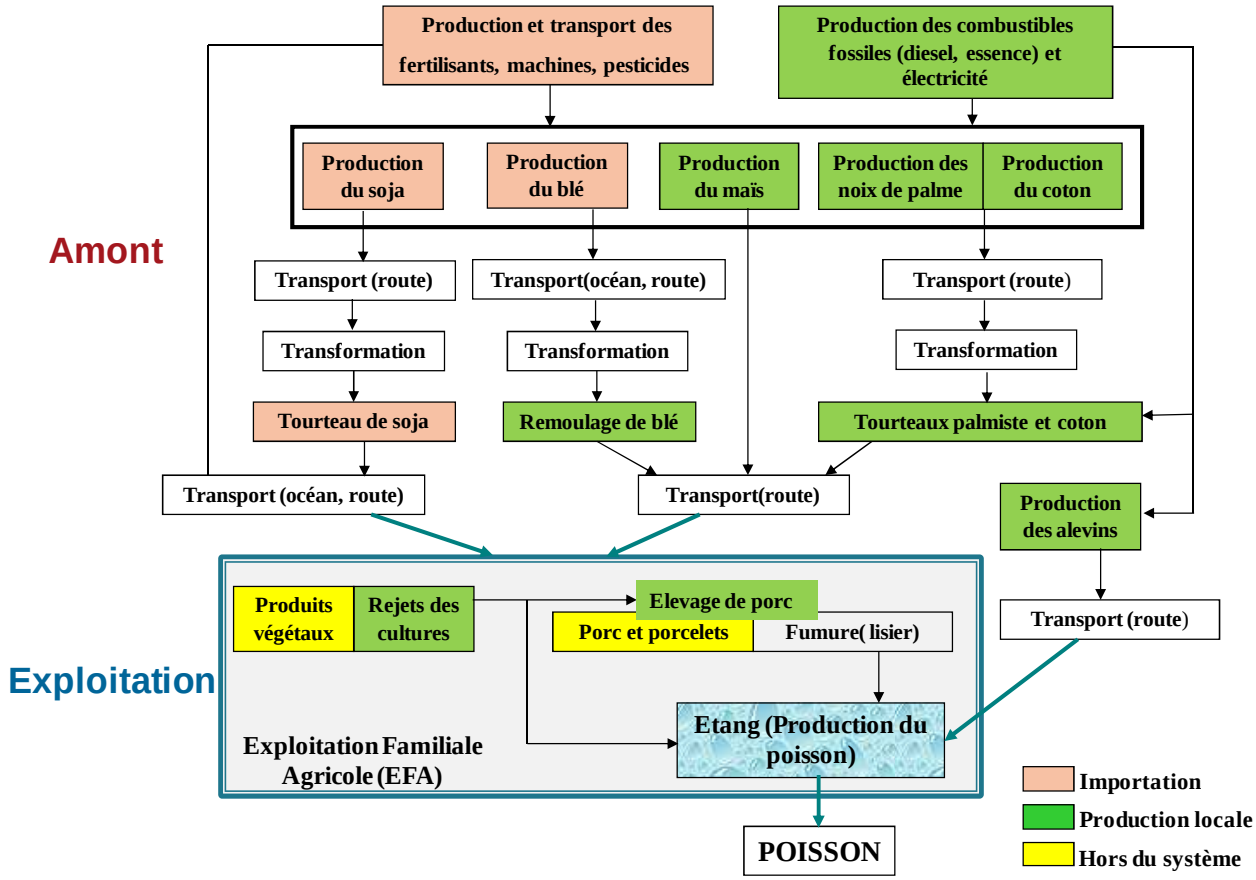


Figure 3.5 : Arborescence des processus constituants le système de production de poisson (par souci de simplification, les rejets ne figurent pas dans le schéma, mais ils existent au niveau de chaque production).

3.3.2.2. Inventaire du cycle de vie

L'acquisition des données d'inventaire porte sur un cycle de production (de la mise en charge des alevins à la récolte). Les données relatives aux quantités d'apports trophiques sont issues des relevés des producteurs et d'étudiants (suivis d'expériences chez les producteurs) et de nos propres relevés. Le calcul des quantités d'azote et de phosphore dans les différents compartiments (notamment les aliments) a nécessité l'usage des données bibliographiques (Kumar and Ayyapan, 1998 ; Pouomogne, 2005 et 2007 ; Tuan *et al.*, 2006 ; FAO, 2007 ; Albert *et al.*, 2009) en plus des résultats d'analyses chimiques (N et P total) que nous avons réalisées sur le pain et la fumure (méthodes du tableau 3.7). L'inventaire comprend :

a) La production piscicole

Les données de production sont issues des suivis de mises en charge en alevins et de pêche lors des vidanges en fin de cycle.

Les pisciculteurs nous ont fourni le nombre, le poids moyen et l'origine des alevins par espèce introduits dans l'étang. La masse d'alevins par espèce a été calculée à partir du nombre et du poids moyen, obtenu lui-même par division par 100 de la masse totale de 100 alevins prélevés au hasard.

La masse totale de poissons produite par espèce a été fournie par les pisciculteurs, les étudiants stagiaires ou mesuré par nous même. Faute d'un dénombrement exhaustif des poissons produits, le poids moyen final à la récolte (Pmf) a été calculé sur la base de la pesée d'un échantillon de 30 poissons de chaque espèce. Les 30 individus ont été prélevés au hasard et pesés ensemble. Le poids moyen par sujet est obtenu en divisant la masse totale par ce nombre (30) de poissons.

L'ensemble de ces mesures a été faite à l'aide d'une balance électronique de terrain de 0.1g de précision.

La biomasse de poisson produite est la différence entre la masse des poissons récoltés (poisson en sortie) et la masse d'alevins mis en charge (poisson en entrée). La biomasse produite est notre unité fonctionnelle.

Les quantités de nutriment fixées par les poissons ont été calculées à partir des analyses corporelles (N, P) issues de la littérature (Otitologbon *et al.,* 1997 ; Rosa *et al.,* 2007 ; Toko *et al.,* 2007 ; Monentcham *et al.,* 2010) (Annexe3) et de la biomasse produite faute d'analyses de carcasses.

b) La production des alevins

Les alevins ont différentes origines selon les espèces. Les alevins de Tilapias sont majoritairement produits sur l'exploitation, à l'exception de quelques fermes qui se fournissent à l'extérieur (Esse, Thérèse, Ondoua, Wanche) bien qu'elles se trouvent dans une dynamique d'autonomie future. Lorsque les alevins sont produits sur la ferme, l'inventaire comprend de la fumure, de la surface d'étang et de l'eau, associés à leur production. Pour les alevins de Tilapia, de carpe, et de Clarias provenant d'écloserie, l'inventaire est basé sur la description du fonctionnement de l'écloserie artisanale de Batié (Efolé Ewoukem, 2009). Les alevins de Clarias qui proviennent du milieu naturel sont associés uniquement à des coûts environnementaux de transport.

c) Le transport

C'est la somme des moyens de transport (bateau, train, avion, voiture) et des distances parcourues à toutes les étapes pour chaque élément transporté. Il est calculé en multipliant la masse de produits transporté en tonne par la distance parcourue en kilomètres pour son transport et il est donc exprimé en t.km (tonne.kilomètre). Les informations des émissions associées ont été extraites de la base Ecoinvent, (2007).

d) Des données relatives à la construction de l'étang :

Il s'agit de :

- la surface et la profondeur
- le temps de travail pour sa construction (en équivalent homme jour), suivant Pouomogne *et al*. (1998)
- le type et les quantités de matériaux ayant été nécessaires à la construction de l'étang (tube PVC, béton…)

L'ensemble de ces données est rapporté à une durée de vie estimée à 20 ans (prenant en compte la durée annuelle cumulée d'entretien du fond et des berges, équivalant à la durée de construction initiale)

e) Le temps de travail

Le temps de travail humain a été calculé en fonction du nombre de personnes et de la durée de réalisation d'une tâche. L'unité utilisée est l'homme.jour (h.j) ; 1h.j correspondant à 8h de travail (Pouomogne *et al.,* 1998).

f) L'eau

La hauteur en eau a été mesurée sur 3 transects à l'aide d'un tube creux gradué. Le produit de la hauteur moyenne et de la surface a permis d'évaluer le volume en eau moyen de l'étang. Il correspond au volume d'eau séquestré car maintenu dans l'étang et n'ayant servi à aucune autre usage durant tout le cycle d'élevage.

L'utilisation de l'eau à l'échelle de l'étang, comprend les volumes d'eau séquestrés, et l'eau consommée (évaporée ou infiltrée) durant le cycle d'élevage.

La quantité d'eau consommée a été calculée à partir du taux de renouvellement journalier de l'eau de l'étang, du volume d'eau initialement stocké et de la durée d'élevage en jours.

Le taux de renouvellement journalier est calculé à partir de la différence de niveau d'eau relevé sur l'échelle limnimétrique en début et fin de semaine avant la compensation des pertes en eaux, (Annexe 4).

g) Fertilisants et autres apports trophiques

Les fertilisants sont constitués principalement des lisiers ou de fientes de poules. Les lisiers proviennent toujours des élevages de porc de l'exploitation, les fientes de poules sont achetées sur le marché local et produites par une exploitation identifiée et caractérisée. L'inventaire associé à la fumure a été construit à partir de l'alimentation distribuée aux animaux (porcs ou volailles), l'origine, la production et le transport de ces ingrédients et en utilisant une allocation économique entre le produit (porc ou volaille) et la fumure.

Les autres apports trophiques sont constitués des déchets de cuisine compostés dans l'étang. Ces déchets n'ayant pas de valeur, aucun impact associé à leur production n'a été pris en compte. Leurs effets sur l'environnement ont été pris en compte au travers de leur composition en nutriment. Leur composition est décrite dans le tableau 1.3 (chapitre 1).

Les quantités de matières (N, P, C) entrées par l'ajout de fertilisants et des autres apports trophiques (aliment simple) ont été calculées à partir de la quantité et de la concentration de chacun des apports.

h) Evaluations des rejets en nutriments (N et P)

Deux méthodes d'évaluation des rejets de l'étang ont été testées : la méthode hydrologique et le bilan de masse.

<u>La méthode hydrologique</u>

De façon générale le principe de la méthode de calcul des rejets d'azote et de phosphore (figure 3.4) repose principalement sur deux niveaux de considération, l'entrée (alevins, apports trophiques, eau, vases) et la sortie (poissons, eaux, vases et gaz), mais en prenant en compte le recyclage des boues qui sera un troisième niveau (réserve) déduit de la sortie.

Les quantités de matières (N et P) apportées par l'eau ont été calculées à partir de leurs concentrations dans l'eau, mesurées une fois par mois en entrée.
Les quantités d'azote et phosphore entrées au travers des pluies ont été calculées à partir de leur concentration dans l'eau de pluie mesurée durant la période de l'étude et de la quantité de pluie qu'a reçu l'étang durant le cycle. L'estimation de la quantité de pluies reçue par chaque étang durant son fonctionnement, a été calculée à partir de la hauteur moyenne de pluie annuelle (Suchel, 1987) qui tombe dans la région pondérée par le nombre de mois d'élevage, à défaut d'un suivi régulier au pluviomètre et des données météorologiques disponibles.

Les quantités de matières exportées par l'eau à la vidange ont été calculées à partir de la concentration de l'eau de l'étang et son volume d'eau moyen, avant la pêche.
Les quantités de N et P perdues par infiltration ont été estimées en multipliant la concentration moyenne de l'eau de l'étang, par la quantité d'eau infiltrée, obtenue de la différence de l'eau entrée et de l'eau évaporée.
La quantité d'eau évaporée a été obtenue en multipliant la surface d'eau moyenne de l'étang par le taux d'évaporation journalier. Ce taux d'évaporation (0,7%), a été obtenu par la pondération suivant la formule décrite par Brunel et Bouron (1992) ainsi que Durand *et al.* (1999) pour toute le zone sub-sahélienne. Cette valeur est conforme à celles trouvées dans la littérature (Brunel et Bouron, 1992 ; Durand *et al. ;*1999) pour cette région du globe. Elle est aussi en adéquation avec la valeur moyenne calculée à partir des relevés d'un évaporomètre installé sur le site expérimental de la Ferme d'Application et de Recherche de la faculté d'agronomie et des sciences agricoles de l'Université de Dschang, avec la formule suivante, adaptée à la zone agroécologique des hautes terres de l'Ouest (Durand *et al.* (1999) : $Ert = 1{,}664(Ebac)^{0{,}602}$, avec Ebac: évaporation relevée dans un bac ou évaporomètre.

Les épaisseurs de vase ont été mesurées ponctuellement dans le temps (2 à 5 fois selon les étangs) sur trois points de l'axe principal de l'étang (près de l'arrivée d'eau, près de la sortie d'eau et à mi chemin entre les deux) durant la période d'élevage. Le volume total de vase a été calculé en multipliant la surface de l'étang par la profondeur moyenne.
Un échantillon moyen (mélange des 3 points de mesure) est prélevé en début et en fin de cycle. Sur ces échantillons sont mesurés le taux de matière sèche (MS) ainsi que les teneurs en azote totale et en phosphore total (Nt et Pt) par g de MS. Les quantités de Nt et Pt contenues dans les boues ont été obtenues en multipliant leur concentration respective par la masse de vase calculée elle-même d'après la formule décrite par Banas (2001).

Les normes et matériels utilisés lors de l'analyse des eaux sont résumés dans le tableau 3.7.

Comparaison avec la méthode nutritionnelle (bilan de masse)

L'évaluation des rejets en N et P de la pisciculture a été réalisée avec la méthode du bilan nutritionnel (Cho et Kaushik, 1990). Le niveau des rejets étant calculé par la différence entre les quantités d'azote et de phosphore entrées sous forme d'aliments et de fertilisants et la part retenue par le poisson pour son gain de poids (différence entre N et P du poisson sorti de l'étang en fin de cycle et N et P des alevins introduits après la mise en eau de l'étang).
Les résultats de rejets en N et P des étangs, obtenus avec les deux méthodes, ont été comparés pour faire le choix de la méthode à retenir dans l'inventaire de l'ACV.

Tableau 3.7 : Paramètres, méthodes et matériels utilisés lors des analyses des eaux et vases

Paramètres mesurés	Matériels	Normes
pH	ThermopH-mètre WTW315i à microprocesseur équipé d'une électrode en verre gélifiée	NF T 90-0.36 (AFNOR, 1994)
O_2 dissous	Thermo-Oxymètre WTW 330 à microprocesseur équipé d'une électrode	
Conductivité	Thermo-Conductimètre WTW 335 à microprocesseur	
NO_2-	Spectrophotomètre HACH/ DR2500	Nitriver II NF EN 26-777 (AFNOR, 1994)
NO_3-		NitriverIII Spectrophotométrie UV (APHA, 1976)
NH4+		NF T 90-015-2 Nessler (AFNOR, 1994)
PO_4^{-3}		Méthode Aminoacide
Phosphore total (Ptot)	minéralisateur spectrophotomètre HACH/ DR 2500	NF T 90-110(AFNOR, 1994)
Azote total Eau	Dosage de l'azote, partie 1 : Méthode par minéralisation oxydante au peroxodisulfate	NF EN ISO 11905-1, 1998
vases	X Détermination de la teneur totale en azote par combustion sèche (analyse élémentaire)	NF ISO 13878, 1998
Carbone total (vases)	Détermination du carbone organique et du carbone total après combustion sèche (analyse élémentaire).	NF ISO 10694, 1995

3.3.2.3. Calcul des impacts

Toutes les données sont implémentées dans des tableurs (Excel) et retranscrites dans les fichiers projets (pour chacun des cycles de production). Les niveaux des indicateurs d'impact ont été calculés suivant la méthode CML2 baseline 2000 version 2.03 (Guinée *et al.*, 2002), conçue par l'Université de Leiden (Pays Bas). Cette méthode décrit chaque catégorie d'impact et propose pour chacune d'elle les facteurs de caractérisation, permettant de calculer le niveau des impacts à partir des éléments recueillis dans l'inventaire du cycle de vie. Dans notre étude cette méthode est utilisée pour le calcul des catégories d'impact suivantes: eutrophisation, acidification, changement climatique, utilisation de surface. Elle a été adaptée aux productions aquacoles du berceau (production des intrants) à la sortie de la ferme (Aubin et van der Werf, 2009), en utilisant l'allocation économique. L'allocation est aussi appliquée aux émissions dues à la production de la fumure animale (5-15% des émissions) qui ont une valeur commerciale dans ces régions.

L'unité fonctionnelle utilisée est la tonne de poisson produit toutes espèces confondues (gain de poids durant le cycle d'élevage). Les données secondaires utilisées ont été issues de la base de données électronique d'Ecoinvent® database; cependant, des efforts pour leur adaptation au contexte local ont été opérés en notamment :

- définissant le mix énergétique, proportion des différentes sources de l'énergie électrique, du Cameroun (Ngninkam et Tolale, 2009). Dans ce pays il s'agit essentiellement de l'hydroélectricité,
- proposant des inventaires spécifiques pour les productions végétales et animales (porcs et volailles).

Les calculs d'impact ont été réalisés grâce à l'outil informatique d'analyse environnementale SimaPro® 7 (PRé Consultants, Netherlands).
Les catégories d'impact potentiel considérées ont été : l'eutrophisation (kg-équivalents PO_4), le changement climatique (kg-éq CO_2), l'acidification (kg-éq SO_2), l'utilisation d'énergie non renouvelable (MJ), l'utilisation de la production primaire nette (kg C), la dépendance à l'eau (m^3), l'utilisation de surface (m^2a) et le travail humain (h.j).

3.4. Résultats

3.4.1 Comparaison des méthodes de calcul des rejets

La comparaison des deux méthodes de calcul des rejets en azote et phosphore est présentée dans les tableaux 3.8 et 3.9.

On observe une grande variabilité des valeurs de N et P pour chaque compartiment entre les différents cycles de production étudiés. On remarque une relative homogénéité par groupe de cycles de production de même niveau d'intensification. Néanmoins, il existe de fortes disparités dans les niveaux des apports (aliment et amendements) et dans les stocks de vases, traduisant de fortes variations dans les pratiques. Par exemple, les niveaux de N et P très élevés relevés dans la ferme WCH s'expliquent par la durée de son cycle d'élevage (18 mois) et par la quantité de lisier apportée relativement à la faible quantité de poisson produite à la fin cycle. Dans la méthode hydrologique, de manière générale l'eau et les vases initiales fournissent plus de 80% des nutriments du système, les valeurs « nulles » pour les vases correspondent aux étangs nouvellement construits.

Les rejets évalués par les deux méthodes sont très différents ce qui met en évidence le rôle des stocks de nutriment des vases et les incertitudes liées aux pertes par infiltration et aux émissions de gaz (cas de l'N), particulièrement difficiles à mesurer ou encore à des méthodes de mesures trop peu précises pour les autres compartiments.

Tableau 3.8 : Balance de l'azote (kg) suivant les méthodes « bilan nutritionnel » et « hydrologique » à l'échelle des étangs par type d'exploitation. Les données ne sont pas rapportées à l'unité de surface.

Type d'exploitation	Fermes	Bilan nutritionnel					Méthode hydrologique									
		Entrées		Sorties		Solde : Rejets	Entrées		Sorties					Solde		
		Alevins (a)	Aliment et amendements (b)	Poissons (c)	Taux de fixation 100*(c/a+b)	(a+b)-c	Eau (d)	Vases initiales (e)	Alevins (a)	Aliment et amendements (b)	Poisson (c)	Vases finales (f)	Eau (g)	Taux de fixation 100*(c/a+b+e+d)	(c+f+g)-(a+b+e+d)-	Rejets: (f+g)-(d+e)
semi-intensif (moyenne)	BY1	2,4	3,6	3	50,0	2,9	10,4	15,4	2,4	3,6	3	9,2	9,6	9,43	9,9	-6,9
	BY2	2,0	3,8	3,1	53,4	2,7	10,6	14,2	2,0	3,8	3,1	7,6	12	10,13	8,2	-5,2
	BY3	1,5	3,6	2,4	47,1	2,7	10,9	2,4	1,5	3,6	2,4	4,2	8,3	13,04	5	-0,9
	BY4	1,3	2,0	1,6	48,5	1,6	3,6	17,5	1,3	2,0	1,6	10,6	6,1	6,56	6,5	-4,4
	BYA	0,2	3,1	0,5	15,2	2,7	1,9	31,0	0,2	3,1	0,5	10,5	6,3	1,38	9,7	-16,1
	BYB	0,4	3,6	1,1	27,5	2,9	2,3	32,6	0,4	3,6	1,1	14,6	5,1	2,83	10,5	-15,2
	BYC	0,1	3,1	0,6	18,8	2,6	2,0	2,2	0,1	3,1	0,6	3,3	2	8,11	2	1,1
	BYD	0,4	1,9	0,5	21,7	1,7	1,2	12,2	0,4	1,9	0,5	7,3	1,7	3,18	4,2	-4,4
	BYE	0,1	1,9	0,4	20,0	1,6	1,2	1,6	0,1	1,9	0,4	0,8	2	8,33	1,3	0,0
	WCH	0,1	20,8	1,9	9,1	19,0	17,8	0,0	0,1	20,8	1,9	4,1	12,1	4,91	10,4	-1,6
	ONO	0,3	5,8	4,2	68,9	1,9	17,8	11,9	0,3	5,8	4,2	15,2	2,6	11,73	6,4	-11,9
semi-intensif (petite)	FGN	0,1	13,3	1,6	11,9	11,8	3,3	0,9	0,1	13,3	1,6	4,1	4,9	9,09	4,7	4,8
	KGN	0,3	2,3	1,6	61,5	1,0	2,0	3,6	0,3	2,3	1,6	1,8	2,9	19,51	2,2	-0,9
	TCH	1,4	3,9	2,5	47,2	2,8	4,1	2,2	1,4	3,9	2,5	3,4	3,5	21,55	3,1	0,7
Extensif	ESS1	0,2	0,0	4		-3,8	5,4	0,0	0,2	0,0	4	1,8	4,8		2	1,2
	ESS2	0,3	0,0	3,1		-2,8	3,9	0,0	0,3	0,0	3,1	6,7	0,8		1,4	3,6
	ESS3	0,2	0,0	2		-1,8	0,9	0,0	0,2	0,0	2	5,7	0,2		0,6	5,0
	ESS4	0,2	0,0	1,6		-1,4	0,7	0,0	0,2	0,0	1,6	7,3	0,7		0,5	7,3
	OND	0,1	0,0	2,7		-2,6	2,3	0,0	0,1	0,0	2,7	6,3	2,7		0,7	6,7
	THER	0,1	0,0	1,4		-1,3	9,1	0,0	0,1	0,0	1,4	9,2	8,9		2,5	9,0

Tableau 3.9 : Balance du phosphore (kg) suivant les méthodes « bilan nutritionnel » et « hydrologique » à l'échelle de l'étang par type d'exploitation Les données ne sont pas rapportées à l'unité de surface.

Type d'exploitation	Fermes	Bilan nutritionnel					Méthode hydrologique									
		Entrées		Sorties		Solde : rejets	Entrées		Sorties					Solde:		
		Alevins (a)	Aliment et amendements (b)	Poissons (c)	Taux de fixation 100*(c/a+b)	=(a+b)-c	Eau (d)	Vases initiales (e)	Alevins (a)	Aliment et amendements (b)	Poisson (c)	Vases finales (f)	Eau (g)	Taux de fixation 100*(c/a+b+e+d)	(c+f+g)-(a+b+d+e)	Rejets: (f+g)-(d+e)
semi-intensif (moyenne)	BY1	0,5	1,4	0,6	31,6	1,3	2,6	9,2	0,5	1,4	0,6	2,7	1,7	4,4	8,7	-7,4
	BY2	0,4	1,5	0,6	31,6	1,3	2,7	4,5	0,4	1,5	0,6	3,1	1,7	6,6	3,6	-2,3
	BY3	0,3	1,4	0,5	29,4	1,2	2,7	0,9	0,3	1,4	0,5	1,1	1,2	9,4	2,6	-1,4
	BY4	0,2	0,8	0,3	30,0	0,7	0,9	6,8	0,2	0,8	0,3	4,9	1,6	3,4	1,9	-1,1
	BYA	0,0	1,2	0,1	8,3	1,1	0,2	5,5	0,0	1,2	0,1	5,8	2	1,4	-1,0	2,1
	BYB	0,1	1,4	0,2	13,3	1,3	0,3	7,6	0,1	1,4	0,2	7,6	3	2,1	-1,4	2,7
	BYC	0,0	1,2	0,1	8,3	1,2	0,2	0,8	0,0	1,2	0,1	1,5	0,4	4,5	0,3	0,8
	BYD	0,1	0,7	0,1	12,5	0,7	0,1	4,2	0,1	0,7	0,1	3,3	2,4	2,0	-0,7	1,4
	BYE	0,0	0,7	0,1	14,3	0,7	0,1	0,6	0,0	0,7	0,1	1,1	0,7	7,1	-0,4	1,0
	WCH	0,0	8,2	0,4	4,9	7,8	4,9	0,0	0,0	8,2	0,4	1,5	3,8	3,1	7,5	0,4
	ONO	0,1	2,3	0,8	33,3	1,5	4,9	2,1	0,1	2,3	0,8	1,1	1,7	8,5	5,8	-4,2
semi-intensif (petite)	FGN	0,0	2,4	0,3	12,5	2,1	0,3	0,4	0,0	2,4	0,3	1,1	0,9	9,7	0,8	1,3
	KGN	0,1	0,9	0,3	30,0	0,6	0,3	0,7	0,1	0,9	0,3	0,3	0,4	15,0	0,9	-0,3
	TCH	0,3	1,5	0,5	27,8	1,3	0,5	0,6	0,3	1,5	0,5	0,5	0,7	17,2	1,2	0,1
Extensif	ESS1	<0,10	0,0	0,8		-0,8	1,2	0,0	<0,10	0,0	0,8	2,1	1,1		-2,8	2,0
	ESS2	0,1	0,0	0,6		-0,5	0,8	0,0	0,1	0,0	0,6	0,1	0,8		-0,6	0,1
	ESS3	<0,10	0,0	0,4		-0,4	0,2	0,0	<0,10	0,0	0,4	0	0,2		-0,4	0,0
	ESS4	<0,10	0,0	0,3		-0,3	0,1	0,0	<0,10	0,0	0,3	0,1	0,2		-0,5	0,2
	OND	<0,10	0,0	0,5		-0,5	0,3	0,0	<0,10	0,0	0,5	0,6	0,4		-1,1	0,7
	THER	<0,10	0,0	0,3		-0,3	5,5	0,0	<0,10	0,0	0,3	0,9	5,9		-1,6	1,3

Dans le bilan nutritionnel, les rejets sont importants dans les cycles semi-intensifs et négatifs dans les cycles extensifs pour N et P. Ces rejets négatifs traduisent des utilisations d'éléments issus du fonds des étangs (mise en solution dans l'eau des éléments issus des vases), des apports d'eau du bassin versant (écoulement de surface et sub-surface) et de la nappe phréatique et/ou des apports par décomposition de la végétation ennoyée lors de la mise en eau (cas des nouveaux étangs). Dans la méthode des flux, les rejets deviennent positifs pour les cycles extensifs pour N et P et parfois négatifs pour les semi-intensifs, surtout pour N par la non prise en compte de différentes formes de pertes comme les infiltrations et les émissions gazeuses. L'application de cette méthode peut se trouver limitée du fait de nombreuses incertitudes générées par la quantification des flux au cours de cette phase notamment pour les systèmes extensifs. Ainsi la quantification des volumes d'eau qui traversent les étangs des systèmes extensifs (étangs de barrage ou de nappe) durant le cycle d'élevage, est rendue très difficile en cas d'absence de canal de contournement ou par la présence d'une alimentation diffuse au travers la nappe phréatique. D'autres méthodes sont à mettre au point. Par ailleurs, la forte incertitude sur la quantification des vases, ainsi que sur la mobilité des nutriments qu'elles contiennent, contribuent largement aux difficultés à équilibrer le bilan, comme le montre la différence entre la colonne solde et la colonne rejet des tableaux 3.8 et 3.9.

Quelle que soit la méthode d'évaluation, les quantités de N et P fixées par le poisson semblent diminuer avec le niveau d'intensification. Elles varient en fonction des cycles au sein du même type d'exploitation, et sont supérieures aux quantités apportées par l'eau, dans les systèmes extensifs.

Dans les exploitations de type semi-intensif, les quantités d'azote et de phosphore fixées par rapport aux quantités totales entrées sont comprises entre 9% et plus de 60% pour N, et entre 4% et plus de 30% pour P, selon la méthode du bilan nutritionnel. Ces valeurs sont moindres : 1-22% pour N et 1-17% pour P, selon la méthode hydrologique. Ces quantités fixées n'ont pas été calculées pour les systèmes extensifs, car il s'agit d'étangs de barrage nouvellement construits (moins de 2 ans) caractérisés par la présence de végétation terrestre ennoyée (voir figure 1.2.B) qui est source de nutriments mais qu'il est quasi impossible de quantifier.

Les fixations de matières par le poisson, les plus élevés (22% pour N et 17% pour P), relevées avec la méthode hydrologique ont été observées uniquement dans le type semi-intensif de petite taille (TCH) de polyculture associant Tilapia-silure Africain (*Clarias gariepinus*) avec la carpe commune (*Cyprinus carpio*) comme espèce secondaire. Les plus faibles (1,3% pour N et P) ont été relevées au sein des types semi-intensifs de taille moyenne (BYA) de polyculture de Tilapia monosexe et de carpe commune (*Cyprinus carpio*) avec *Hemichromis fasciatus* en espèce d'accompagnement, probablement à cause de la mauvaise gestion de l'eau du système (vidanges lors des pesées mensuelles). Les meilleures fixations de nutriments au sein de ce dernier groupe, ont été observées dans les cycles BY2 et BY3 de polyculture identique à BYA, et ONO de polyculture de Tilapia bi-sexe avec du *Parachana obscura.* Cependant, il a été observé qu'une part importante de N (10 à 60%) et de P (17 à 80%) reste piégée dans les vases en fin du cycle d'élevage.

Il existe de très grandes variations dans l'évaluation des stocks de N et P apportées par les vases initiales et l'eau dans la méthode hydrologique, ce qui laisse supposer que la précision des données est faible. Bien qu'ayant collecté toutes ces données, il a été décidé de conserver la méthode nutritionnelle (Cho et Kaushik, 1990) pour évaluer les rejets des étangs dans

l'inventaire de l'ACV. Néanmoins, ce choix induit une surestimation de ces rejets compte tenu de la non prise en compte du devenir de N et P dans l'étang.

3.4.2. Résultats de l'analyse ACV

3.4.2.1. Les impacts environnementaux

Les impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit selon les différents cycles résumés dans le tableau 3.10, montrent que de manière générale les impacts environnementaux potentiels augmentent avec le niveau d'intensification du système, sauf pour la surface utilisée et la dépendance à l'eau.

a) L'eutrophisation potentielle (EP)

Les résultats d'eutrophisation potentielle ont été très variables entre les fermes par tonne de poisson produit. L'eutrophisation potentielle a été négative dans tous les cycles de type extensif et comprise entre -29 à -23 kg éq-PO_4. Elle a varié de 30 à plus de 279 kg éq-PO_4 dans les cycles semi intensifs sans différence significative entre les tailles de ferme.

Tableau 3.10 : Impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit par cycle de production, par ferme et par type d'exploitation étudié.

type d'exploitation	fermes	catégories d'impacts environnementaux							
		Eutrophisatio Potentielle kg éq-PO_4^{3-}	ChangementClimatique Potentiel kg éq-CO2	Acidification Potentielle kg éq-SO_2-	Energie Utilisée MJ	Utilisation ProductionPrimaire N ette kgC	Surface Utilisée m²a	Dépendance à l'Eau m^3	Travail H umain h.j
semi-intensif (taille moyenne)	BY1	71	6043	27	26870	98729	779	24248	200
	BY2	74	4797	23	31139	66488	893	35261	159
	BY3	76	5544	27	48674	56561	1413	73244	194
	BY4	76	5447	26	38486	85132	1028	7701	185
	BYA	279	5123	32	104547	24104	2663	89984	678
	BYB	139	3344	20	61861	14370	1620	65888	362
	BYC	206	3746	23	71805	30307	1774	43428	528
	BYD	147	4490	25	73140	17261	1990	99477	414
	BYE	178	3762	23	72129	19264	1853	66156	503
	WCH	278	1258	7	18752	11409	416	14548	446
	ONO	33	307	2	3838	256	98	30252	180
semi-intensif (petite taille)	FGN	265	2039	12	24572	11409	489	11625	217
	KGN	41	2039	4	24572	4398	489	22931	149
	TCH	53	2640	14	31808	256	86	82868	153
Extensif	ES1	-24	367	2	5578	112	13543	13809	512
	ES2	-24	428	2	6353	161	14162	15828	562
	ES3	-24	409	2	5457	1333	6784	12982	295
	ES4	-29	501	3	6692	1635	8320	15921	362
	OND	-23	187	1	2339	154	21866	2124546	123
	THER	-26	179	1	2242	147	35600	1649878	205

b) Le changement climatique potentiel (CCP)

Les résultats de CCP semblent se répartir suivant les trois classes de pisciculture extensive, semi-intensive de petite et moyenne taille et s'élèvent avec le niveau d'intensification du système. Le changement climatique par tonne de poisson a été environ 10 fois plus élevé dans les fermes semi-intensives (3613 kg éq-CO2 en moyenne) que dans les fermes extensives (345 kg éq-CO2 en moyenne). A l'exception des fermes WCH et ONO, le CCP des cycles semi-intensifs des fermes de taille moyenne est supérieur à celui des fermes de petite taille (4700 contre 2239 kg éq-CO2 en moyenne respectivement pour les fermes de moyenne et petite taille).

c) L'Acidification Potentielle (AP)

Les valeurs maximales d'acidification potentielle par tonne de poisson produit sont relevées uniquement dans les fermes semi-intensives de taille moyenne et atteignent 32 kg éq-SO_2. Ces valeurs maximales n'atteignent que 14 kg éq-SO_2 dans les semi-intensives de petite taille et 3 kg éq-SO_2 dans les fermes extensives.

d) L'Utilisation d'Energie totale (EU)

La consommation d'énergie par tonne de poisson produit varie fortement en fonction des cycles et du type d'exploitation. Les valeurs les plus élevées de chaque type ont été de 104 547 ; 31 808 et 6 692 MJ respectivement dans les fermes de type semi-intensif de taille moyenne, semi-intensif de petite taille et extensif.

e) L'Utilisation de la Production Primaire Nette (UPPN)

Comme précédemment, l'utilisation de la production primaire nette par tonne de poisson produit a également varié fortement en fonction des cycles et types d'exploitation.
Elle a été très importante dans les fermes semi-intensives de taille moyenne avec un maximum de 98729 kg C par tonne de poisson, relevée à la ferme BY1. Cette valeur est de 8,6 à 60 fois supérieure à la valeur maximale relevée dans les semi-intensives de petite taille et les extensives respectivement.

f) L'Utilisation des Surfaces (SU)

Elle a été plus élevée et plus variable selon les cycles dans les exploitations de type extensif. Un maximum de 35600 m²a / tonne de poisson a été relevé dans la ferme THER de monoculture de Tilapia monosexe en système extensif en étang de barrage. Comparativement aux autres types d'exploitation, elle est 13 et 72 fois supérieure à la valeur maximale relevée dans les exploitations semi-intensives de moyenne et petite taille respectivement.

g) La Dépendance à l'Eau (DE)

Les volumes d'eau ayant été nécessaires à la production d'une tonne de poisson ont été plus importants dans les fermes extensives OND et THER (respectivement 2 124 546 et 1 649 878 m^3/tonne de poisson) caractérisée par de la monoculture de Tilapia monosexe, avec espèce régulatrice en étang de barrage. Cette valeur maximale est 25 et 23 fois supérieure à celle relevée dans les fermes semi-intensives de petite et de moyenne taille respectivement.

h) Le Travail Humain (TH)

Quel que soit le système étudié, les valeurs de la force de travail humain nécessaire à la production d'une tonne de poisson ont été importantes et varient beaucoup plus en fonction des

cycles que des systèmes. Les valeurs les plus élevées (502 à 677 h.j) ont été relevées uniquement dans les certaines fermes semi-intensives de taille moyenne.

3.4.2.2. Relation entre les impacts environnementaux

Un test de corrélation de Pearson a été appliqué d'une part entre les différentes catégories d'impacts environnementaux potentiels considérés et d'autre part entre les différentes catégories d'impacts environnementaux et quelques caractéristiques d'élevage (tableau 3.11).
Ce tableau met en évidence des corrélations significatives ($p<0,05$) négatives faible à relativement forte pour :
- La quantité de poisson avec EU, EP et, AP,
- La durée du cycle avec CCP, AP, EU, UPPN, et EP
- L'évaporation avec CCP, AP et EU
- La surface avec EP

Et des corrélations positives pour :
- Le lisier avec EP
- La surface de l'étang avec SU et DE
- les volumes d'eau instantané et rejeté, et l'évaporation avec SU et DE.

Tableau 3.11 : Matrice de corrélation entre les catégories d'impact et les caractéristiques fonctionnelles des fermes étudiées. (Coefficient de Pearson significatif à r= 0, 456)

	Eutrophisation Potentielle (EP)	**Changement Climatique Potentiel (CCP)**	**Acidification Potentielle (AP)**	**Energie Utilisée (EU)**	**Utilisation Production Primaire Nette (UPPN)**	**Surface Utilisée (SU)**	**Dépendance à l'Eau (DE)**	**Travail Humain (TH)**
EP	1							
CCP	0,477	1						
AP	0,579	0,971	1					
EU	0,703	0,737	0,846	1				
UPPN	0,176	0,830	0,729	0,289	1			
SU	-0,549	-0,569	-0,545	-0,473	-0,380	1		
DE	-0,342	-0,369	-0,351	-0,312	-0,247	0,806	1	
TH	0,397	0,015	0,173	0,484	-0,222	-0,037	-0,316	1
T (mois)	-0,438	-0,671	-0,666	-0,577	-0,461	0,404	0,013	0,352
S (m^2)	-0,435	-0,421	-0,395	-0,390	-0,221	0,840	0,932	-0,208
he (m)	0,224	0,306	0,306	0,278	0,148	0,046	0,488	-0,477
Ve (m3)	-0,318	-0,288	-0,267	-0,267	-0,154	0,736	0,969	-0,338
VeR (m3)	-0,314	-0,338	-0,326	-0,308	-0,200	0,661	0,955	-0,326
Evapo (m3)	-0,429	-0,494	-0,476	-0,440	-0,309	0,772	0,933	-0,241
Quantité lisier (kg)	0,597	0,052	0,056	0,039	0,058	-0,403	-0,244	0,061
Quantité poissoin	-0,571	-0,319	-0,425	-0,679	0,034	0,111	0,048	-0,398
rdt (t/ha/an)	0,040	0,404	0,225	-0,051	0,451	-0,530	-0,355	-0,649

T = durée d'élevage ; S = superficie de l'étang ; he= hauteur d'eau moyenne de l'étang ; Ve= volume d'eau moyen de l'étang ; VeR= volume d'eau rejeté ; Evapo= volume d'eau évaporé ; , rdt= rendement de production.

3.4.3. Contribution des processus aux différentes catégories d'impact

Le tableau 3.12 et la figure 3.6. présentent par type d'exploitation (semi-intensif de moyenne et petite taille, extensif) les contributions moyennes des processus constitutifs du système, aux impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit, par type d'exploitation.

Le tableau 3.12 et la figure 3.6 mettent en évidence que le processus de production (fonction de production à l'échelle de l'exploitation) est le principal contributeur de l'EP pour les cycles semi intensifs et pour DE dans les cycles extensifs. La fumure est un processus qui contribue de façon importante aux impacts CCP, EU, AP, UPPN et SU dans les systèmes semi intensifs. Les alevins influencent de façon importante les impacts CCP, AP, EU, UPPN et TH dans tous les systèmes. Les infrastructures sont des contributeurs importants de TH et de SU.

3.5. Discussion

3.5.1. Limites du travail

L'ACV s'est révélée être une méthode adaptée à l'analyse de ces systèmes de production à faible niveau d'intrant. Il a notamment été possible d'estimer des contributions relatives des intrants et des processus aux différents impacts environnementaux.

Néanmoins, la méthode a été lourde à mettre en œuvre notamment par un manque de données, et nécessiterait des adaptations des bases de données existantes au contexte socio-économique de l'Afrique. Malgré les efforts déployés durant cette étude, les évaluations de certaines émissions restent insuffisantes. Il s'agit principalement des émissions de nutriments dans le milieu aquatique et qui vont déterminer le niveau de l'Eutrophisation potentielle (voir ci-après) et des émissions gazeuses des étangs (CH_4 et dérivés azotés), qui, s'ils ont pu être mis en évidence, n'ont pu être mesurés dans le cadre de ce travail. Ce dernier point va induire une sous-estimation notable de l'impact potentiel sur le changement climatique potentiel de ces systèmes.

Par ailleurs, la comparabilité des résultats entre différentes études reste limitée compte tenu d'un manque de normes internationales, notamment sur les limites du système, les facteurs d'émission, la caractérisation des impacts, et la méthode d'allocation.

La grande différence d'estimation des matières nutritives (N, P) en entrée observée entre les deux méthodes est liée à la prise en compte du stock piégé dans les vases au cours du cycle précédent dans la méthode hydrologique. Cette contribution peut être très importante dans certains cas (80% et plus du total de matière entrée). Ce résultat traduit non seulement des différences réelles, mais aussi de nombreuses incertitudes dans les méthodes de prélèvement et d'analyse de ces différents compartiments (évaluation des épaisseurs de vases, de leur densité, des débits d'eau, et aussi associées aux conservations d'échantillons et analyses chimiques).

Tableau 3.12 : Moyennes par type de ferme (semi-intensif de moyenne et petite taille, extensif) des contributions relatives des processus aux différentes catégories d'impact en kg et (%) par tonne de poisson produit.

Processus	Eutrophisation potentielle (kg éq-PO4)	Changement climatique potentiel (kg éq-CO2)	Acidification potentielle (kg éq-SO2)	Utilisation d'énergie non renouvelable (MJ)	Utilisation de la production primaire Nette (kg C)	Utilisation surface (m^2,a)	Dépendance à l'eau (m^3)	Travail Humain (h.j)
semi-intensif (moyenne)	**141,50**	**3987,39**	**21,23**	**50112,80**	**38534,58**	**1320,51**	**50016,96**	**349,75**
Production	128,35 (90,71)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21643,02 (43,27)	57,08 (16,32)
infrastructures	0,07 (0,05)	80,47 (2,02)	0,29 (1,38)	1355,48 (2,70)	0,00	1,28 (0,10)	5,5 (0,01)	226,78 (64,84)
Fumure	9,19 (6,50)	1580,67 (39,64)	10,62 (50,02)	37852,22 (75,53)	8862,77 (23)	959,88 (72,69)	60,24 (0,12)	7,32 (2,09
Alevins	3,88 (2,74)	2321,24 (58,21)	10,30 (48,50)	10883 (21,72)	29671,82 (77,00)	359,33 (27,21)	28308,14 (56,60)	58,57 (16,75)
Transport	0,01 (0,00)	5,00 (0,13)	0,02 (0,09)	22,10 (0,04)	0,00	0,03 (0,00)	0,02	0,00
semi-intensif (petite)	**119,58**	**2239,60**	**9,50**	**26983,88**	**5354,09**	**354,78**	**39141,43**	**173,08**
Production	112,6 (94,1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9968,82 (25,47)	62,31 (36,00)
infrastructures	0,09 (0,08)	108,2 (4,8)	0,38 (3,96)	1823,12 (6,76)	0,00	1,72 (0,48)	7,12 (0,02)	80,50 (46,51)
Fumure	4,08 (3,4)	1177,48 (52,6)	3,85 (40,50)	15479,60 (57,37)	1457,20 (27,22)	311,73 (87,87)	23,68 (0,06)	9,01 (5,20)
Alevins	2,84 (2,4)	948,69 (42,4)	5,26 (55,41)	9592,81 (35,55)	3896,90 (72,78)	41,18 (11,61)	29141,77 (74,45)	21,26 (12,28)
Transport	0,00	5,2 (0,2)	0,01 (0,14)	88,35 (0,33)	0,00	0,15 (0,04)	0,04	0,00
Extensif	**0,7**	**345,05**	**1,61**	**4615,32**	**590,42**	**16712,49**	**638827,28**	**343,12**
Production	-25,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	632817,84 (99,06)	77,58 (22,61)
infrastructures	0,12 (16,7)	131,88 (38,22)	0,48 (29,85)	2221,48 (48,13)	0,00	16641,53 (99,58)	9,08	261,68 (76,26)
Fumure	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alevins	0,6 (81,8)	203,66 (59,02)	1,09 (68,02)	2393,57 (51,86)	590,42 (100)	70,69 (0,42)	6000,26 (0,94)	3,87 (1,13)
Transport	0,01 (1,5)	9,51 (2,76)	0,03 (2,13)	0,27 (0,01)	0,00	0,27	0,09	0,00

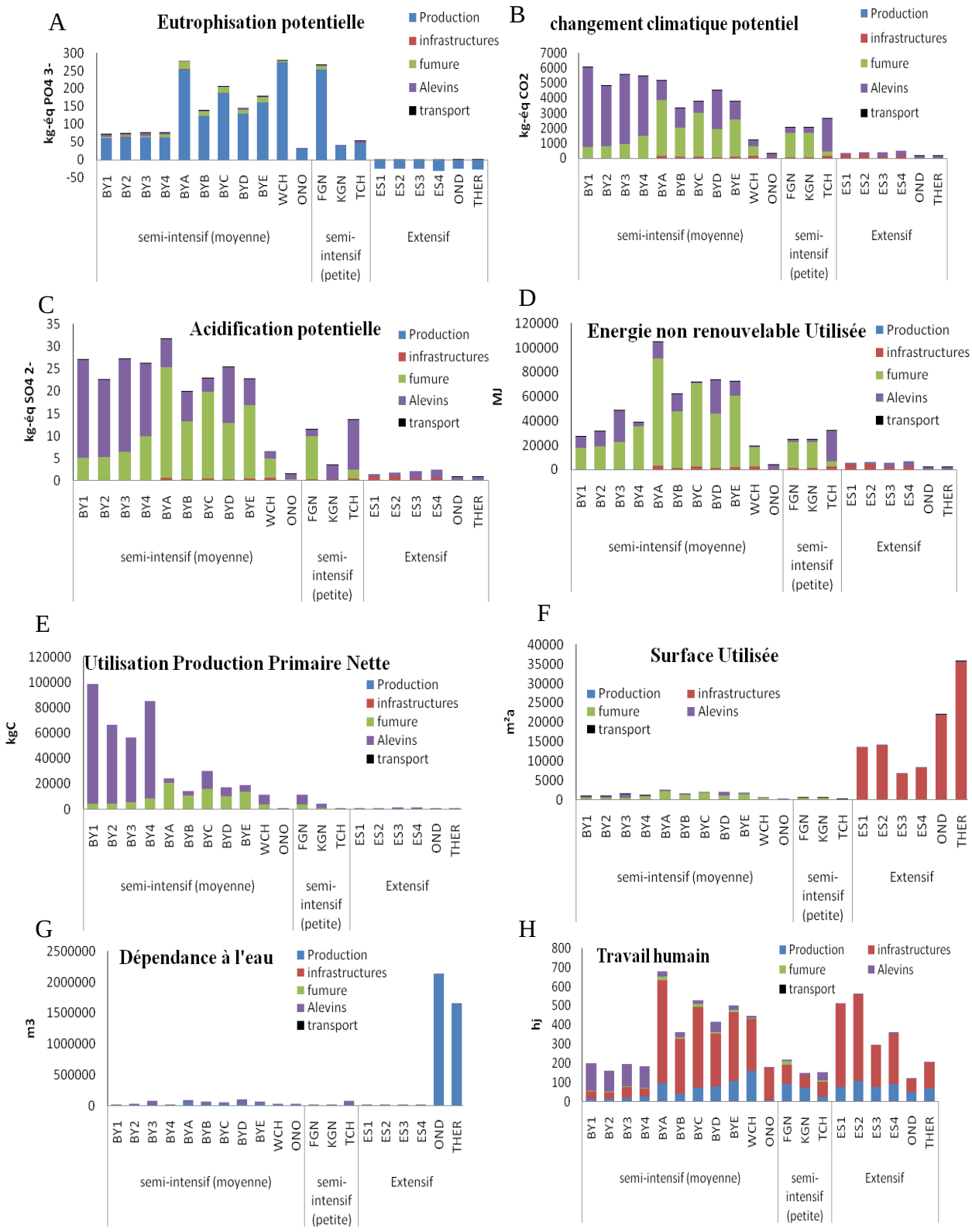


Figure 3.6 : Contributions relatives des différents processus aux impacts environnementaux potentiels par tonne de poisson produit dans les fermes par type d'exploitation : A) Eutrophisation potentielle ; B) changement climatique potentiel ; C) Acidification potentielle ; D) Energie utilisée ; E) utilisation de la production primaire nette ; F) surface utilisée ; G) Dépendance à l'eau ; H) travail humain.

L'usage des données bibliographiques dans la méthode de bilan nutritionnel induit également des incertitudes non négligeables sur la composition corporelle des poissons et le contenu en nutriments de certains intrants ; mais ces incertitudes seraient faibles comparées à celles pouvant être relevées avec la méthode hydrologique.
Suivant ces observations, une amélioration de l'évaluation des rejets sur la base du bilan nutritionnel pourrait consister à prendre en compte l'évolution du volume et la composition des vases entre le début et la fin du cycle ainsi que la part de nutriments émis sous forme gazeuse notamment NH_3 (Gross *et al.,* 2000) et autres gaz (N_2, N_2O, NO, …), pour le calcul de la part rejetée dans l'eau. Néanmoins, les incertitudes très importantes sur les estimations de ces stocks et flux demeurent un frein à l'application de ces approches.

3.5.2. Efficacité des systèmes

La diminution des quantités d'azote et de phosphore fixées avec le niveau d'intensification croissant pourrait s'expliquer par les modes de gestion insuffisamment maitrisés, notamment au travers d'apports trophiques inadaptés et d'une gestion de l'eau (pratiques de renouvellement) inadéquate. Les forts rendements de fixation des nutriments par les poissons observés dans les fermes extensives confirment leur rôle d'épuration du milieu et leur potentielle contribution à la création des richesses, tant sur le plan socio-économique qu'écologique relevé par Mikolasek et Lazard (1999). En effet, la production dans ces systèmes est basée uniquement sur la productivité naturelle (Huet, 1970 ; Kestemont, 1995). Les pratiques courantes sont uniquement basées sur de faibles densités d'empoissonnement, l'entretien de la surface en eau et la limitation de la prolifération des macrophytes (Oswald *et al., 2002 ;* Oswald, 2008 ; Hanquiez et Oswald, *2009*).

Dans la littérature (Boujard *et al*., 2003 ; Aubin *et al*., 2011 ; Verdegem, 2007), les pourcentages de fixation de N et P par les poissons produits en étang sont plus ou moins équivalents selon le mode de calcul : bilan nutritionnel de Cho et Kaushik (1990) ou méthode hydrologique. Nos résultats ne vont pas dans le même sens. En effet, les quantités de nutriments fixées dans les systèmes semi-intensifs sont en moyenne de 31% pour N et 21% pour P par la méthode du bilan nutritionnel alors que ces quantités sont plus faibles quand elles sont calculées par la méthode hydrologique (9,3% pour N et 6,8 % pour P). Compte tenu des stocks importants de nutriments dans les sédiments et parfois apportés par l'eau d'entrée des systèmes étudiés, cette seconde méthode nous semble plus adaptée pour estimer les taux de fixation de N et P par le poisson. Ainsi les gammes de fixation d'azote (1,4 - 21,6%) et de phosphore (1,5 à 17,2%) sont comparables à celles relevées dans des systèmes équivalents en Asie par Verdegem (2007) : (5 - 25%) pour l'azote et (5 - 18%) pour le phosphore. Cependant ces quantités fixées sont plus faibles comparées au 25,7 et 46,8% de N et P obtenus en élevage intensif de Tilapia en étang (Boyd *et al*., 2007).

Les taux de fixation d'azote et de phosphore par les poissons, inférieurs au seuil minimal de 5%, relevés dans certains cycles d'exploitations semi-intensifs de taille moyenne, s'expliqueraient par la modalité de gestion de l'eau durant cycle d'élevage qui a consisté en plus des apports pour la compensation des pertes, en une vidange partielle de près de 70% du volume d'eau à chaque pêche de contrôle mensuel. Cette pratique, en plus du lessivage des nutriments, a réduit le temps de séjour des matières apportées et donc réduit la capacité de fixation des

nutriments. En effet, l'eau constitue dans ces systèmes aquacoles le substrat naturel et le support principal de l'alimentation des poissons et son influence sur le cycle des nutriments dépend de son temps de résidence. Ainsi Bogne Sadeu *et al. (*2008) et Mikolasek *et al.* (2009) ont observé que les rendements de production sont fortement dépendants du taux de renouvellement de l'eau. Dans les fermes semi-intensives de petite taille, utilisant le recyclage des résidus de cuisine et des déjections de porc, on observe un niveau de fixation d'azote et de phosphore plutôt élevé comparativement aux fermes de moyenne taille. Cela est vraisemblablement dû à une meilleure gestion de l'eau dans ces fermes qui ont été les seules à bénéficier de l'appui technique du projet RAP (Recherche-Action–Partenariat) pendant notre étude.

Cependant dans tous les systèmes semi-intensifs étudiés, les taux de fixation restent modestes. Outre les problèmes liés à une mauvaise gestion de l'eau dans certaines fermes, on peut s'interroger sur l'adéquation de l'association d'espèces de poisson, avec le mode d'apport des nutriments et donc sur sa capacité à valoriser les aliments apportés. En effet, des associations d'espèces piscicoles de niches trophiques complémentaires permettraient de réduire l'immobilisation de nutriments dans les vases en limitant les impasses trophiques (Tamassia 2011). En particulier, le Tilapia (*O. niloticus*) bien qu'ayant une alimentation très variée n'est pas suffisamment adapté à une alimentation exclusivement planctonique et montre une aptitude faible à la consommation directe des végétaux. Son association avec le *Clarias* est aussi sujette à caution sur le plan fonctionnel. Cette espèce chargée de limiter la prolifération des juvéniles de Tilapia peut aussi s'avérer être un prédateur pour les Tilapias les plus gros et ainsi diminuer l'efficacité écologique des intrants.

On peut également remarquer la gestion irrationnelle des apports trophiques (principalement le lisier) notamment pour les fermes qui en disposent en grande quantité (cas des fermes WCH et FGN). Un niveau trop élevé des apports entrainerait des disfonctionnements dans l'étang en favorisant les processus de sédimentation des nutriments au détriment de leur assimilation. La formation des sédiments dans les systèmes étang est en effet, liée aux impasses trophiques, et dépend de la quantité d'apport nutritifs et des interactions entre les espèces de poissons (Yakupitiyage *et al.*, 2007).

Les faibles performances de ces systèmes seraient liées de manière globale à leur complexité comparativement aux systèmes intensifs qui reposent principalement sur la qualité de l'aliment comme le relèvent Irz et McKenzie, (2003) au Philippines. Ces auteurs relèvent également que ces systèmes peuvent être améliorées au travers d'un accompagnement à la compréhension de leur fonctionnement le suivi et l'expérience des producteurs ainsi qu'à la fourniture des services (exple : fourniture d'alevins de qualités), (Singh *et al.*, 2009).

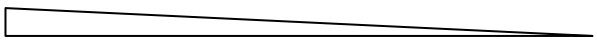
En outre, dans la plupart de ces étangs tropicaux la phase d'assec est très courte et même quasi inexistante. Les pratiques d'assec sont préconisées pour des systèmes équivalents dans certaines localités du Brésil, afin d'éviter le déversement dans les cours d'eau, de matières en suspension et des nutriments pouvant non seulement altérer leur qualité, mais également être vecteur de certaines maladies bactériennes (da Silva, 2009 ; Tamassia, 2011). La pratique d'une vidange partielle (2/3) du volume d'eau de l'étang à la récolte pourrait permettre un recyclage intégral des vases du précédent cycle. Ce recyclage des vases expliquerait dans certains cas, le maintien du niveau de rendement même en cas de très faible niveau d'apport comparativement au cycle précédent.

Ainsi une optimisation de différents facteurs (gestion de l'eau et des apports trophiques, assemblage de poissons, …) impacterait également sur la marge de profitabilité de la ferme piscicole (Jamu et Piedrahita, 2002a et 2002b ; Shouqi *et al.,* 2007).

3.5.3. Impacts environnementaux

Les impacts environnementaux potentiels relevés dans les systèmes semi-intensifs ont été pour la plupart plus élevés comparés à ceux obtenus par Casaca (2008) au Brésil en élevage semi-intensif de polyculture de carpe (carpe herbivore majoritaire) intégrée à une production végétale (tableau 3.13). Excepté l'acidification sensiblement égale, ces niveaux d'impacts ont également été élevés comparativement à ceux relevés en France en élevage intensif de truite en eau libre (Aubin *et al.,* 2009). Il apparait donc que le niveau des impacts n'est pas uniquement dépendant du niveau d'intensification, mais que d'autres phénomènes et pratiques sont en jeu. Ces résultats sont du même ordre que ceux avancés par Pelletier et Tyedmers (2010) pour les élevages de Tilapia en étang en Indonésie : Acidification Potentielle de 45,7 et 47,8 kg éq-SO2 ; Changement Climatique Potentiel de 2100 et 1520 kg éq-CO_2 ; Utilisation de la Production Primaire Nette de 2700 kg C.

Tableau 3.13 : Impacts potentiel par tonne de poisson produit dans les différents types d'exploitation semi-intensif (moyenne et petite taille) et extensif comparé à PV (système semi-intensif de polyculture de poisson intégré à la production végétale au Brésil - Casaca, 2008) et TF (ferme intensive de truite en France - Aubin *et al*., 2009)

Intrant 

catégorie d'impact	**Unité**	**TF**	**semi- intensif (taille moyenne)**	**semi-intensif (petite taille)**	**PV**	**Extensif**
Eutrophisation Potentielle	kg-éqPO_4	66	142 ± 85,4	120 ± 126	23	-25 ± 2
Changement Climatique Potentiel	kg-éqCO_2	2700	3987 ± 1802,7	2240 ± 347	1200	345 ± 133
Acidification Potentielle	kg-éqSO_2-	19	21 ± 9,1	10 ± 5	8	2 ± 1
Energie non renouvelable Utilisée	MJ	78200	50113 ± 29579	26984 ± 4178	11600	4777 ± 1981
Utilisation de la Production Primaire Nette	kgC	62200	38535 ± 32842	5354 ± 5638	2300	590 ± 699
Surface Utilisée	m^2a	2351	1320,5 ± 756	355 ± 233	9480	16713± 10667
Dépendance à l'Eau	m3	52600	50017 ± 30757	39141 ± 38288	6300	638827 ± 978576
Travail Humain	Hj	8	350 ± 178	173 ± 38	236	343 ± 171
rendement de production	t/ha/an	240,6	2,3	5	6,8	0,84

Comme le montre le tableau 3.11, les catégories d'impact changement climatique potentiel, acidification potentielle et utilisation de l'énergie sont particulièrement corrélées entre elles et traduisent l'effet de la mobilisation des intrants dans les cycles de notre étude. Dans les fermes camerounaises plus particulièrement du type semi-intensif de taille moyenne, ces impacts sont principalement liés à l'utilisation massive de déjections animales. De façon indirecte, le niveau de ces impacts s'expliquerait par l'origine lointaine des différents ingrédients alimentaires pour l'alimentation des animaux terrestres (son de blé, farine de poisson…) de même qu'au faible rendement de ces élevages. Les élevages terrestres (en particulier les porcs) constituent plus des épargnes sur pied que de véritables élevages à vocation marchande. Ceci expliquerait leur mauvais rendement et également le niveau élevé de l'utilisation de la production primaire nette associée aux déjections animales.

La corrélation négative de la productivité en poisson avec l'eutrophisation potentielle, l'utilisation d'énergie et l'acidification, exprime le mauvais niveau de fixation des nutriments déjà décrit plus haut, et la mauvaise valorisation des facteurs de production en général ; ce qui est confirmé par le tableau de comparaison avec les systèmes français et brésiliens (tableau 3.13).

La corrélation négative entre la surface des étangs et l'eutrophisation potentielle montre aussi l'effet épurateur des grands étangs extensifs, comparés aux étangs plus intensifs de petite taille.

Dans le tableau 3.13, on peut remarquer la différence de dépendance à l'eau par tonne de poisson, entre les différents systèmes et principalement en comparant les systèmes Camerounais et Brésiliens. Cette dépendance à l'eau montre la mauvaise gestion de l'eau au regard des rendements obtenus au Cameroun. Ces chiffres sont à comparer aux 5000 et 12000 m^3 /tonne observés en Israël dans les polyculture de carpe/Tilapia en système semi-intensif et extensif (Philips *et al.*, 1991). Dans les systèmes semi-intensifs, cette consommation d'eau serait liée aux apports ou vidanges inadaptés. Le niveau de production des fermes semi-intensives de taille moyenne reste très faible comparativement aux rendement de l'ordre de 8 t/ha/an obtenus dans d'autres régions du monde (Kumar et Ayyapan, 1998 ; Edwards, 2004 ; Milstein, 2005 ; Nhan *et al.*, 2007 ; Tamassia, 2011). L'analyse des corrélations (tableau 3.11) montre aussi que la durée d'élevage impacte négativement le système : plus elle est longue, conséquence d'une mauvaise gestion et d'une faible croissance des poissons, plus sont importants les impacts sur l'environnement. Ainsi, des optimisations visant non seulement à améliorer la gestion quotidienne de ses systèmes, mais également à réduire la durée d'élevage réduiraient considérablement le niveau de ces impacts.

La contribution parfois élévée de l'empoissonnement en alevins à certains impacts est liée : (1) aux petites quantités d'alevins transportées à chaque voyage (l'impact rapporté à l'alevin s'en trouve accru) et (2) à l'éloignement des fermes aux écloseries ou aux lieux de leur collecte, (2) De plus, le faible nombre d'écloserie et la quantité peu importante d'alevins produits dans chacune d'entre elles (Efole Ewoukem, 2009) augmentent les impacts rapportés à l'alevin produit (pas d'économie d'échelle comme dans les grosses structures). Ces impacts environnementaux importants justifient la nécessité de construire des écloseries proches des centres de grossissement.

Les niveaux de travail humain relevés dans les systèmes Camerounais ont été sensiblement similaires aux 236 h.j par tonne de poisson obtenus en 2008 au Brésil, dans les systèmes équivalents (Casaca, 2008) ; tous très supérieurs aux 8 hj par tonne, relevés en système intensif de truite en France (Aubin *et al.*, 2009). Ceci serait lié à la quasi absence de mécanisation tant pour les phases de construction des étangs que pour la gestion quotidienne du cycle d'élevage.

3.6. Conclusion

Au terme de notre étude sur l'Analyse environnementale des systèmes de pisciculture en étang intégrée dans les Exploitations Familiales Agricoles (EFA) au Cameroun, il est apparu que l'ACV était bien applicable à l'analyse des systèmes piscicoles, même ceux à faible niveau

d'intrant. Cette méthode nécessite néanmoins, un travail conséquent de collecte et de préparation lors de l'inventaire, lié au manque de données disponibles et spécifique au contexte camerounais. La méthode ACV a pu traduire le niveau d'efficience global du système de production et mettre en évidence ses lacunes. Néanmoins, l'importance des incertitudes liées aux estimations des quantités de vases ainsi que des volumes d'eau dans les systèmes extensifs rendent tout de même imprécise l'évaluation de l'efficacité des nutriments dans ces systèmes.

A l'exception du travail humain sensiblement égal dans tous les systèmes, la dépendance à l'eau et l'utilisation des surfaces pour quelques fermes du type d'exploitation extensif, les impacts environnementaux augmentent avec l'intensification du système et sont élevés comparés à ceux relevés dans d'autres systèmes aquacoles équivalents en raison :

1- des faibles niveaux de productivité de la plupart de ces systèmes (par unité de surface),

2- d'une gestion non maîtrisée de l'eau,

3- d'une gestion non rationnelle des ressources trophiques disponibles,

4- d'associations non appropriées d'espèces en polyculture, pour valoriser ces apports trophiques.

D'autre part l'origine et le coût élevé des ingrédients de l'alimentation des animaux terrestres combiné à leur faible productivité, pénalise le profil environnemental de la fumure animale.

Ainsi, c'est surtout la maîtrise globale du système de production qui est à améliorer. L'accompagnement des pisciculteurs est nécessaire pour leur permettre de mieux valoriser leur outil de production et pour que perdure cette activité qui a le potentiel d'être lucrative et de jouer un rôle important dans la nutrition des habitants en Afrique Sub-saharienne. Il devient nécessaire de trouver des solutions techniques adaptées à chaque contexte. Une marge d'amélioration de ces systèmes existe notamment au travers de l'optimisation des facteurs de production existants. Les ratios entre azote, phosphore et carbone souvent très déséquilibrés limiteraient la productivité de l'étang. A cela pourrait s'ajouter des combinaisons d'espèces qui valoriseraient mal les ressources trophiques disponibles. Ainsi, une amélioration de ces systèmes nécessiterait de tester différentes combinaisons de facteurs de production afin de déterminer celle(s) la(les) plus favorable(s) dans le contexte local.

Ainsi l'exploration et la maîtrise de nouvelles espèces à potentialité aquacole et à régimes alimentaires complémentaires, ainsi que des ressources alimentaires issues des productions agricoles et des rejets domestiques faciliteraient la mise en œuvre de ces techniques.

Une évaluation des options d'amélioration de ces systèmes à travers une expérimentation multifactorielle doit permettre de proposer des modes de production plus durables (chapitre 4).

Chapitre 4 : Optimisation agro-environnementale et économique d'un système semi intensif de pisciculture en étang

Le contexte général de rareté de sous-produits agricoles ainsi que le faible nombre d'espèces de poissons candidates à la polyculture en étangs en Afrique sub-saharienne (Pouomogne et Pemsl, 2008) compliquent l'optimisation des systèmes aquacoles qui reposent essentiellement sur la stimulation de la productivité naturelle de l'étang (Dabbadie *et al.,* 2002). L'association du Tilapia (*Oreochromis niloticus)* et du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus)* dans des étangs fertilisés constitue l'un des systèmes les plus vulgarisés en Afrique subsaharienne et au Cameroun en particulier (Pouomogne, 1998). De très nombreux essais d'optimisation de systèmes semblables ont déjà été menés en testant diverses modalités d'apports de fertilisants (Dabbadie, 2008 ; Milstein, 2005 ; Kumar et Ayyappan, 1998 ; Coche *et al*., 1997 ; Nguenga *et al.,* 1997 ; Green *et al.,* 1990 *in* Egna et Boyd, 1997 ; Molnar *et al.,* 1996 ; Diana *et al.,* 1991), d'apport d'un aliment exogène (Pouomogne, 1993 , 1994 ; Pouomogne *et al.,* 1997 ; Green,1992) et d'association du Tilapia (*Oreochromis niloticus*) avec d'autres espèces (Billard, 1980 ; Tamassia, 2011 ; Middendorp, 1995). Toutefois, ces études ne prennent pas en compte suffisamment la complexité inhérente à ces systèmes biologiques. La majorité d'entre elles testent l'effet d'un seul facteur (toutes choses égales par ailleurs) sur les performances zootechniques des espèces élevées ou sur le rendement global dans le cadre de dispositifs expérimentaux classiques. Le domaine de validité de la réponse dans ce type d'expérience reste étroit d'autant plus que l'effet mesuré dépend du contexte environnemental. Les interactions entre les facteurs sur la production sont rarement testés car cela implique de tester tous les facteurs dans le même plan et donc d'utiliser un nombre très élevé d'unités expérimentales, ce qui est rarement réalisable.

La nécessité d'un examen global des effets simples des facteurs de production de ces écosystèmes ainsi que de leurs interactions a conduit certains auteurs à mobiliser des approches analytiques multivariées au sein d'un même étang pour la détermination des interrelations entre la qualité de l'eau, la source alimentaire, le régime alimentaire et la croissance des poissons en polyculture (Rahman *et al.,* 2008). Cette démarche permet de comprendre le fonctionnement complexe du système étang mais se trouve cependant rapidement limitée par sa capacité prédictive notamment la hiérarchisation des différents facteurs déterminants étudiés. Le grand nombre de facteurs et d'interactions entre facteurs susceptibles de conditionner le fonctionnement du système d'élevage amène aux questions suivantes: (1) Quels sont les facteurs les plus influents? (2) Existe-t-il des interactions entre les facteurs? (3) Peut-on linéariser le processus en fonction de ces facteurs et le modèle ainsi obtenu est-il prédictif ? (4) Comment minimiser le nombre de points de mesure et obtenir le maximum d'informations? (5) Existe-t-il des biais dans les résultats des mesures? Le développement de la méthodologie des plans expérimentaux fractionnaires a permis d'apporter des solutions à certaines de ces questions. Cette approche, basée sur la variation simultanée des différents facteurs permet prioritairement de définir un modèle permettant de prédire la réponse du système à des stimuli caractéristiques maîtrisés (Tinsson, 2010).

L'approche expérimentale factorielle fractionnaire, basée sur le principe du *confunding,* permet de réduire le nombre d'unités expérimentales tout en testant l'effet des facteurs et de leurs principales interactions (Goupy, 1988 ; Dagnelie, 2003). Cette méthode est un outil

d'approche systémique (Gardeur et Brun-Bellut, 2011) dont l'application en élevage en général et en aquaculture en particulier (Wang *et al.,* 2006 ; Gardeur *et al.*,2007) en milieu expérimental fermé a donné des résultats très probants.

Il s'agit dans ce travail d'appliquer cet outil au modèle semi intensif de polyculture en étang associant Tilapia (*Oreochromis niloticus)* et silure africain (*Clarias gariepinus*), «modèle» implicite vulgarisé au Cameroun en milieu expérimental ouvert (petits étangs). Ce modèle est le plus courant rencontré dans toutes les régions à potentialité aquacole au Cameroun, et qui n'a véritablement pas encore fais ses preuves dans ce contexte de faible nombre d'espèces d'aquaculture. L'objectif est de déterminer la (les) combinaison(s) des facteurs qui permettront d'assurer la durabilité économique et agro-environnementale de la production piscicole en étang dans le contexte camerounais. Bien qu'exploratoire dans un premier temps, cette démarche doit permettre à terme, de proposer différents scénarios d'amélioration des systèmes adaptés aux contextes locaux de disponibilité en intrants et en espèces à potentialités aquacoles.

Dans ce travail, deux hypothèses principales sont testées :

1- *La polyculture basée sur un grand nombre d'espèces valorise mieux les intrants et de ce fait limite les flux sortants, sources de pollution;*

2- *Il existe une combinaison d'intrants apportant nutriments et minéraux qui permet d'améliorer la productivité des étangs et plus largement la durabilité du système.*

4.1. Matériel et méthodes

4.1.1. Plan d'expérience

4.1.1.1. Généralités sur les plans multifactoriels fractionnaires (ou incomplets) d'expérimentation

Les principes d'expérimentation sont nés au cours des années 1920, essentiellement dans la recherche agronomique. Les travaux de Ronald Aylmer Fisher prescrivaient alors le respect de trois principes novateurs «*Replication – Randomization - local control*» (Dagnelie, 2008). Appliqués à des systèmes complexes, la démarche expérimentale s'appuyant sur ces principes ne permet de déterminer que la relation entre un seul facteur (dont plusieurs modalités sont testées) et une ou plusieurs réponses. De surcroit, dans ces expérimentations monofactorielles, il est impératif de réaliser des répétitions afin de mesurer la variabilité intra-modalité (Gardeur et Brun-Bellut, 2011).

Cette démarche expérimentale a été progressivement remise en question dans la recherche industrielle et une démarche expérimentale multifactorielle a été mise en place (Goupy, 1988 et 2001). Adaptée à des systèmes complexes, cette dernière permet de prendre en compte simultanément l'effet de plusieurs facteurs et de leurs interactions sur les réponses du système. Les plans d'expérience factoriels constituent donc un outil d'approche systémique adaptés aux systèmes à composantes biologiques (Gardeur et Brun-Bellut, 2011). D'après Dagnelie (2008), dans les expériences factorielles, le nombre de traitements qui résulte de la combinaison des différentes modalités des facteurs augmente très rapidement en fonction du nombre de facteurs d'où une impossibilité de prévoir plusieurs répétitions de l'ensemble des traitements. Cependant, même si on réalise des expériences sans répétition, en plan factoriel

complet où toutes les combinaisons des facteurs sont réalisées, le nombre d'unités expérimentales nécessaires peut parfois être important. Aussi, les expériences factorielles fractionnaires (ou incomplètes) où toutes les combinaisons des modalités des facteurs ne sont pas testées, ont été conçues par l'application du principe du *confounding* (Dagnelie, 2003*)* (souvent sous forme de demi-fraction, de quarts de fraction, etc.). Un exemple de l'utilisation possible de 16 unités expérimentales selon l'approche choisie est donné au tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Différentes façons d'utiliser 16 unités expérimentales selon le plan d'expérience choisi

Type de plan d'expérience	Nombre de facteurs à 2 modalités	Nombre de réplicats de chaque combinaison
Plan monofactoriel complet	2	4
Plan multifactoriel complet	4	1
Plan multifactoriel incomplet (ou fractionnaire), fraction 1/16	8	< 1

Un des avantages majeurs d'un plan fractionnaire est la réduction du nombre d'unités expérimentales utilisées tout en permettant de hiérarchiser l'effet des facteurs et de leurs interactions et ainsi, de faire le tri entre les facteurs influents et ceux qui le sont moins.
Une des conséquences des plans fractionnaires, est qu'on ne dispose pas de nombre de degrés de liberté suffisant pour estimer tous les effets isolement et certains groupés. Il faut alors choisir le type de résolution du plan qui va conditionner les effets ou groupes d'effets aliasés qui seront estimés. Un niveau de résolution IV est très fréquemment utilisé dans une première approche de «débroussaillage» et de hiérarchisation de l'effet des facteurs: il permet d'estimer indépendamment l'effet de chaque modalité de facteur et les interactions de degré 2 en groupe. Cela permet malgré tout de tester un nombre d'effets relativement important avec un nombre d'unités expérimentales limité.

Pour traiter les données, il est alors nécessaire de détecter, dans une 1ère étape, les effets potentiellement influents par d'autres méthodes que l'analyse de variance et notamment par l'utilisation de la procédure graphique de Daniel (Daniel, 1959 in Kobilinsky, 1997) des quantiles ½ normaux. Le graphe de Daniel est un test graphique de normalité de répartition des effets ayant en ordonnée des effets en ordre croissant et en abscisse les quantiles N (0, 1). Le contraste représente la disposition des points par rapport à la droite de normalité. Un facteur simple ou un groupe d'interaction sera dit actif (autrement dit : présentera un contraste actif) lorsque son point s'écarte de la droite de normalité. Concrètement, si tous les facteurs ou interactions de facteurs ou alias (terme correspondant à une interaction dominante qui est alors assimilée à un nouveau facteur) ont des effets nuls, les points du graphique sont alignés sur une droite. Quand il existe des effets non nuls, les points représentant ces derniers se détachent de l'alignement vers le haut et à droite du graphique (Kobilinsky, 1997). Une illustration de cette procédure graphique est donnée dans les figures (4.1.A et 4.1.B).

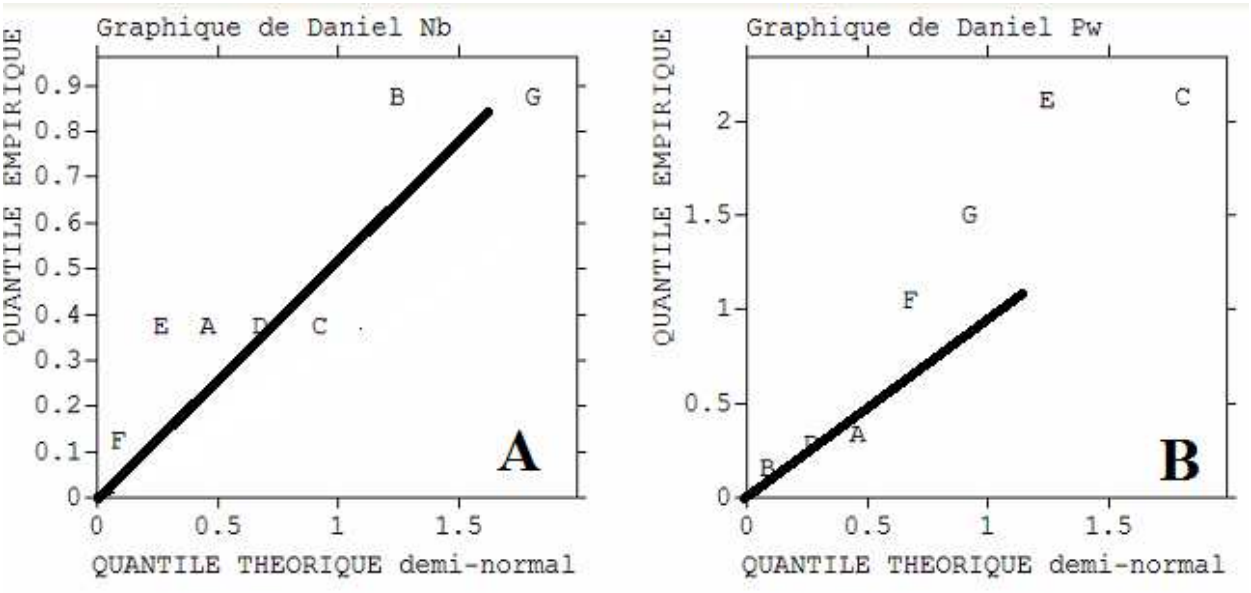


Figure 4.1 : Exemple de graphes de Daniel - A : aucun facteur n'a d'effet significatif - B : Les facteurs représentés par les lettres C, E, G, F qui s'écartent de la droite normale sont potentiellement actifs (Gardeur, com. pers.)

Dans un 2ème temps, les quelques effets potentiellement influents sont testés en analyse de variance avec, comme terme de résiduelle, tous les autres effets non influents.

Cette méthode est très utilisée en industrie à des fins d'optimisation de procédés, de qualité des produits et de minimisation des coûts et de la variabilité; Son application est plus récente dans le domaine agronomique (Cliquet *et al.*, 1994 ; Chen *et al.*, 2006). Elle y a donné des résultats probants, notamment dans l'étude des effets des facteurs qualitatifs et quantitatifs sur la production de la bactérie fixatrice d'azote *Bradyrhizobium japonicum* (Cliquet *et al.*, 1994) et d'un nouveau biomatériau par culture de chondrocytes (Chen *et al.*, 2006). En aquaculture, elle a servi à tester des facteurs de conditionnement dans le cadre des travaux sur la cryoconservation du sperme de la carpe herbivore ou du poisson rouge (Babiak *et al.*, 2000). En testant 8 facteurs environnementaux à deux modalités sur 16 unités expérimentales, Wang *et al.*, (2006) ont pu déterminer les facteurs déterminant de l'induction du cycle de reproduction chez la femelle de la perche tandis que Mairesse *et al.*, (2007) ont étudié l'influence de divers facteurs dont le niveau de domestication de la perche *(Perca fluviatilis)* sur la qualité de sa chair. Gardeur *et al.*, (2007) ont étudié la croissance et la qualité de la chair de la même espèce par approche expérimentale multifactorielle (12 facteurs à 2 modalités sur 24 Unités expérimentales). L'ensemble de ces travaux témoigne de la performance des plans factoriels fractionnaires dans l'analyse des systèmes complexes (formés de nombreux éléments variés en interaction forte), dans l'objectif de l'optimisation d'un système de production.

4.1.1.2 Les facteurs et les modalités retenus dans l'expérience

Le nombre d'unités expérimentales (UE) disponibles pour ce travail était de 16. Aussi, il a été conçu un plan d'expérience pour 8 facteurs (3 relatifs aux assemblages d'espèces et 5 concernant les intrants fertilisants et aliments complémentaires) à deux modalités chacun. Ce nombre de facteurs est le maximum qui puisse être testé au vu des objectifs fixés à savoir la dissociation de l'effet des facteurs simples et de l'effet des interactions d'ordre 2, Ainsi, nous avons suivi un plan 2^{8-4} de résolution IV.

a) Facteurs relatifs aux assemblages d'espèces

Après les mortalités importantes constatées chez *Heterotis niloticus* lors d'essais préliminaires, seules quatre espèces ont été retenues pour l'expérimentation : le Tilapia (*Oreochromis niloticus*) et le *Clarias gariepinus* espèces principales des associations (présente dans toutes les UE); la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et le *Clarias jaensis* (silure) en espèces secondaires.

- <u>Facteur 1</u> : Densité en Tilapia et Clarias (noté densité)

Deux niveaux de densité ont été choisis pour l'association de référence Tilapia (*Oreochromis niloticus*) – Silure (*Clarias gariepinus*) à partir des recommandations de différents auteurs :

- Modalité 1 → densité «forte» notée «base»: Tilapia-Clarias dans le rapport 1,5:0,7 soit au total 2,2 ind/m². Cette densité est souvent appliquée aux systèmes semi-intensifs (Lazard et Oswald, 1995 ; Morissens *et al.*, 1996);
- Modalité 2 → densité «faible», notée «base/2» : Tilapia-Clarias 0,8:0,4 soit au total 1,2 ind/m². Cette densité est préconisée pour des systèmes extensifs (Dabbadie, 1996 ; Glasser et Oswald, 2001)**.**

- <u>Facteurs 2</u> : *Clarias jaensis* (noté silure)

L'association de référence a été complétée ou non par le silure local (*Clarias jaensis*) à une densité de 0,2 ind/m² dans les bassins le recevant.

- <u>Facteur 3</u>: *Cyprinus Carpio* (noté carpe)

L'association de base a été également complétée ou non par la carpe commune (*Cyprinus carpio*) à une densité de 0,2 ind/m² dans les bassins le recevant.

Les deux modalités des facteurs 2 et 3 correspondent donc à un ajout (0,2 ind/m²) ou non respectivement de carpe et de silure local.

b) Facteurs apports en nutriments et éléments minéraux

A partir de l'analyse des données bibliographiques, des intrants disponibles et des pratiques des pisciculteurs locaux, nous avons choisi d'analyser l'effet des 5 intrants suivants: urée, chaux, cendre, remoulage et pain en complémentation alimentaire dans le système ; tous les étangs recevant une même fumure de base (fiente de volaille). La fiente a été épandue à raison de 1500 kg MS/ha (soit 3,75 kg/25 m²) en une fois avant l'empoissonnement (Coche *et al.*, 1997; Green *et al.*, 1990 *in* Egna et Boyd, 1997 ; Molnar *et al*., 1996). Puis un apport supplémentaire d'entretien hebdomadaire de 125 kg de MS /ha (soit 315,2 g /25 m²) a été réalisé dans tous les étangs, 15 jours après la fertilisation de base, selon la méthode préconisée par Coche *et al.*, (1997).

- <u>Facteurs 4 et 5</u>: Apports de carbonates par la chaux et la cendre

Comme pour les facteurs 2 et 3, les modalités de ces deux facteurs sont «apport» ou «non apport» de chaux et/ou cendre. Afin que les étangs qui reçoivent des apports de ces deux amendements restent dans les valeurs recommandées en équivalent $CaCO_3$,

$$\text{Qte cend(kg)} = tauxde\ chaulage\ recommandé/ha(2200\ kg) * \frac{100}{\%CaCO3\ (cend)}$$

(D'après Risse et Gaskin, 2002).

Les modalités «apport» correspondent à la moitié des quantités préconisées pour chacun des amendements s'ils étaient appliqués seuls. Ainsi pour les modalités «apports», les quantités de chaux et de cendre apportées sont respectivement de 1100 kg/ha et 2558 kg/ha (soit 2,75 et 7 kg/25m²). De surcroît, ces quantités ont été appliquées en trois fois dans les structures

expérimentales: 50% à la mise en eau et 25% les deux fois restantes aux cours des deux mois suivants. En effet, avec un apport en une seule fois, il avait été observé des élévations brusques de pH entrainant de fortes mortalités de poissons au cours de l'expérimentation préliminaire.

- Facteur 6: Urée

Pour ce facteur, les deux modalités sont de nouveau avec et sans apport. Dans la modalité «apport», il était prévu initialement une distribution de 48,7 kg/ha/semaine (soit 122g/25m²/semaine) après l'empoissonnement (Diana *et al.*, 1991). Cependant, après l'observation de bloom planctonique juste après le premier apport, cette quantité n'a été introduite dans les bassins concernés que toutes les 3 semaines.

- Facteurs 7 et 8 : Aliments complémentaires de remoulage de blé (noté remoulage) et de déchets de pain (noté pain)

Pour ces deux facteurs les deux modalités sont avec et sans apports. Ces deux apports ayant une composition chimique comparable et leur composition étant proche de celle du son de riz, ils ont été distribués dans les étangs concernés à raison de 10 kg de Matière Sèche/ha/jour (Dabbadie, 1996).

Le tableau 4.2 synthétise des différents facteurs testés ainsi que leurs modalités.

Tableau 4.2 : Facteurs et modalités testés dans le plan factoriel incomplet

Facteurs	Modalité 1	Modalité 2
Facteurs espèces piscicoles		
1 : Densité en Tilapia – Clarias (densité)	base: 1,5 T/m² + 0,7 C.g/m²	base/2: 0,8 T/m² + 0,4 C.g/m²
2 : *Clarias jaensis* (Silure)	0 (non)	0,2 ind/m² (oui)
3 : *Cyprinus carpio* (Carpe)	0 (non)	0,2 ind/m² (oui)
Facteurs intrants		
4 : Chaux (chaux)	0 (non)	1100 kg/ha fractionné pendant le cycle (2,75 kg/25m²) (oui)
5 : Cendre (cendre)	0 (non)	2558 kg/ha fractionné pendant le cycle (7 kg/25m²) (oui)
6 : Urée (urée)	0 (non)	48,7 kg/ha (122 g/25m²) toutes les 3 semaines
7 : Remoulage (remoulage)	0 (non)	10 kg/ha par jour (25 g/25m²) (oui)
8 : Déchets de pain (pain)	0 (non)	10 kg/ha par jour (25 g/25m²) (oui)

4.1.1.3 Le plan d'expérience

La construction du plan d'expérience est faite à l'aide du logiciel Planor (Kobilinsky, 2000 in Gardeur *et al.*, 2007) suivant deux modélisations successives:

- Les facteurs classés selon leur ordre d'importance, à priori, initialisent la procédure. Pour ce travail, les facteurs ont été classés selon l'ordre initial d'importance suivant : Densité D, Carpe Cc, Silure Cj, Déchets de boulangerie DB, Remoulage R, Chaux CH, Cendre CE et enfin Urée U, soit l'ordre des colonnes du tableau 4.3)
- Une modélisation réalisée à partir de la hiérarchisation précédente propose plusieurs solutions de matrices expérimentales.

- La matrice retenue est celle qui présente des groupes d'interactions confondues (dites aliasées) au sein desquels une interaction présupposée importante est associée avec d'autres qui, a priori le sont moins. Dans le cas présent, ont été privilégiés les effets croisés de la densité et des apports alimentaires directs, de la densité et de l'association avec d'autres espèces ainsi que de la densité avec les fertilisants.

Le plan d'expérience (plan 2^{8-4} de résolution IV) obtenu est donné par le tableau 4 3. L'ensemble des combinaisons testées par bassin qui en découle est résumé dans le tableau 4.4.

4.1.2. Moyens mobilisés pour l'expérience

4.1.2.1. Dispositif expérimental

L'expérience s'est déroulée à la plateforme expérimentale en aquaculture de la Ferme d'Application et de Recherche (FAR) de la faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang (FASA-UDs) (5°26.69-71' LN et 10°04.187-315') dans la région Ouest du Cameroun à 1391m d'altitude (voir climat au paragraphe zone d'étude 2.2.1.1. du chapitre 2).

La plate forme expérimentale, conçue et construite pour la réalisation de ce travail de thèse, est constituée de 20 bassins dont 18 bassins expérimentaux identiques de forme carrée (5,7 x 5,7 m), de 1m de profondeur moyenne et de 25m² de surface en eau (figure 4.2). Afin d'annuler toute perte d'eau par infiltration, l'assiette de chacun des 16 bassins utilisés pour l'expérience a été recouverte d'une bâche de 64m² et de 200µm d'épaisseur en polyéthylène neutre de couleur verte (figure 4.3-a) (Celloplast-France). Les deux autres bassins non bâchés servent au stockage des alevins ou des poissons en fin d'expérimentation. Les bassins expérimentaux, numérotés de 1 à 16, sont disposés en deux rangées sur un terrain de pente moyenne de 5 % (figure 4.4. et 4.3-a), l'homogénéité de forme et de plan de disposition étant nécessaire pour éliminer toute forme de biais. L'ensemble de la station est alimenté à partir d'une retenue d'eau située en amont à l'aide des tuyaux en PVC.

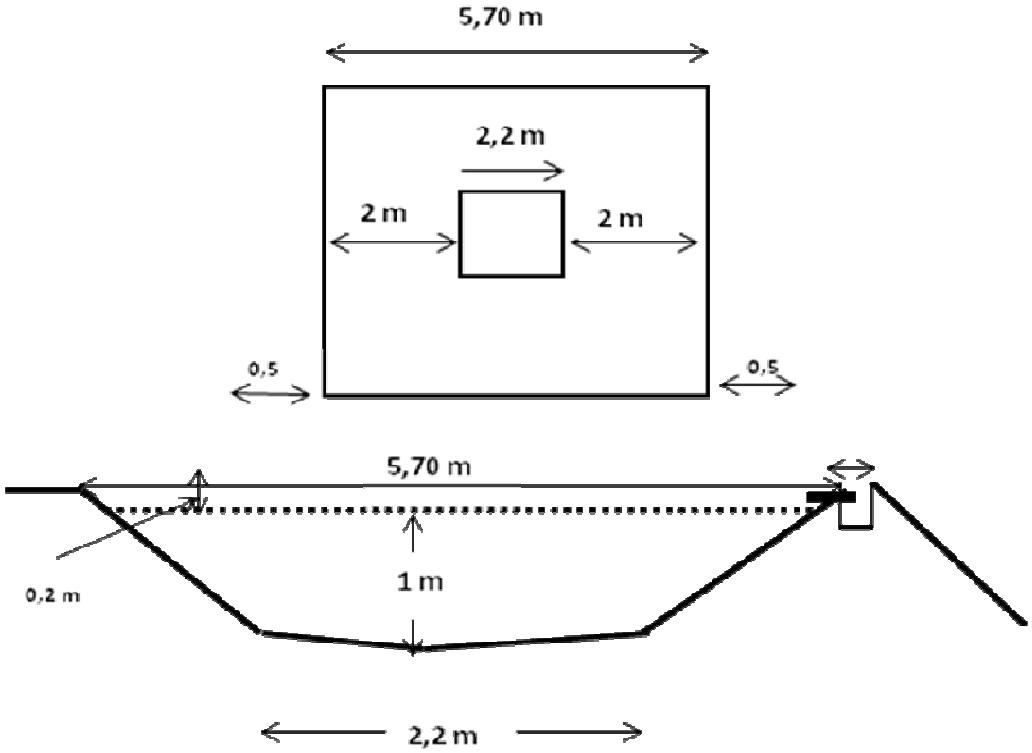


Figure 4.2 : Caractéristiques métriques d'un étang de la structure expérimentale

Tableau 4.3 : Matrice du plan factoriel fractionnaire (2^{8-4}) utilisé au cours de l'expérience

Combinaisons	Densité	Carpe	Silure	pain	remoulage	Chaux	cendre	urée	Etang (tirage aléatoire)
1	Base	oui	Oui	oui	Oui	Oui	oui	oui	3
2	base/2	oui	Oui	oui	Non	Oui	non	non	10
3	Base	non	Oui	oui	Oui	Non	non	non	12
4	base/2	non	Oui	oui	Non	Non	oui	oui	7
5	Base	oui	Non	oui	Non	Non	oui	non	2
6	base/2	oui	Non	oui	Oui	Non	non	oui	9
7	Base	non	Non	oui	Non	Oui	non	oui	14
8	base/2	non	Non	oui	Oui	Oui	oui	non	8
9	Base	oui	Oui	non	Non	Non	non	oui	6
10	base/2	oui	Oui	non	Oui	Non	oui	non	16
11	Base	non	Oui	non	Non	Oui	oui	non	11
12	base/2	non	Oui	non	Oui	Oui	non	oui	15
13	Base	oui	Non	non	Oui	Oui	non	non	5
14	base/2	oui	Non	non	Non	Oui	oui	oui	13
15	Base	non	Non	non	Oui	Non	oui	oui	4
16	base/2	non	Non	non	Non	Non	non	non	1

Tableau 4.4: Combinaisons testées par bassin

N° étang	Détail combinaisons par bassin
1	base/2
2	base + carpe + pain + cendre
3	base + carpe + silure + pain + remoulag e+ chaux + cendre + urée
4	Base + remoulage + cendre + urée
5	Base + carpe + remoulage + chaux
6	Base + carpe + silure + urée
7	base/2 + silure + pain + cendre + urée
8	base/2 + Pain + remoulage + chaux + cendre
9	base/2 + carpe + pain + remoulage + urée
10	base/2 + carpe + silure + pain + chaux
11	Base + silure + chaux + cendre
12	Base + silure + pain + remoulage
13	base/2 + carpe + chaux + cendre + urée
14	Base + pain + chaux + urée
15	base/2 + silure + remoulage + chaux + urée
16	base/2 + carpe + silure + remoulage + cendre



Figure 4.3 : Disposition des bassins expérimentaux en deux rangées (a) et détail d'un bassin (b)

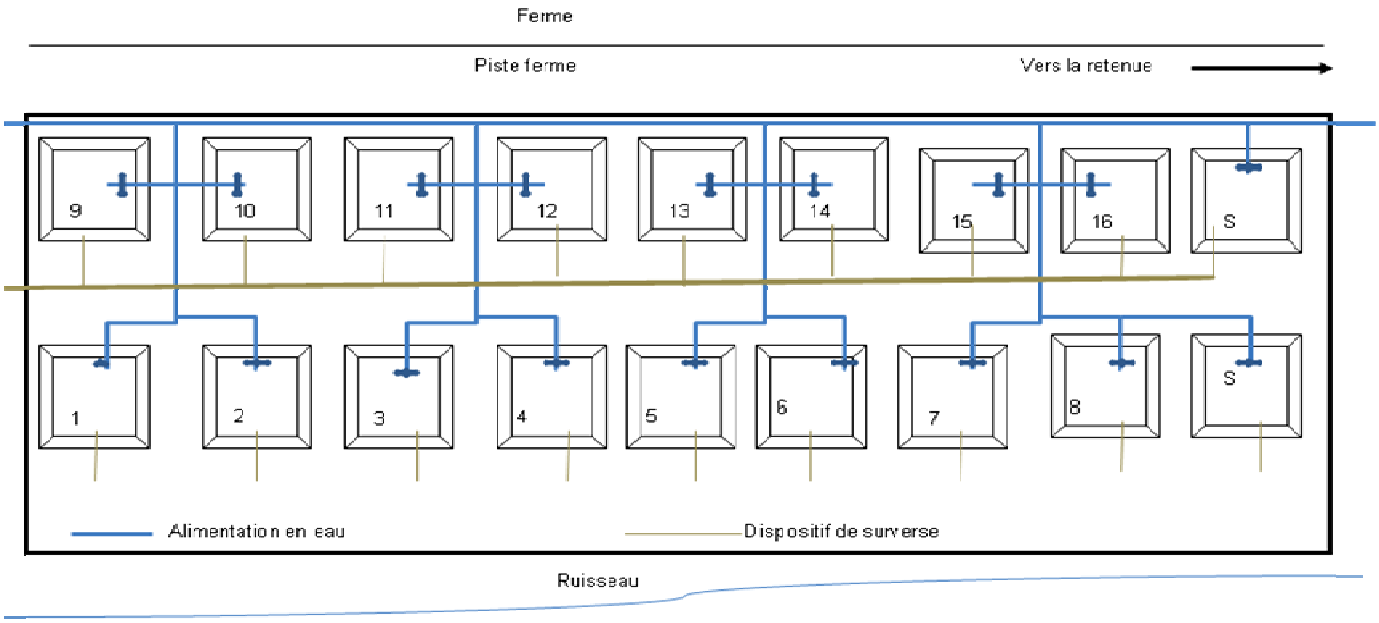


Figure 4.4 : Plan de masse de la plateforme expérimentale de la FAR ; les étangs expérimentaux bâchés sont numérotés de 1 a 16 et les deux autres bassins de stockage sont notés S.

Chaque bâche est posée sur le fond préalablement tapissé d'une couche de deux centimètres de fiente de poule servant de protection contre tout objet solide ou tranchant pouvant déchirer la bâche. Le remplissage du bassin se fait simultanément avec la pose de la bâche. Chaque bassin est rempli indépendamment des autres par dérivation, à l'aide d'un tuyau de 64 mm de diamètre muni d'une vanne permettant de réguler le débit ou de couper l'entrée d'eau. Aucun dispositif de vidange n'est aménagé pour supprimer tout risque de fuite d'eau et dans le souci de rendre le milieu sensiblement homogène au sein de chaque étang. Le niveau d'eau dans les étangs a été ajusté au fur et à mesure de l'expérimentation juste en compensation de l'évaporation.

Cependant un dispositif de surverse (tuyau PVC de 64mm de diamètre) est aménagé au niveau de chaque bassin pour éviter tout débordement incontrôlé après de fortes pluies (figure 4.3-b). L'ensemble du dispositif est recouvert d'un filet maillant (4cm) servant de protection contre les oiseaux piscivores pouvant perturber l'expérimentation mise en œuvre (figure 4.3-a).

4.1.2.2. L'origine des poissons

Les alevins des différentes espèces ont différentes origines :

→ Tilapia (*Oreochromis niloticus*) – noté Tilapia -

Les Tilapias utilisés ont un poids moyen compris entre 14,7 et 19g, sont âgés de 7 mois et n'ont pas été sexés. Ils sont issus d'un lot de 650 poissons provenant de la station de l'IRAD de Koupa Matapit (Foumban) et préalablement stockés dans les bassins S de la plateforme expérimentale.

→ Carpe commune (*Cyprinus carpio*) – notée Carpe-

Les carpillons (3-5g) et âgés de 60 jours proviennent d'une l'écloserie artisanale locale (Diogni, Batié). Ils ont été choisis dans un lot de 200 poissons stockés pendant un mois avec les Tilapias.

→ Silures africains (*Clarias gariepinus et Clarias jaensis*) – notés respectivement Clarias et silure-

Le «Clarias», *Clarias gariepinus*, (18 - 21g) et le silure local, *Clarias jaensis* (10 - 15g) proviennent du milieu naturel. Ces poissons ont été pêchés dans la plaine inondable bordant les rivières Menoua et Nkam dans l'arrondissement de Santchou (5°17' LN, 9°57' LE, altitude

moyenne 753 m, température moyenne 25°C) puis ont été stockés 3 mois avant l'expérimentation dans deux bassins en béton de 1 m^3 de l'écloserie de la ferme d'application et de recherche (FAR) de la Faculté d'agronomie et des sciences agricoles (FASA) de l'Université de Dschang (UDs) et alimentés par un apport quotidien de 40 g de remoulage de blé jusqu'au début de l'expérimentation.

Les prix en Fcfa des alevins de poissons étaient respectivement de 25 pour le Tilapia, 100 pour le *Clarias gariepinus* et le *Clarias jaensis* et enfin 200 pour la carpe. Il faut noter que des prix plus élevés sont souvent pratiqués.

4.1.2.3. Les intrants

Les intrants ont été choisis en fonction de leur disponibilité et des pratiques locales de fertilisation et d'alimentation.

a) La fiente

La préférence de la fiente de poule au lisier de porc couramment utilisé en fertilisation des étangs pour des fermes disposant d'un élevage de porc est liée au problème de conservation de ce dernier. La fiente constitue la ressource non seulement la plus disponible mais également la plus facile à conditionner. La fiente de volaille a été achetée à un jeune éleveur de poules pondeuses de la ville de Dschang à raison de 50 Fcfa/kg. A défaut d'analyse de la composition chimique, nous avons utilisé la composition de la fiente de poules pondeuses décrite par Kumar et Ayappan (1998) en Thaïlande contenant 88% de matières sèches (MS) et 4 - 4 – 1,5% respectivement d'azote, phosphore et de potassium.

b) La chaux

La chaux hydratée de marque LIMBUX, a été achetée au prix de 300 Fcfa/kg auprès de la société ADER-Yaoundé. Ainsi par étang qui en a reçu, la charge financière s'est élevée à 825 Fcfa. Elle est généralement utilisée pour les amendements agricoles. Elle contient 100% de carbonate de calcium ($CaCO_3$).

d) La cendre

Elle a été collectée auprès des ménages du village Mbokou (Santchou). La quantité de cendre nécessaire par étang a été calculée en équivalent chaux, sur la base de la proportion de carbonate de calcium qu'elle contient (40% de $CaCO_3$ - Risse and Gaskin, 2002). Sa valeur monétaire, a été évaluée à 200 Fcfa par quantité totale utilisée dans un étang (7 kg) sur la base du coût de transport global.

e) L'urée

L'urée a été achetée à 375 Fcfa /kg auprès des marchands de produits phytosanitaires de la ville de Dschang ce qui a occasionné une dépense de 229 Fcfa par étang qui en a reçu. Sa composition est : 46 – 0 – 0 % pour l'azote, le phosphore et le potassium respectivement.

f) Le remoulage

Issu de la transformation du blé dans les usines de transformation de la ville de Douala, le remoulage est acheté au prix de 175 Fcfa/kg auprès des provenderies locales. La dépense par

étang pour cet aliment a donc été de 656 Fcfa. Sa composition est : 42% de carbone, 24,5% d'azote et 1,5% de phosphore (Friot, 2002).

g) Les déchets de pain

Les déchets de pain proviennent des boulangeries artisanales locales et sont composés de (www.vo2max.com.fr/diet_aliments/cadre_rds.html) 42,2 % de carbone, 1,65% d'azote et 0,17% de phosphore. Son prix de revient est de l'ordre de 67 Fcfa/ kg ce qui induit une charge par étang en ayant reçu de 251 Fcfa.

Le tableau 4.5 résume les compositions chimiques des intrants utilisés dans l'expérience.

Tableau 4.5: Composition en carbone (C), azote (N), phosphore (P) et potassium (K) en % MS des intrants utilisés dans l'expérience d'après la littérature

Intrants	C	N	P	K	Références bibliographiques
fientes	40	4	4	1,5	Kumar et Ayyappan (1998),
urée	20	46	0	0	
chaux	12	0	0	0	Risse and Gaskin (2002)
cendre	5,04	0	7	12	Risse and Gaskin (2002)
pain	42,2	1,65	0,17	0	www.vo2max.com.fr/diet_aliments/cadre_rds.html
remoulage	42	24,5	1,5	0	Friot (2002)

4.1.3. Mise en place et déroulement de l'expérience

La préparation des étangs a commencé le 22/01/2010. Après le remplissage complet des bassins (70 cm de hauteur d'eau en moyenne au centre de chaque étang), la fiente de volaille a été épandue dans tous les bassins à raison de 1500 kg MS/ha en une fois.

La première partie, soit 50 % des amendements minéraux - chaux (1,25 kg/étang) et cendre (4 kg/étang)- a été apportée dans les bassins devant les recevoir.

La mise en charge des alevins a été réalisée le 13/02/2010. L'expérimentation a duré 4 mois à compter de cette date pour finir le 13/06/2010.

Avant l'empoissonnement, un lot de 100 alevins de chaque espèce a été pesé à l'aide d'une balance électronique de laboratoire Compacte série BJ 160 de 0, 1g de précision.

Les apports trophiques complémentaires, pain (25 g/étang) et remoulage (25g/étang) étaient réalisés chaque jour entre 7h30 et 8h du matin. Les apports d'urée (122 g/étang) ont été réalisés les 8 et 27 /02/10 puis toutes les 3 semaines suivantes, directement dans des petits sacs en toile (chaussettes).

L'apport supplémentaire et hebdomadaire de fiente de volaillle à raison de 312,5 g / étang (125kg/ha) a été réalisé dans tous les étangs, 15j après la fertilisation de base, selon la méthode préconisée par Coche *et al.* (1997).

La qualité de l'eau a été contrôlée avant la mise en charge des poissons puis toutes les 2 semaines.

Aucun contrôle intermédiaire de croissance et de survie des poissons n'a été effectué au cours de l'expérimentation, pour limiter le stress qui induit généralement des retards de croissance voire des mortalités et ainsi entrainer des biais dans les observations finales.

A la fin de l'expérience, tous les poissons ont été comptés, mesurés (longueurs standard et totale) à l'aide d'un ichtyomètre et pesés individuellement à l'aide d'une balance électronique de laboratoire Compacte série BJ 160 de 0, 1g de précision. La masse d'alevins de Tilapia produite a été également évaluée en pesant globalement tous les alevins récoltés dans chacun des étangs.

4.1.4. Suivi des paramètres de la qualité de l'eau

Les paramètres abiotiques (pH, O_2 dissous, conductivité, température, MES, NH_4^+, NO_2^-, PO_4^{3-}, couleur) ont été mesurés, avant la mise en charge des poissons puis toutes les deux semaines, en matinée, entre 7h30 et 9h. Les pH, O_2 dissous, conductivité et la température étaient mesurés directement sur le terrain« *in situ* » tandis que les autres paramètres (MES, NH_4^+, NO_2^-, PO_4^{3-}, couleur) étaient mesurés au laboratoire sur des échantillons conservés en flacons en polyéthylène de 250 cc à double bouchon dans une glacière réfrigérée, une heure après leur prélèvement. Les protocoles, normes et matériels utilisés pour les analyses de suivi de la qualité de l'eau des bassins sont résumés dans le tableau 4.6.

La compensation des pertes en eau dues à l'évaporation était faite par un apport de 1 m^3 par bassin une fois en début de semaine durant les deux premiers mois (saison sèche). Dans les mois suivants (saison de pluie), l'évaporation était réduite et compensée par les pluies. Aucun débordement n'a été observé durant toute l'expérimentation.

Les quantités d'ammoniac NH_3 produites ont été estimées par calcul à partir de celles d'ammonium NH_4^+, du pH et la température T suivant la formule décrite par Rodier *et al*., (2009) :

$$NH_{3\,(mg/l)} = NH_4^+ / (1 + 10^{(10 - pH - 0{,}03\,T)})$$

Tableau 4.6 : Paramètres, matériels et méthodes utilisés pour les analyses physico-chimiques de l'eau des étangs

Paramètres mesurés	Matériels	Méthodes
O_2 dissous	Thermo-Oxy-mètre à microprocesseur WTW 330 équipé d'une électrode	
Conductivité	Thermo-Conductimètre à microprocesseur de marque WTW335	
Transparence	Disque de Secchi	
NH4+	Spectrophotomètre HACH/DR2500	NF T 90-015-2 (Nessler) (AFNOR, 1994)
PO_4^{-3}	Spectrophotomètre HACH/DR2500	Méthode Amino-acide
NO2-	Spectrophotomètre HACH/DR2500	Nitriver II
MES	Spectrophotomètre HACH/DR2500	Absorbance 800nm
Couleur	Spectrophotomètre HACH/DR2500	Absorbance 455nm
pH	Thermo-PH-mètre à microprocesseur équipé d'une électrode en verre gélifiée de marque WTW315i	NF T 90-0.36(AFNOR, 1994)

4.1.5. Traitement des données

4.1.5.1. Calcul des performances d'élevage

a) Les paramètres de croissance pondérale des poissons

→ Poids moyens initiaux par espèce Pmi

Le poids moyen initial Pmi des alevins par espèce a été estimé à partir du poids total des lots de 100 alevins pesés au moment de la mise en charge. Ces poids moyens sont donc identiques pour tous les étangs.

→ Poids moyens finaux par espèce et par étang Pmf

Sur la base de poids individuels en fin d'expérimentation (Pf), il a été possible de calculer par espèce et par étang un poids moyen final (Pmf) et un écartype

→ Coefficient de variation du poids moyen final (CVP)

Pour apprécier l'hétérogénéité de croissance au sein des différents étangs, nous avons calculé le coefficient de variation (CVP) en % des différents Pmf.

$$CVP = (\text{Ecart type} / Pmf) \cdot 100$$

→ Taux de croissance spécifique (TCs)

Le taux de croissance spécifique (TCs) exprimé en % par jour

$$TCs = 100 \cdot (\ln Pmf - \ln Pmi) / D$$

avec : Pmf = Poids moyen final
Pmi = Poids moyen initial
D = Durée de l'élevage en Jours

b) Coefficient de condition (K)

Nous avons retenu le coefficient de condition de Fulton (Nash *et al.*, 2006) pour appréhender l'embonpoint des poissons en fin d'expérimentation. Ce coefficient a été calculé pour chaque poisson individuellement suivant la formule

$$K = 100 \times Pf/Lt^3$$

avec : Pf: poids final du poisson (g)
Lt : longueur totale du poisson (cm)

c) Survie (S)

La survie en pourcentage a été estimée par espèce selon la formule :

$$S\ (\%) = (Nf/Ni)\ 100$$

avec : Ni = nombre de poissons initial (à la mise en charge).
Nf = nombre de poissons en fin d'élevage. N'ont pas été pris en compte les alevins (de Tilapia) qui sont nés en cours d'expérimentation

d) Biomasse produite (ou gain de biomasse GB)

La biomasse produite correspond à la masse de poisson générée par transformation des nutriments en chair de poisson. Elle est calculée par espèce (GBs) et toutes espèces confondues (GB tot). Elle est obtenue par différence entre la biomasse finale et la biomasse initiale.

$$GBs \text{ pour une espèce } s = (Pmf \cdot Nf) - (Pmi \cdot Ni)$$

La biomasse totale est la somme des biomasses des différentes espèces.

GB tot = ΣGBs + biomasse d'alevins de tilapia nés pendant l'expérience

avec: Nf et Ni = nombre de poisson par espèce en fin et en début d'élevage

Pmf et Pmi = poids moyen final (en fin d'élevage) et initial (à la mise en charge) par espèce

e) Rendement net (Rdtn)

Le rendement net (ou productivité) est le gain de masse rapporté à la surface de l'étang (en m²) et à l'unité de temps (en jour)

$$Rdtn = GB / S / D$$

avec: GB = gain de biomasse en g

S = surface de l'étang (m²)

D = durée d'élevage (j)

4.1.5.2. Calcul des paramètres économiques

Les paramètres économiques considérés ont été le revenu brut et la marge brute.

a) Le revenu brut (Rb)

Le revenu brut (en Fcfa) a été calculé sur la base des prix de vente moyens des poissons (pour information : 1 € représente 656 Fcfa.). Les prix utilisés ont été estimés à partir des différents prix de vente de poisson d'aquaculture d'usage dans différentes régions du Cameroun (Brummett *et al.*, 2005 ; Pouomogne et Pemsl, 2008 ; Grosse, 2009):

* Tilapia : 1000 Fcfa /kg
* *Clarias spp (gariepinus et jaensis)* : 1200 Fcfa/kg
* Carpe : 1200 Fcfa/kg.
* Alevins de Tilapia de 15 g : 25 Fcfa/pièce

Le revenu brut des alevins de Tilapia a été estimé sur la basse de leur biomasse totale en fin d'expérimentation quel que soit leur poids moyen individuel et leur nombre par :

(Biomasse d'alevin de Tilapia en g / 15) x25.

Cette méthode de calcul surévalue très vraisemblablement le revenu de cette catégorie de poisson.

b) Les marges relatives (marges brutes)

Les marges relatives sont obtenues par différence entre le revenu brut et les charges en alevins et/ou en intrants (fertilisants, amendements et apports trophiques) hors main d'œuvre.

→ La marge relative totale (notée Mtot)

La marge relative dite totale est obtenue par différence entre le revenu brut et les charges (charges liées à l'achat des alevins notées « *Calev* » et les charges liées aux intrants : fertilisants, amendements et apports trophiques notées « *Cint* ») hors main d'œuvre.

$$Mtot = Rbrut – (Calev + Cint)$$

→ Marge relative sur le coût des alevins (notée Malev)

Afin d'apprécier ce que pourrait être la marge bénéficiaire si les charges liées à l'achat des intrants trophiques n'existaient pas, une marge relative sur le coût des alevins Malev a été

calculée. Comparée à Rb, elle permet d'apprécier le poids de l'achat des alevins dans la diminution de la marge totale :

$$Malev = Rbrut - Calev$$

→ Marge relative sur le coût des fertilisants et aliments (notée Mint)

Sur le même principe que la marge Malev, on calcule ce que pourrait être la marge bénéficiaire si les alevins n'avaient rien coûté.

$$Mint = Rbrut – Cint$$

4.1.5.3. Mesure de l'efficience écologique

L'azote et le phosphore, principaux nutriments rejetés par les pisciculture et pouvant être responsables de l'eutrophisation des cours d'eau ont été retenus pour évaluer l'efficience écologique des différents scénarios. Le niveau de leur émission a été obtenu en réalisant un bilan nutritionnel (bilan de masse) (Cho et Kaushik, 1990) pour l'Azote N et le phosphore P comme pour l'analyse des pisciculture étudiées dans le chapitre 3. Aussi, pour les poissons, nous avons utilisé les teneurs en N total et P total de la littérature et/ou obtenu par nos propres analyses (annexe 3). Pour les intrants les flux de N et P ont été calculés avec les valeurs proposées dans le paragraphe 4.1.2).

4.1.5.4. Analyse statistique des résultats

Les **graphes de Daniels,** permettant de sélectionner les contrastes actifs à savoir les facteurs et/ou combinaisons de facteurs ayant un effet sur les variables zootechniques, économiques ou environnementales testées, ont été construits par le logiciel Analys (Kobilinsky, 2000 *in* Gardeur *et al.,* 2007).

Pour cette étude, trois hypothèses supplémentaires (par rapport à l'approche classique) ont été faites:

- « Les interactions de degré supérieur à 2 sont négligeables tout comme en expérimentation classique » (Gardeur et Brun-Bellut, 2011),
- Lorsqu'un contraste d'interaction est actif, l'interaction de degré 2 qui la compose et qui contient au moins un facteur principal influant est celle que l'on considère comme potentiellement active et dominante dans le groupe,
- Lorsqu'un contraste d'interaction semble actif, mais qu'aucun facteur simple n'est actif, ou bien si plusieurs interactions sont potentiellement actives au sein d'un même contraste, l'interaction considérée comme potentiellement active est choisie empiriquement en confrontant les résultats avec les connaissances actuelles dans le domaine étudié.

Ensuite une analyse de variance ANOVA est réalisée à l'aide du logiciel Analys (Kobilinsky, 2000 in Gardeur *et al.,* 2007), sur les contrastes supposés actifs, avec comme résiduelle les contrastes non actifs. Comme Analys ne propose pas des tests de comparaisons de moyennes, nous avons utilisé pour cela le logiciel R2.11.1, à la suite d'une analyse de variance effectuée avec le même modèle que celui utilisé sous Analys. Le seuil de risque alpha théorique choisi est de 5%.

Tous les modèles statistiques analysés en ANOVA sont répertoriés dans l'annexe 5. A chaque fois qu'un effet principal sera actif mais qu'il interviendra aussi dans une interaction active, seule le graphe relatif à l'interaction sera présenté.

4.2. Résultats

4.2.1 La qualité de l'eau du milieu d'élevage

Les caractéristiques physico-chimiques moyennes pendant la durée de l'expérimentation pour les différents étangs sont données dans le tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes (8 contrôles) de l'eau des bassins durant la période d'élevage du 13/02/2010 au 16/06/2010. Moyennes extrêmes en gras

Combinaisons	Transparence (cm)	PH (UI)	O_2 (mg/l)	Cond (µs/cm)	TEMP (°C)	Couleur (Ptco)	MES (mg/L)	NH_4^+ (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
1	26,8±17,9	7,3±0,3	**2,15±0,9**	382,8±30,7	23,1±1,2	0,30±0,17	0,14±0,12	1,36±,51	0,018±0,01	12,1±3,3
2	34,7±9,7	7,6±0,6	2,3±1,2	302,8±19,4	23,5±1,2	0,22±0,12	0,10±0,09	1,05±0,40	0,016±0,01	7,9±2,4
3	24,5±6,7	**6,8±0,3**	2,7±1,5	193±16,6	23,3±1,2	0,51±0,38	0,24±0,21	1,04±0,38	0,005±0,01	**13,0±4,2**
4	23,4±5,8	7,8±1,2	3,2±3,1	279,6±54,5	22,7±1,0	0,39±0,23	0,16±0,09	0,84±0,23	0,016±0,01	10,5±3,3
5	29,8±8,2	7,7±0,6	3,07±1,0	272,8±36,8	23,3±1,1	0,36±0,20	0,23±0,16	1,16±0,19	0,009±0,01	9,5±3,2
6	**20,8±8,0**	7,5±0,8	3,04±1,9	173,3±16,0	22,8±1,1	**0,80±0,36**	**0,37±0,31**	**3,32±1,88**	**0,004±0,01**	5,6±1,5
7	42,8±9,6	7,4±0,3	2,8±1,0	302,5±25,1	23,5±1,2	0,16±0,09	0,07±0,08	0,77±0,44	0,013±0,01	8,3±1,9
8	28,9±10,5	7,7±0,6	2,4±1,6	**444,3±58,7**	23,2±1,0	0,32±0,15	0,14±0,11	1,59±0,50	0,018±0,01	10,6±4,4
9	24,1±7,8	**8,5±1,1**	3,2±1,9	168,3±12,2	22,8±1,1	0,35±0,19	0,17±0,11	1,37±0,28	0,012±0,02	9,8±2,6
10	31,1±9,2	8,1±1,0	2,7±1,1	344,8±1,1	23,3±1,1	0,23±0,13	0,14±0,09	1,45±0,78	**0,022±0,02**	12,1±3,3
11	**47,3±12,7**	8,6±0,3	**4,2±1,8**	362,1±32,6	23,4±1,2	0,16±0,10	0,08±0,08	0,79±0,60	0,012±0,01	7,8±3,2
12	41,1±5,3	7,5±0,4	2,3±0,9	291,3±27,2	23,4±1,1	**0,14±0,03**	**0,06±0,02**	**0,71±0,60**	0,012±0,01	7,5±4,1
13	31,9±11,7	7,6±0,4	3±1,3	298,1±28,1	23,2±1,2	0,32±0,24	0,18±0,19	1,35±0,50	0,020±0,00	11,7±2,9
14	43,5±10,5	8,3±0,8	2,9±1,6	397±43,8	23,3±1,2	0,14±0,03	**0,06±0,03**	0,74±0,59	0,006±0,01	9,2±3,6
15	32,8±9,4	7,5±0,6	3,7±2,0	277,3±30,8	23,5±1,2	0,22±0,11	0,10±0,06	1,02±0,32	0,007±0,00	11,9±3,4
16	31,5±10	8,07±1,2	3,5±1,3	**157,5±12,6**	23,2±1,2	0,27±0,07	0,12±0,06	0,85±0,26	0,018±0,02	**4,5±2,9**

A la lecture du tableau 4.7, il apparait qu'à l'exception de la température, voire de l'oxygène dissous, toutes les caractéristiques considérées ont varié en fonction des différentes combinaisons. Cependant toutes ces valeurs montrent que les conditions n'ont pas été, sauf exception, létales pour les différentes espèces introduites dans les étangs.

- Les valeurs de pH se sont maintenues dans la gamme 6,5 – 9 considérée comme optimale en pisciculture (Pouomogne, 1994 ; Schlumberger, 2002),
- La conductivité est restée <700µs/cm, dans les normes proposées par Pouomogne (1994) et Schlumberger (2002),
- La concentration en oxygène dissous a été globalement faible, du fait de sa mesure en début de matinée durant toute l'expérimentation; période où sont en général observées les valeurs minimales,

- La concentration moyenne en ammonium la plus élevée (3,32±1,88 mg/l de $NH4^+$) a été obtenue dans la combinaison n°6. Lors d'un contrôle la teneur en NH_4^+ dans cet étang, a même dépassé 6 mg/l, ce qui a pu avoir des conséquences sur la survie des Tilapias dont la limite létale est d'environ 4 mg/l (Pouomogne, 1994). En général dans tous les autres étangs, les concentrations en ammoniac (NH_3, fonction de NH_4^+, de la température et du pH) trouvées, ont été inférieures au seuil de toxicité minimale de 0,2 mg NH_3 /l pour les poissons (Rodier *et al.*, 2009).
- La forte transparence de ces étangs traduit aussi une plus faible activité biologique.

Le tableau 4.8 présente la matrice de corrélation de Pearson des paramètres physico-chimiques étudiés en se basant sur les valeurs de chaque analyse et non sur les moyennes pendant la durée de l'expérience.

Tableau 4.8 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les différents paramètres physico-chimiques de l'eau

	Trans-parence	**pH**	**O_2 Dissous**	**Conduc-tivité**	**Tempé-Rature**	**Coul eur**	**MES**	**NH_4**	**NO_2**	**PO_4**
Transparence	**1**									
pH	0,332	**1**								
O_2 dissous	0,187	0,529*	**1**							
Conductivité	0,465	0,123	-0,289	**1**						
Température	0,722**	-0,166	-0,057	0,354	**1**					
Couleur	-0,796**	-0,350	-0,018	-0,529*	- 0,650**	**1**				
MES	-0,775**	-0,318	-0,003	-0,513*	-0,580*	0,968**	**1**			
NH_4	-0,593*	-0,151	-0,107	-0,245	-0,504*	0,826**	0,816**	**1**		
NO_2	-0,004	0,184	-0,247	0,336	-0,014	-0,362	-0,324	-0,186	**1**	
PO_4	-0,254	-0,313	-0,232	0,346	0,043	-0,060	0,003	-0,148	0,139	**1**

**La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral) ; * La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Ce tableau met en évidence que les fortes teneurs en NH_4+ sont négativement liées aux transparences élevées et positivement liées aux valeurs de concentration en matières en suspension (MES) et à l'intensité de la couleur, ces dernières traduisant une forte activité biologique. Par ailleurs, cette forte activité biologique traduite par des transparences faibles et une intensité de la couleur élevée est reliée négativement à la température..

4.2.2. Performances des différentes combinaisons

4.2.2.1. Performances d'élevage

Le tableau 4.9 résume quelques performances zootechniques des différentes combinaisons expérimentales étudiées.

Tableau 4.9 : Quelques performances zootechniques des différentes combinaisons étudiées

Paramètres	Combinaisons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Espèces																
ni	Tilapia	38	19	38	19	38	19	38	19	38	19	38	19	38	19	38	19
	Clarias	18	9	18	9	18	9	18	9	18	9	18	9	18	9	18	9
	Carpe	5	5			5	5			5	5			5	5		
	Silure	5	5	5	5					5	5	5	5				
Pmi (g)	Tilapia	14,4±4,5	14,7±5,9	12,3±2,7	12,7±3,1	16,2±6,0	14,6±4,1	14,7±5,7	13,0±5,0	14,6±3,7	18,8±5,7	14,7±4,1	15,2±5,4	15,3±5,4	14,4±5,2	14,4±4,5	14,7±5,9
	Clarias	22,3±2,8	20,0±4,3	18,1±3,4	19,9±5,2	20,0±3,4	20,1±2,1	18,2±3,7	19,7±5,6	18,7±2,4	18,3±1,7	18,7±3,8	19,3±3,2	19,7±3,1	19,0±2,3	20,2±2,4	18,9±2,2
	Carpe	4,8±1,2	3,9±0,9			6,2±1,5	3,7±1,2			5,0±1,4	4,0±1,2			4,5±0,5	5,1±2,4		
	Silure	11,9±1,5	12,1±1,6	12,2±1,7	13,3±1,6					11,0±1,4	11,0±0,5	11,2±1,0	11,7±1,0				
Pmf (g)	Tilapia	68,1 ±16,7	89,1 ±21,1	85,0 ±25,6	67,4 ±7,6	72,9 ±21,2	80,7 ±13,3	76,4 ±33,9	78,3 ±16,0	67,1 ±17,5	111,6 ±44,7	58,6 ±9,0	84,9 ±23,2	81,3 ±34,2	94,3 ±36,3	80,2 ±31,9	84,3 ±13,5
	Clarias	113,0 ±15,9	188,5 ±78,9	117,5 ±17,5	184,1 ±45,3	115,0 ±30,7	249,4 ±59,1	128,5 ±37,0	186,3 ±23,3	46,4 ±29,9	103,7 ±18,6	27,0 ±4,3	187,9 ±40,7	62,7 ±17,5	62,9 ±5,4	85,9 ±23,9	106,2 ±11,0
	Carpe	--	--			91,5	--			--	123,7			--	62,8		
	Silure	42,52	39,2	47,8	55,38					28,06	39,4	21,14	50,3				
CVP (%)	Tilapia	24,5	23,6	30,2	11,2	29,1	16,4	44,4	20,4	26,1	40,0	15,4	27,3	42,1	38,5	39,9	16,0
	Clarias	14,1	41,9	14,9	24,6	26,7	23,7	28,8	12,5	64,6	17,9	15,8	21,7	28,0	8,6	27,8	10,3
TCs (%/j)	Tilapia	1,3	1,5	1,6	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,3	1,5	1,1	1,4	1,4	1,6	1,4	1,3
	Clarias	1,4	1,9	1,6	1,9	1,5	2,1	1,6	1,9	0,8	1,4	0,3	1,9	1,0	1,0	1,2	1,4
K (%)	Tilapia	1,70	1,67	1,76	1,62	1,55	1,83	1,75	1,43	1,74	1,89	1,70	1,83	1,72	1,90	1,91	1,75
	Clarias	0,552	0,587	0,594	0,672	0,526	0,646	0,574	0,599	0,557	0,600	0,545	0,621	0,566	0,604	0,605	0,704
Survie (%)	Tilapia	86,8	84,2	78,9	52,6	86,8	63,2	94,7	68,4	73,7	84,2	60,5	100,0	92,1	84,2	86,8	78,9
	Clarias	100,0	100,0	100,0	88,9	94,4	100,0	100,0	77,8	84,2	100,0	66,7	88,9	88,9	100,0	100,0	77,8
	Carpe	0	0			20	0			0	60			0	80		
	Silure	100	100	80	100					100	100	100	100				

ni = nombre d'individus initial (mis en charge) ; Pmi = poids moyen initial ; Pmf : poids moyen final ; CVP : coefficient de variation du poids, TCs : croissance spécifique, K : coefficient de condition ; -- : pas de survie donc pas de calcul possible

Les taux de survie du Tilapia sont compris entre 60,5 et 100% et ceux du *Clarias gariepinus* entre 66,7 et 100%. La survie du *Clarias jaensis* (silure) est très élevée ; 100% sur 7 des 8 combinaisons où l'espèce est présente. Au contraire, le taux de survie de la carpe commune a été nul dans 5 cas sur 8 combinaisons. Seules les combinaisons 10 et 13 présentent un taux de survie important pour cette espèce (respectivement 60% et 80%).

Les poids moyens finaux du Tilapia ont varié respectivement de 58,6 à 111,6g et ceux du *Clarias gariepinus* de 27 à 249,4g. Les plus faibles poids moyens finaux ont été obtenus avec la combinaison **11** (base+silure+chaux+cendre). Les coefficients de variation des poids moyens finaux sont relativement élevés tant chez le Tilapia que chez le Clarias.

4.2.2.2. Performances agro-économiques «globales»

Les performances agro-économiques globales des différentes combinaisons étudiées dans l'expérimentation sont résumées dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10: Quelques performances agro-économiques globales des différentes combinaisons- La définition de toutes ces grandeurs est détaillée dans le texte au paragraphe 4.1.5.-b.

combinaisons	Biomasse alevins Tilapia produite (g)	Gain de biomasse totale GBtot (g)	Rendement net Rdtn (g/m²/j)	Revenu brut Rb (Fcfa)	Marge relative sur le coût des alevins : Malev (Fcfa)	Marge relative sur le cout des fertilisants Mint (Fcfa)	Marge relative totale Mtot (Fcfa)
1	0,0	4495,4	1,2	4944,9	944,9	1968	-2032,0
2	112,4	3429,7	1,0	3883,1	1258,1	1841,4	-783,6
3	0,0	4856,8	1,4	5318,0	2318,0	3585,7	585,7
4	0,0	2423,5	0,7	2773,5	1148,5	1137,2	-487,8
5	116,9	4569,9	1,2	5057,0	1307,0	3640,3	-109,7
6	35,8	3168,3	1,0	3641,0	1266,0	1689,1	-685,9
7	155,4	5218,5	1,6	5784,8	3034,8	3523,6	773,6
8	148,9	2470,9	0,7	2831,0	1456,0	73,7	-1301,3
9	202,4	2916,2	0,7	3218,3	-781,7	2157	-1843,0
10	170,0	3457,1	1,0	3870,7	1245,7	2313,4	-311,6
11	628,1	2404,6	0,6	2909,2	-90,8	1042,5	-1957,5
12	920,4	4099,8	1,2	5026,7	3401,7	3449,9	1824,9
13	55,1	3902,4	1,0	4139,8	389,8	1957,5	-1792,5
14	234,0	2560,1	0,7	2879,6	504,6	793,3	-1581,7
15	61,4	4253,6	1,1	4603,9	1853,9	2827,0	77,0
16	422,6	2430,2	0,7	2860,6	1485,6	2019	644,0

Il ressort du tableau 4.10 que les meilleurs rendements nets de production sont relevés dans les combinaisons les plus intensives **7** (1,6g/m²/j) et 3 (1,4g/m²/j), qui de surcroît dégagent une marge bénéficiaire positive. Toutefois la meilleure marge totale a été obtenue avec la combinaison semi-intensive 12 (base/2 + silure + remoulage + chaux + urée) à rendement

relativement élevé (1,2g/m²/j). Il faut noter que cette combinaison 12 enregistre la plus forte production d'alevins de Tilapia, ce qui a augmenté le revenu brut et donc la marge totale. La combinaison la plus extensive 16 (base/2) à rendement relativement faible (0,7g/m²/j) présente aussi une marge nette positive.

La marge relative totale n'est positive que dans 5 cas sur 16 alors que la marge Malev (marge ne tenant pas compte du coût des intrants) a été positive dans la quasi-totalité des combinaisons, exceptées dans la n° 9 et la n°11. Cette marge négative traduit la faible croissance des poissons et/ou une mortalité non négligeable du Tilapia et la forte mortalité des carpes (combinaison n°9).

Les marges Mint (marge ne tenant pas compte du coût des alevins) ont quant à elles, été positives pour toutes les combinaisons et ont varié de 73 à plus de 3600 Fcfa. Cette différence entre Mtot et Mint met en évidence que le coût des alevins limite fortement la rentabilité des élevages.

4.2.2.3. Performances écologiques

Pour évaluer les performances écologiques des systèmes, nous n'avons considéré que les nutriments N et P apportés par les intrants (alevins, fumures, amendement, aliments) qui ont été transformés en biomasse piscicole selon les modalités explicitée au Chapitre 3 – pararagraphe 3.3.2.2.a). Les performances écologiques en termes de bilan relatif de nutriments (N, P) fixés et « rejetés » par les systèmes des différentes combinaisons étudiées sont résumées par le tableau 4.11.

Il ressort globalement du tableau 4.11 que les quantités de Nt entrant varient dans un rapport de 1 à 4 selon les combinaisons alors que ces quantités ne varient que dans un rapport de 1 à 3 pour le Pt. Les quantités fixées d'azote ont été comprises entre 0,1 et 0,2 kg et celles de phosphore entre 0,03 à 0,05 kg. Les pourcentages fixés tant de Nt que de Pt sont d'autant plus élévés que les quantités entrantes sont faibles. De plus, les fractions fixées par rapport aux fractions rejetées présentent des ratios de 1/2 à 1/15 pour l'azote Nt et de 1/7 à 1/22 pour le phosphore Pt. Ces différents constats mettent en évidence que dans certaines combinaisons les quantités d'Azote et de Phosphore apportées ont été trop importantes par rapport aux besoins du système.

Tableau 4.11 : Bilan relatif d'azote (N) et phosphore (P) fixés et rejetés par les différentes combinaisons étudiées par unité expérimentale de 25m². Entrées = N et P apportés par les intrants ; les alevins ne sont pas pris en compte. Fixées = N et P constituant toute la biomasse GB tot en poisson produite (paragraphe 4.1.5).

Combinaisons	Entrée (Intrants)		Fixée (GBtot)				Rejetée			
	Nt (kg) (a1)	Pt (kg) (a2)	Nt (kg) (b1)	% b1/a1*100	Pt (kg) (b2)	% b2/a2*100	Nt (kg) (a1-b1)	% (a1-b1)/a1*100	Pt (kg) (a2-b2)	% (a2-b2)/a2*100
1	1,70	0,91	0,17	10,16	0,04	4,88	1,53	89,8	0,87	95,1
2	0,49	0,39	0,14	29,56	0,04	9,93	0,34	70,4	0,36	90,1
3	1,31	0,90	0,18	14,10	0,05	5,18	1,12	85,9	0,86	94,8
4	0,76	0,86	0,12	15,42	0,03	3,97	0,64	84,6	0,82	96,0
5	0,50	0,86	0,17	34,94	0,04	5,22	0,32	65,1	0,82	94,8
6	1,58	0,44	0,14	8,76	0,04	8,62	1,44	91,2	0,40	91,4
7	0,78	0,86	0,19	24,68	0,05	5,60	0,58	75,3	0,81	94,4
8	1,58	0,90	0,12	7,44	0,03	3,79	1,46	92,6	0,87	96,2
9	0,74	0,39	0,13	17,31	0,04	9,33	0,61	82,7	0,35	90,7
10	1,26	0,90	0,14	11,27	0,04	4,36	1,12	88,7	0,86	95,6
11	0,46	0,86	0,11	24,60	0,03	3,94	0,35	75,4	0,82	96,1
12	1,54	0,90	0,16	10,41	0,04	4,73	1,38	89,6	0,86	95,3
13	1,38	0,44	0,15	11,13	0,04	9,36	1,22	88,9	0,40	90,6
14	0,73	0,86	0,12	16,18	0,03	4,05	0,61	83,8	0,82	96,0
15	1,65	0,91	0,16	9,93	0,04	4,78	1,49	90,1	0,86	95,2
16	0,44	0,39	0,12	26,08	0,03	8,81	0,33	73,9	0,35	91,2

Nt: Azote total ; Pt: phosphore total

4.2.3 Effet des facteurs sur les performances zootechniques du Tilapia et du Clarias

Il s'agit de mettre en évidence les principaux facteurs du plan d'expérience qui vont influencer les performances zootechniques du Tilapia et du *Clarias gariepinus.*

Tous les graphes de Daniel qui constituent la première phase du traitement des données du plan factoriel, sont regroupés en annexe 6, excepté celui portant sur la variable expliquée « Poids moyen des Tilapia », présenté à la figure 4.5 à titre d'exemple.

Pour toutes les analyses de variance, le Coefficient de Variation de l'Ecart Type Résiduel (CVETR) traduit la part de la variance non expliquée par les facteurs retenus relativement à la moyenne de la variable à expliquer (Annexe 5). Par ailleurs, il est un indicateur de la variabilité entre les combinaisons présentant les mêmes modalités d'un facteur. La qualité des modèles est aussi appréciée par le coefficient de détermination R^2. Pour tous les résultats de ces analyses, le seuil de significativité des différences a été choisi à $p < 0,05$.

4.2.3.1. Influence des facteurs sur les performances zootechnique du Tilapia (<u>Oreochromis niloticus</u>)

a) Poids moyen final

Le graphe de Daniel de la figure 4.5, relatif au poids moyen final du Tilapia, met en évidence les effets significatifs de 2 facteurs simples (A= **densité** et E = **remoulage**) et de 2 interactions (K= **densité * pain** et I = **densité * carpe**).

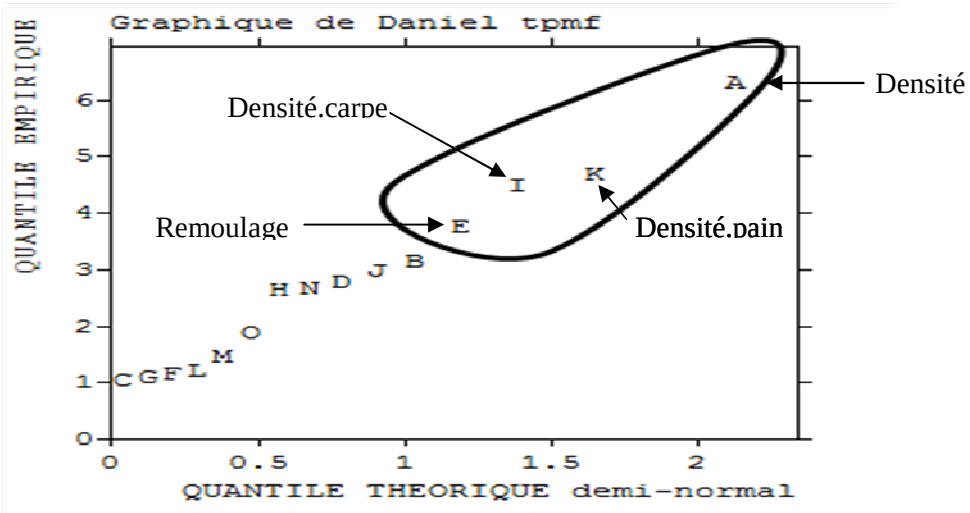


Figure 4.5: Graphe de Daniel permettant de rechercher les facteurs et interactions de facteurs ayant un effet sur le poids moyen final du Tilapia (les lettres A à M sont les sigles représentant les facteurs ou les interactions de facteurs ou les groupements d'interactions de facteur : voir en annexe 6)

L'analyse de variance dont les résultats sont illustrés à la figure 4.6 montre que:

- Un apport de remoulage induit une augmentation du poids moyen final des Tilapias cependant non significative quelle que soit la densité d'élevage (figure 4.6.C)

- Le poids moyen du Tilapia en faible densité d'élevage (base/2) est significativement supérieur à celui en forte densité d'élevage (figure 4.6A et 4.6B). Cependant l'amplitude de l'écart de poids varie selon qu'il y a ou non un apport de pain, ou un ajout de carpe
- Un apport de pain a un effet positif dans le cas de forte densité d'élevage (base) et négatif en faible densité (base/2) (figure 4.6.A)
- Cet écart de poids moyen final a également été relevé avec l'ajout de la carpe surtout en condition de faible densité de Tilapia (figure 4.6.B).

Excepté pour le facteur densité, les écarts entre les poids moyens sont faibles et à la limite de la significativité, ce qui traduirait un faible effet des autres facteurs testés sur le poids moyen des Tilapias

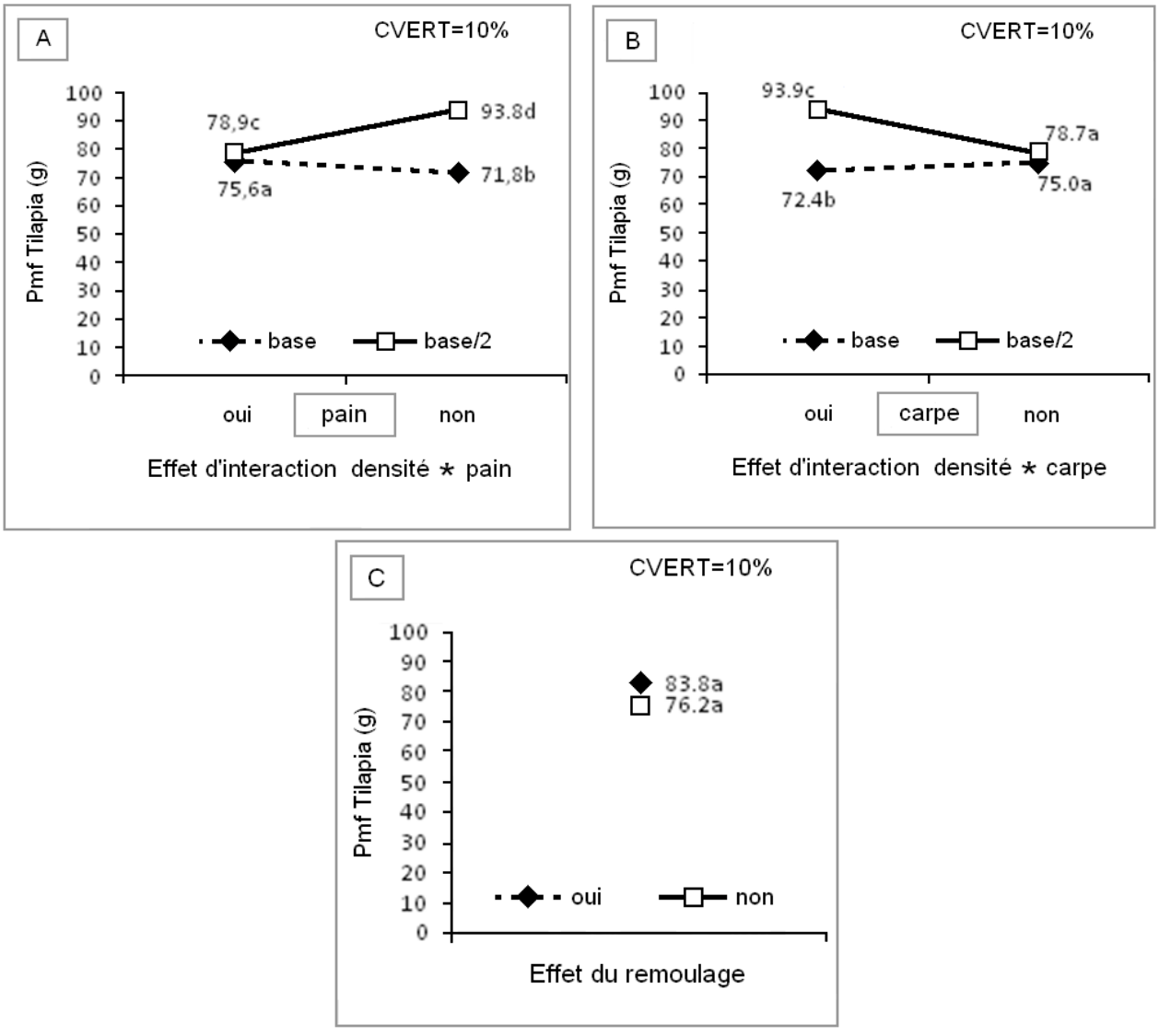


Figure 4.6: Effet des interactions de facteurs densité*pain (A) et densité*carpe (B) et du facteur simple remoulage (C) sur le poids moyen final (Pmf) du Tilapia – les poids moyens ayant le même index (a, b, c ou d) sont significativement semblables

b) Hétérogénéité du poids moyen final (Coefficient de variation CVp)

Le coefficient de variation du poids moyen, est influencé par le facteur simple **densité** et par l'interaction **densité*silure** (figure 4.7). En absence de silure, l'hétérogénéité de poids est

supérieure en forte densité d'élevage (base), comparativement à une faible densité (base/2). En présence de silure, cette différence d'hétérogénéité est moindre. Cependant aucune des différences observées n'est statistiquement significative (CVETR élevé).

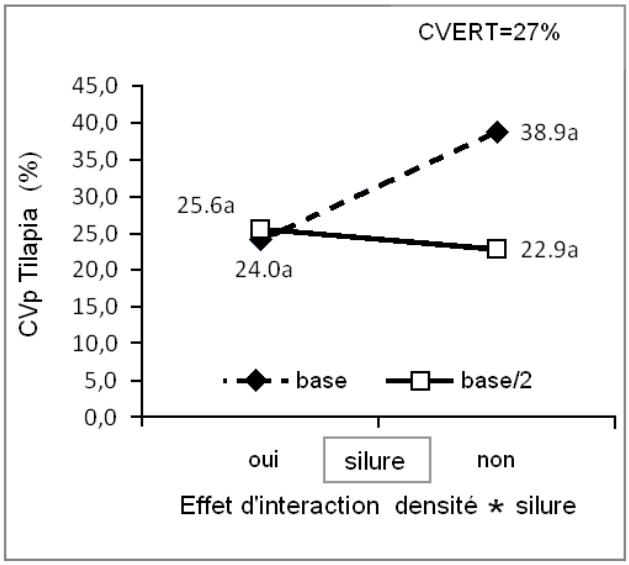


Figure 4.7: Effet de l'interaction densité*Silure sur le coefficient de variation du poids (CVp) du Tilapia – le même index a de tous les CVp traduit le fait qu'ils ne sont pas significativement différents

c) Taux de croissance spécifique

Les figures 4.8.A à 4.8.E résument les effets des interactions de facteurs sur le taux de croissance spécifique du Tilapia. Ces figures montrent que le taux de croissance spécifique des Tilapias serait lié aux facteurs simples **densité, remoulage, pain, cendre**, en effet principal mais aussi (figures 4.8 A à E), aux interactions de facteurs **densité*cendre, cendre*silure, pain*cendre, densité*remoulage, densité*pain)**.

- La cendre a tendance à avoir un effet négatif. Cependant, en interaction avec certains autres facteurs, elle peut avoir un impact positif notamment en faible densité d'élevage (figure 4.8.A) et en l'absence de pain (Figure 4.8.D).
- Une faible densité d'élevage a un effet globalement très positif sur le taux de croissance, quelles que soient les modalités des autres facteurs ayant un effet.
- quelle que soit la densité d'élevage, l'apport de remoulage a un effet positif sur la croissance (figure 4.8. C);
- l'ajout de pain a un effet positif significatif sur la croissance en élevage à forte densité (figure 4.8. E). Cependant son impact est négatif en présence de cendre (figure 4.8. D).

Les combinaisons des modalités les plus favorables au taux de croissance sont **:**

- densité base /2 + cendre
- pas de cendre + silure
- cendre sans pain
- densité de base /2 avec remoulage
- densité de base/2 avec ou sans pain
- densité de base avec remoulage ou pain.

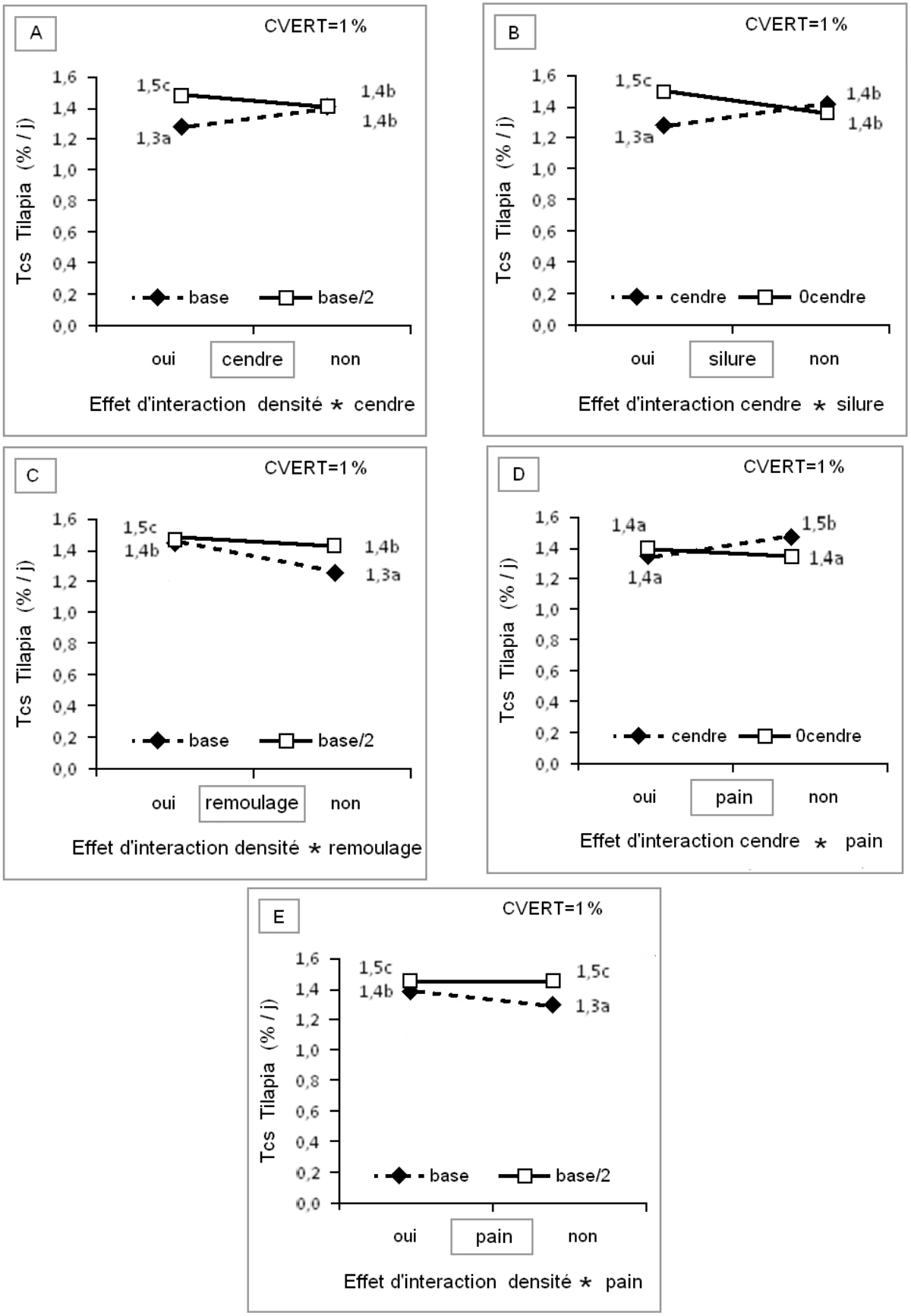


Figure 4.8 : Effet des interactions des combinaisons de facteurs densité*cendre (A), cendre*Silure (B), densité*remoulage (C), cendre*pain (D) et densité*pain (E) sur le taux de croissance spécifique TCs du Tilapia – 0cendre correspond à la modalité sans cendre - les TCs ayant le même index (a, b, c ou d) sont significativement semblables

d) Coefficient de condition K

Les facteurs simples **pain** et **urée** ainsi que les interactions **pain*cendre** et **chaux*urée** ont des effets significatifs (figures 4.9 A et 4.9 B) sur le coefficient de condition K.

- Le pain a une tendance générale positive sur le coefficient de condition. Cependant, ce dernier est significativement inférieur quand le pain et la cendre sont utilisés simultanément, comparativement aux 3 autres croisements de modalités de ces 2 facteurs ($p<0,05$) (figure 4.9.A).
- l'urée a tendance à avoir un effet positif. En effet, un effet négatif est observé quand la chaux est utilisée sans urée ($P<0.05$) (figure 4.9 B)

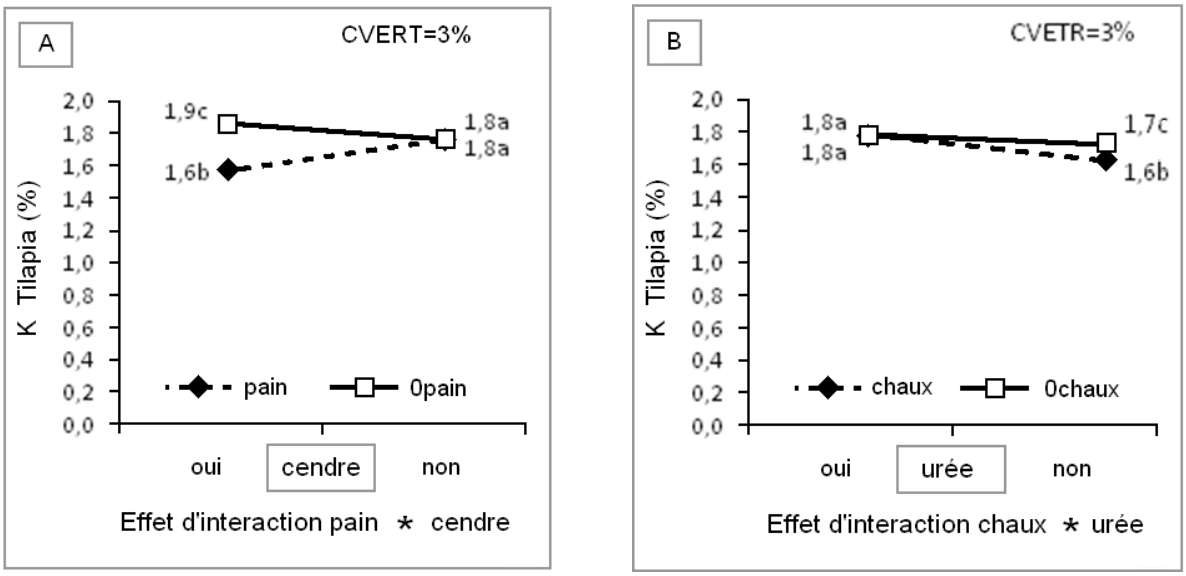


Figure 4.9 : Effet des interactions de facteurs pain*cendre(A) chaux*Urée (B) sur le coefficient de condition K du Tilapia - les coefficients de condition ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables

e) Survie

Deux interactions de facteur **densité*pain** et **chaux*cendre** ont un effet significatif sur la survie du Tilapia (figure 4.10. A et B). L'apport de pain permet d'augmenter la survie des Tilapias quand la densité d'élevage est élevée, par contre il a un effet négatif en faible densité (figure 4.10.A). Par ailleurs, en l'absence de cendre, un apport de chaux augmente significativement la survie. Par contre, quand la chaux est apportée en plus de la cendre, l'impact sur la survie est négatif (figure 4.10.B**).** S'il fallait choisir entre l'un ou l'autre de ces apports pour réguler le pH et apporter des carbonates au milieu, la chaux semble un meilleur amendement que la cendre au regard des taux de survie du Tilapia (respectivement de 93% et 78% pour la chaux et la cendre).

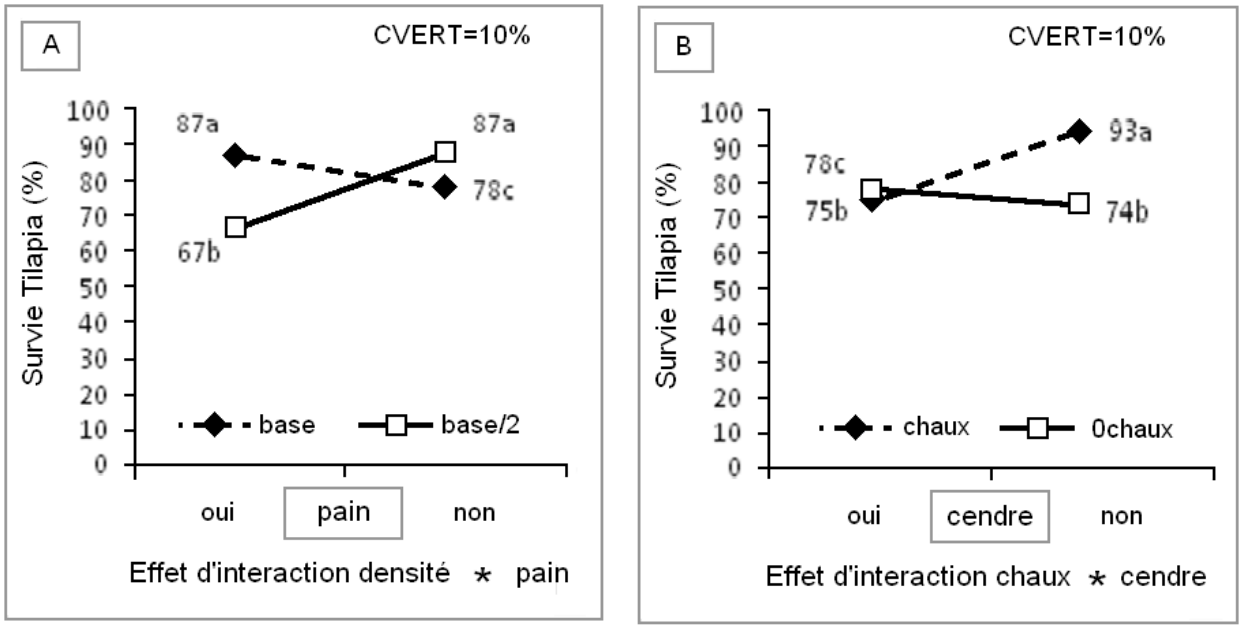


Figure 4.10 : Effet des interactions de facteurs densité*pain (A) et chaux*cendre (B) sur la survie du Tilapia - les taux de survie ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables

4.2.3.2. Influence des facteurs sur les performances zootechnique du Clarias (Clarias gariepinus)

a) Poids moyen final

Seuls deux facteurs simples : **pain** et **densité** influencent significativement le poids des Clarias (fig.4.11 A et 4.11 B). L'apport supplémentaire du pain augmente du simple au double le poids moyen final du *Clarias*. Cette augmentation a été également observée en condition de faible densité des Clarias.

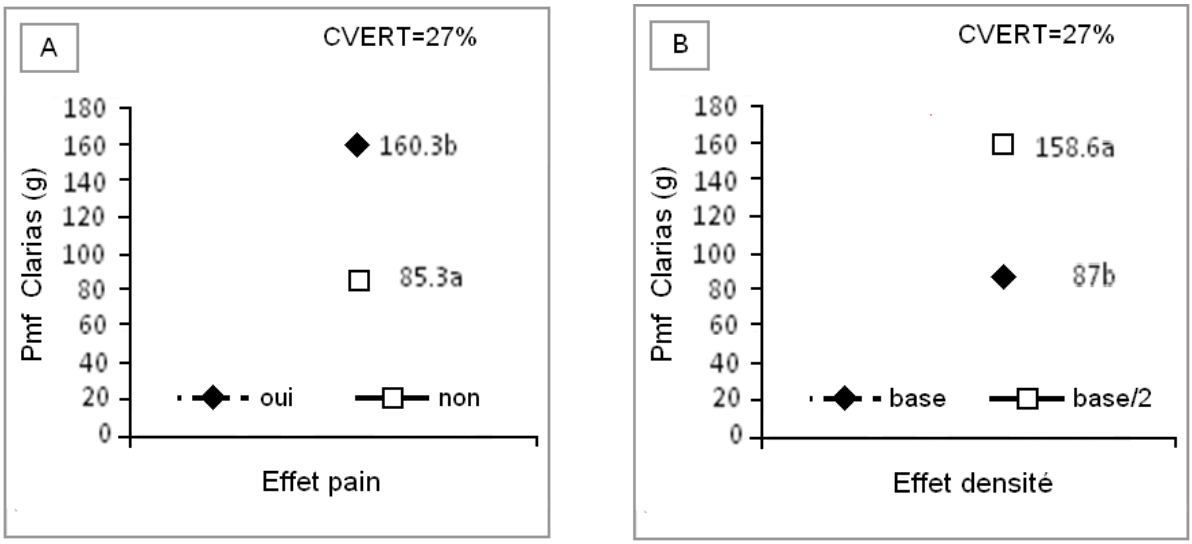


Figure 4.11 : Effet des facteurs simples pain(A) et densité(B) sur le poids moyen final (Pmf) du *Clarias gariepinus* - les poids finaux ayant le même index (a ou b) sont significativement semblables

b) Coefficient de variation du poids moyen final

Les facteurs ayant un effet potentiel sur le coefficient de variation du poids du *Clarias gariepinus* sont **cendre**, **carpe** et **carpe*cendre** (fig. 4.12). L'utilisation de carpes sans cendre augmente l'hétérogénéité du poids des Clarias de façon non significative. Bien qu'apparemment très variables, les différences d'hétérogénéité du poids ne sont pas significatives entre les diverses combinaisons (CVTER : 47%).

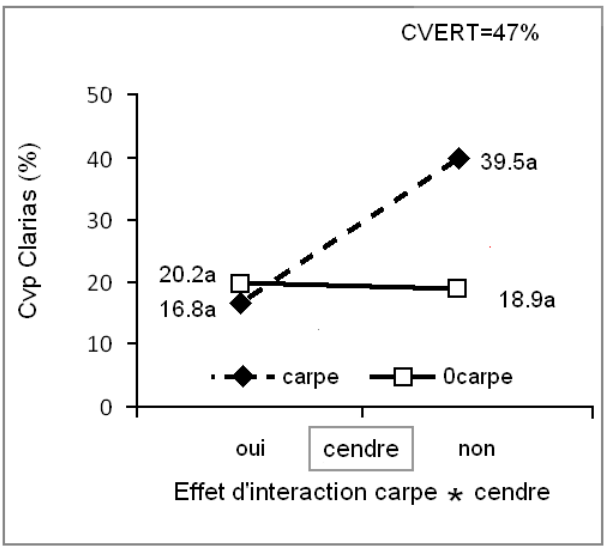


Figure 4.12 : Effet d'interaction carpe*cendre sur le coefficient de variation du poids (CVp) du *Clarias gariepinus* – Tous les CVp sont statistiquement équivalent (même index a)

c) Taux de croissance spécifique

Il ressort des figures 4.13.A et 4.13.B que les apports supplémentaires de **pain** augmentent significativement le taux de croissance spécifique du *Clarias*. Cette augmentation a été également observée en condition de faible **densité** d'élevage (base /2).

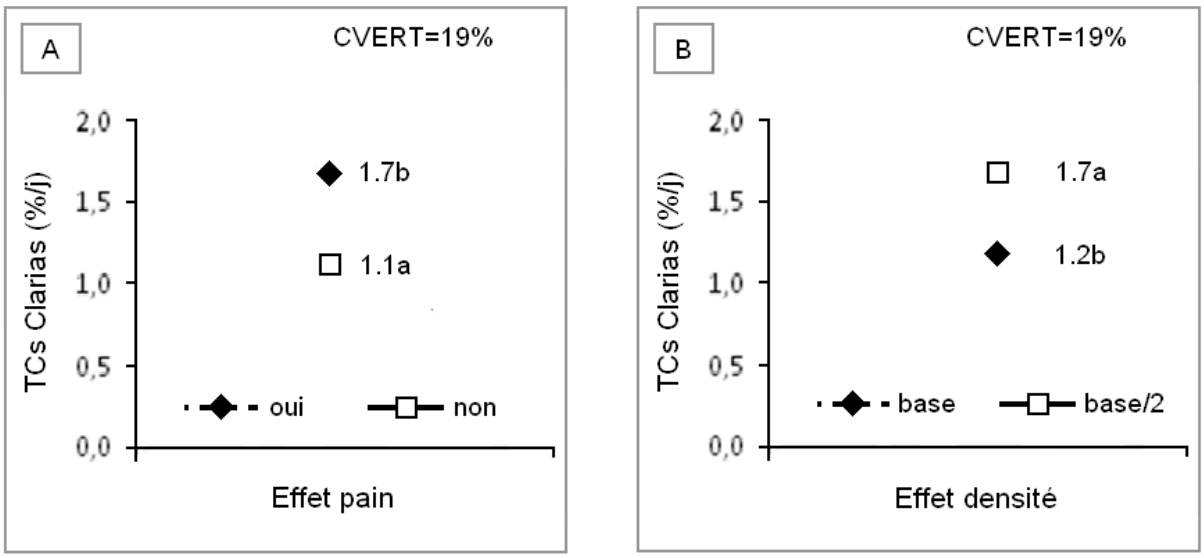


Figure 4.13 : Effets des facteurs simples pain (A) et densité (B) sur le taux de croissance spécifique TCs du *Clarias gariepinus* – Les TCs ayant le même index (a, ou b) sont significativement semblables

d) Coefficient de condition K

Les figures 4.14.A à 4.14.E résument les effets des facteurs simples **cendre**, **silure** et **urée** et des interactions **carpe*chaux** et **densité*chaux** agissant significativement sur le facteur de condition K du Clarias. On remarque, pour les effets simples, que :

- L'apport de cendre ou l'ajout du Silure (*Clarias jaensis*) ont un effet négatif sur l'embonpoint du *Clarias gariepinus* (figure 4.14 C et 4.14 E)
- L'utilisation d'urée a un impact positif sur le coefficient K (figure 4.14 D)

Concernant les effets d'interactions, il est mis en évidence que, en présence de carpe (figure 4.14.A) ou en forte densité d'élevage (figure 4.14 B), la chaux n'a pas d'impact sur le coefficient K du Clarias. Par contre, les absences de carpes ou en faible densité d'élevage, l'absence de chaux se traduit par une augmentation significative du coefficient de condition K du Clarias.

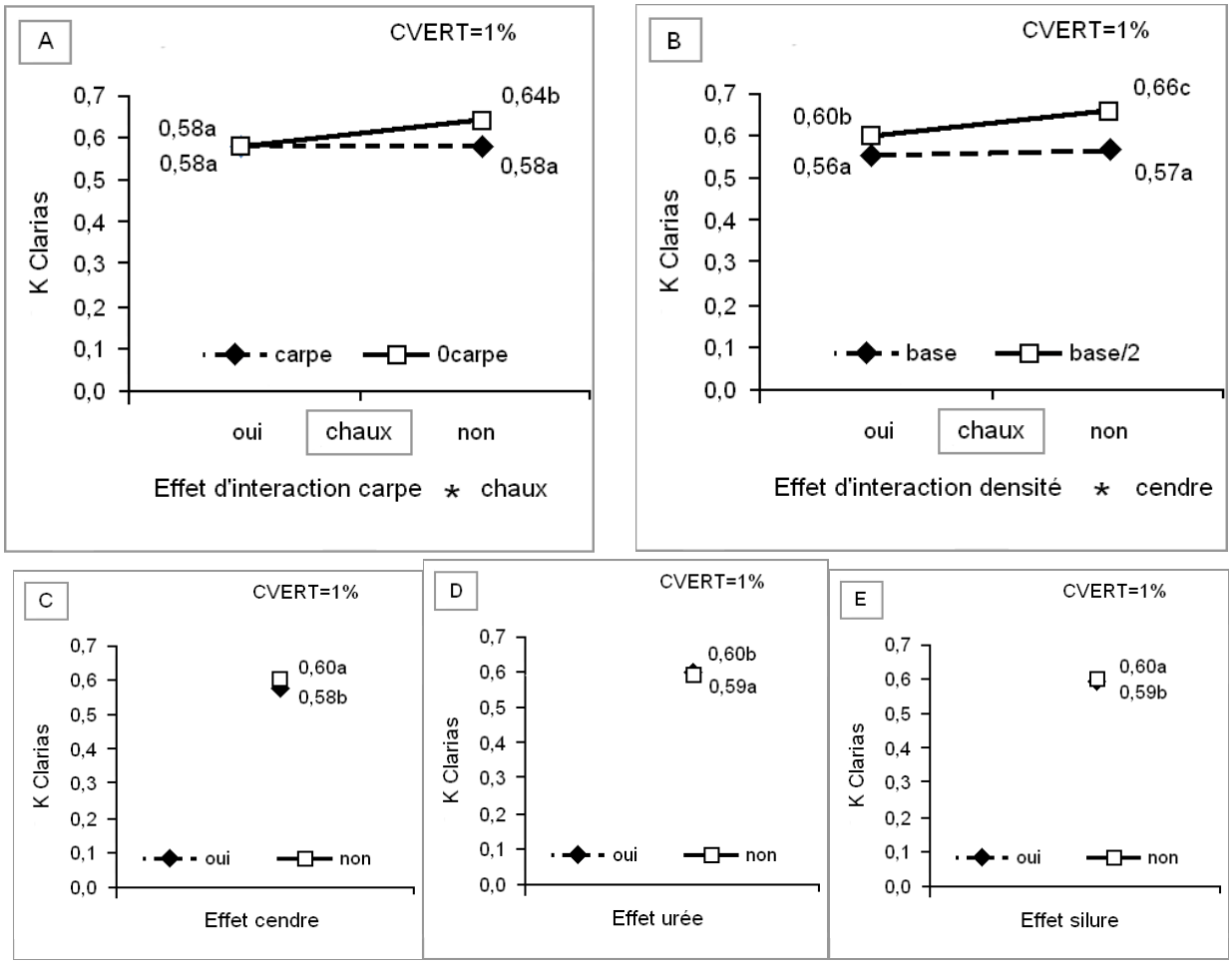


Figure 4.14 : Effets des interactions Carpe*chaux(A), densité*chaux(B) et des facteurs simples cendre(C), Urée(D) et Silure(E) sur le coefficient K du *Clarias gariepinus* - Les valeurs de K ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables

e) Survie

Aucun facteur n'a été actif sur la survie du Clarias. En effet elle est très élevée, 92% en moyenne, dans tous les bassins.

4.2.3.3. Récapitulatif

Le tableau 4.12 résume l'ensemble des facteurs et interactions qui influent sur les paramètres zootechniques des espèces d'association principale, *Oreochromis niloticus* (Tilapia) et *Clarias gariepinus* (Clarias) étudiés.

Tableau 4.12 : Effets (+ : positif, - : négatif) des facteurs simples et interactions sur les paramètres zootechniques des espèces *Oreochromis niloticus* (Tilapia) et *Clarias gariepinus* (Clarias). Les facteurs et interaction sont classés selon leur ordre d'importance d'effets (*** très important, **, moyennement important, ….). Avec CVETR = Coefficient de Variation de l'Ecart Type Résiduel et R^2 = coefficient de détermination

Espèces	**Paramètres**	**facteurs simples**	**Interactions**	**CVETR (%)**	**R^2**
Tilapia	Poids moyen final (Pmf)	Densité** (base/2 +) Remoulage (+) Pain (-)	densité.pain* (base+ base/2-) densité.carpe* (base/2+)	10	0,77
	Coefficient de variation de Poids (hétérogénéité) (Cvp)	Silure (+) Densité (base -)	densité.silure (base+)	27	0,40
	Croissance Spécifique (TCs)	Densité*** (base/2 +) remoulage*** (+) pain** (+ et -) Cendre** (-)	densité.cendre*** (base/2+) cendre.silure*** (-) pain.cendre*** (-) densité.remoulage*** (+) densité.pain** (base+ base/2-)	1	1,00
	K (condition)	pain*** (+ et -) urée** (+)	pain.cendre*** (-) chaux.urée* (+)	3	0,90
	Survie (S)	Densité (base -) Pain (+) Chaux (+)	densité.pain** (base+ base/2-) chaux.cendre* (-)	10	0,78
Clarias	Poids moyen final (Pmf)	densité*** (base/2+) pain*** (+)		27	0,76
	Coefficient de variation de Poids (hétérogénéité) (Cvp)	Cendre (-) Carpe (-)	Carpe.cendre (+)	47	0,46
	Croissance Spécifique (TCs)	densité** (base/2 +) pain*** (+)		19	0,72
	K (condition)	cendre** (-) chaux*** (+) silure* (-) urée** (-)	Carpe.chaux*** (+) densité.chaux*** (+)	1	0,99
	Survie (S)	NS	NS		

*P<0,05 ; **P<0,01 ; *** P<0,001

Il ressort de ce tableau que pour le Tilapia et le Clarias :

- les facteurs les plus favorables ont été dans l'ordre: la densité, le pain, le remoulage, la chaux ainsi que les interactions densité*pain, densité*remoulage, densité*carpe, densité*chaux et carpe*chaux;
- les facteurs ayant un impact négatif ont été dans l'ordre : la cendre et les interactions densité*cendre, cendre*silure et pain*cendre.

4.2.4. Effets des facteurs sur les performances agro-économiques du système étudié

4.2.4.1. Gain de biomasse totale

Les facteurs simples **densité**, **pain**, **remoulage** et **cendre** ainsi que les interactions **densité*pain** et **pain*remoulage** ont un effet significatif sur le gain de biomasse totale du système (figures 4.15.A à 4.15.C).

Les apports supplémentaires de pain avec une densité de base augmentent significativement le gain de biomasse totale (figure 4.15.A). En l'absence simultanée de pain et de remoulage, la biomasse totale produite est significativement plus faible (figure 4.15.B). Par ailleurs, l'usage de la cendre est défavorable à la production totale de biomasse. Aucun effet des espèces associées au Tilapia et Clarias n'a été observé.

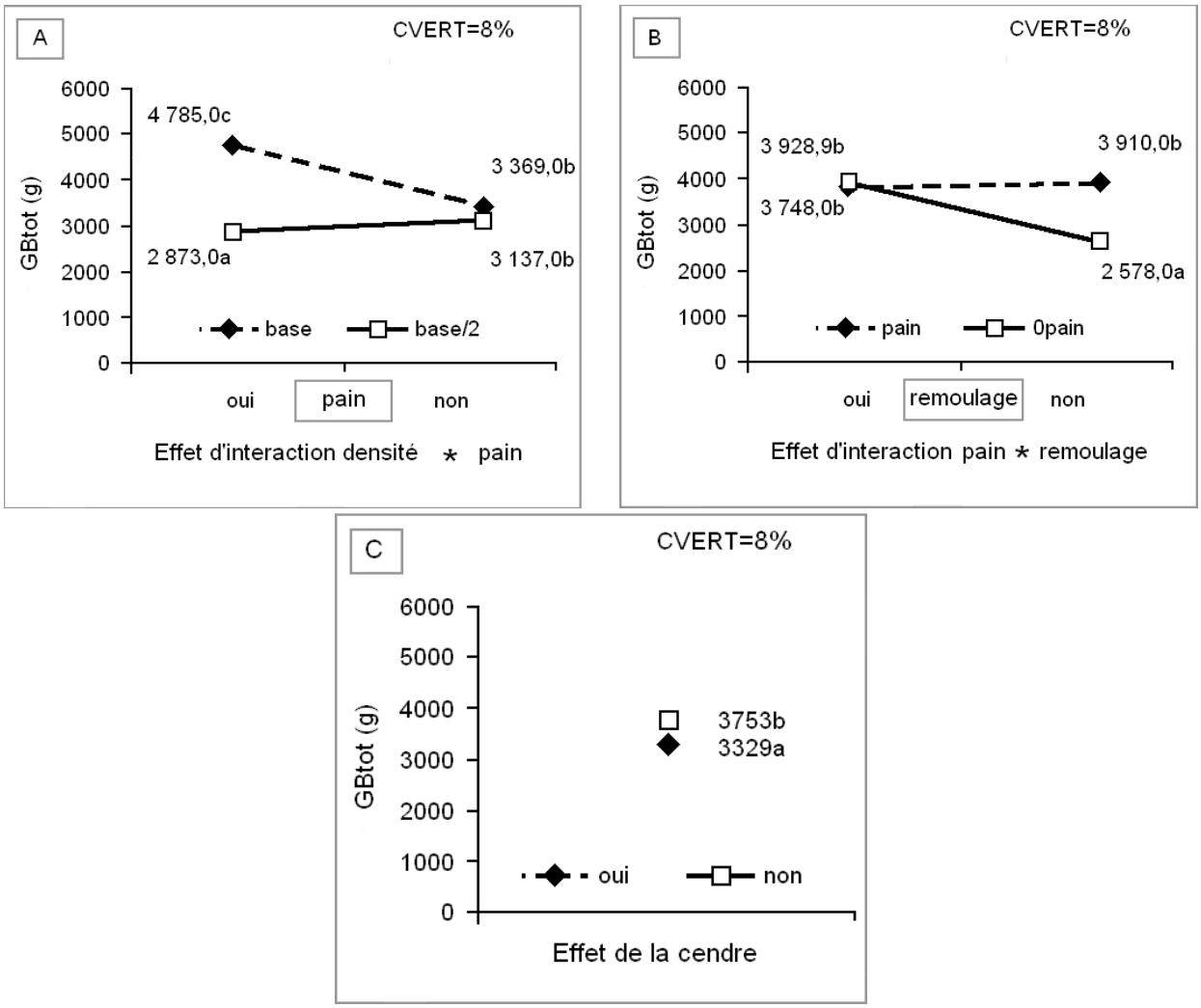


Figure 4.15: effet des interactions densité*pain(A), pain*remoulage(B) et du facteur simple cendre (C) sur le gain de biomasse totale (GBtot) du système - Les valeurs de GBtot ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables

4.2.4.2. Biomasse d'alevins produite

Une faible biomasse d'alevins produite dans les étangs traduit une bonne efficacité de l'activité de régulation de la prolifération des Tilapias dans le milieu.

L'apport supplémentaire de **pain** permet de réduire significativement la biomasse d'alevins de Tilapia produite (figure 4.16 A). Ce niveau faible de la biomasse d'alevins de Tilapia est également relevé en l'absence simultanée ou en présence simultanée de **carpe** et de **chaux** (figure 4.16 B).

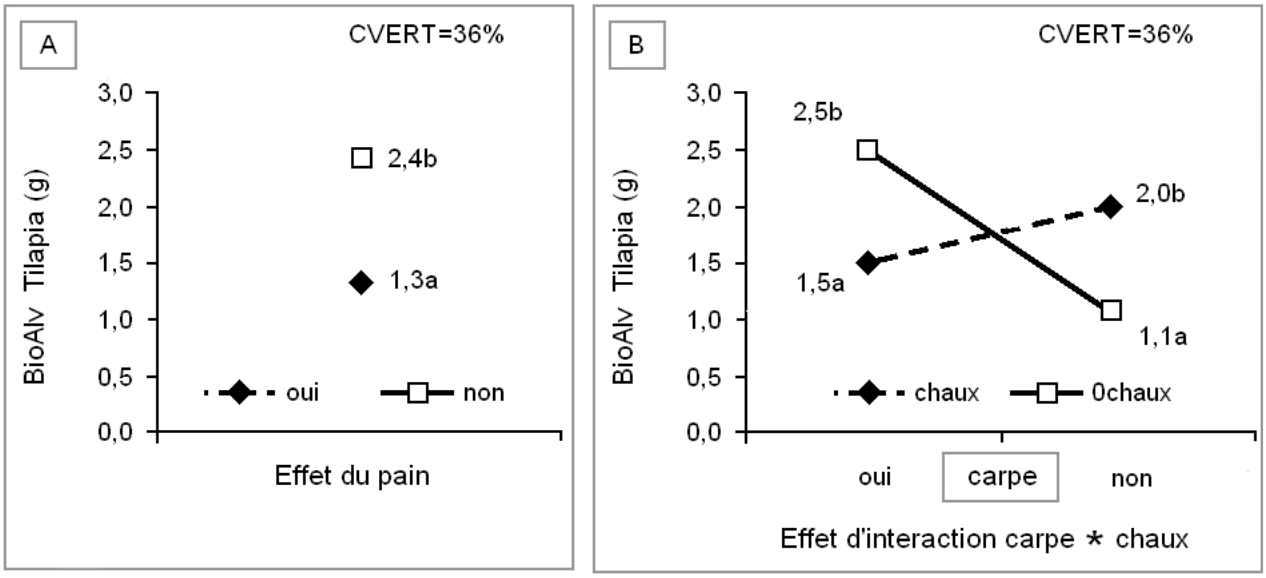


Figure 4.16 : Effet du facteur simple pain(A) et de l'interaction Carpe*chaux sur la biomasse des alevins de Tilapia (BioAlv) - Les valeurs de BioAlv ayant le même index (a ou b) sont significativement semblables

4.2.4.3. Revenu brut (Rb)

Seules des interactions de facteurs ont eu des effets sur le revenu. L'apport de **pain** avec une **densité** de base permet d'obtenir un revenu brut significativement supérieur aux 3 autres combinaisons de ces 2 facteurs (figure 4.17 A). L'absence simultanée de pain et de **remoulage** occasionne une chute importante de revenu (figure 4.17 B). En présence de pain, l'apport de remoulage n'influence pas le revenu brut.

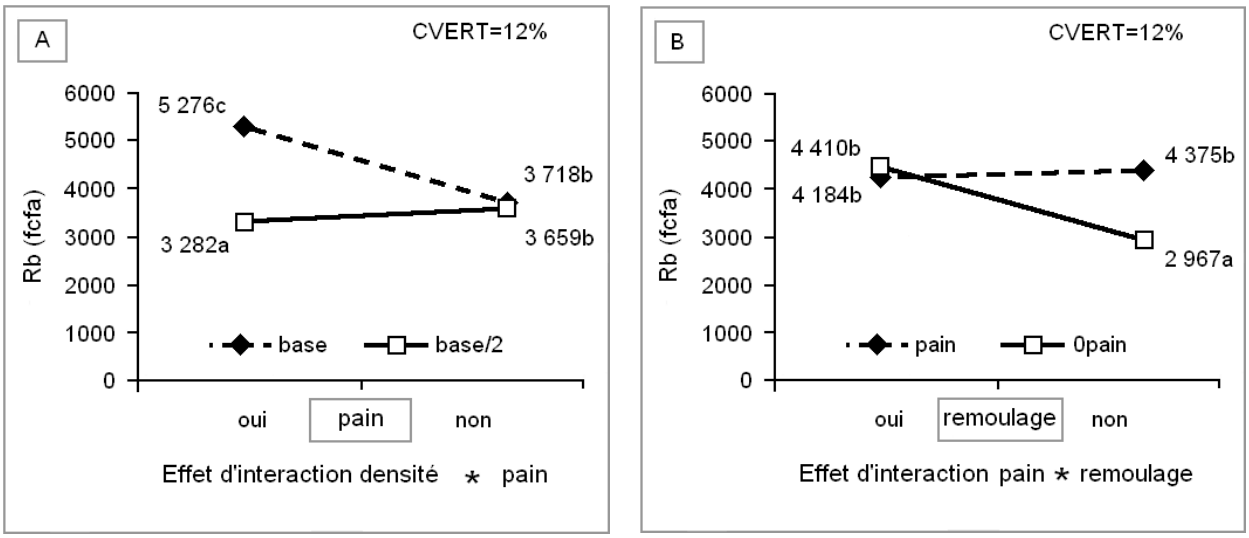


Figure 4.17 : Effet des interactions densité*pain (A) et pain*remoulage (B) sur le revenu brut (Rb) - les valeurs de Rb ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblables

4.2.4.4. Marge relative sur le coût des alevins Malev

Les facteurs **carpe** et les interactions **carpe*cendre**, **carpe*urée**, **silure*remoulage** et **densité*silure** sont potentiellement actifs sur la marge sur le coût des alevins (figure 4.18 A à 4.18 D). Les effets des interactions silure*remoulage et densité*silure ne sont pas significatives (figure 4.18 C et 4.18 D)

En l'absence simultanée de Carpe et de cendre, cette marge est significativement supérieure aux 3 autres associations de modalités de ces deux facteurs. La marge significativement la plus élevée dans l'analyse de l'interaction Carpe*urée est observée en l'absence de Carpe mais avec un apport d'urée (figure 4.18 B).

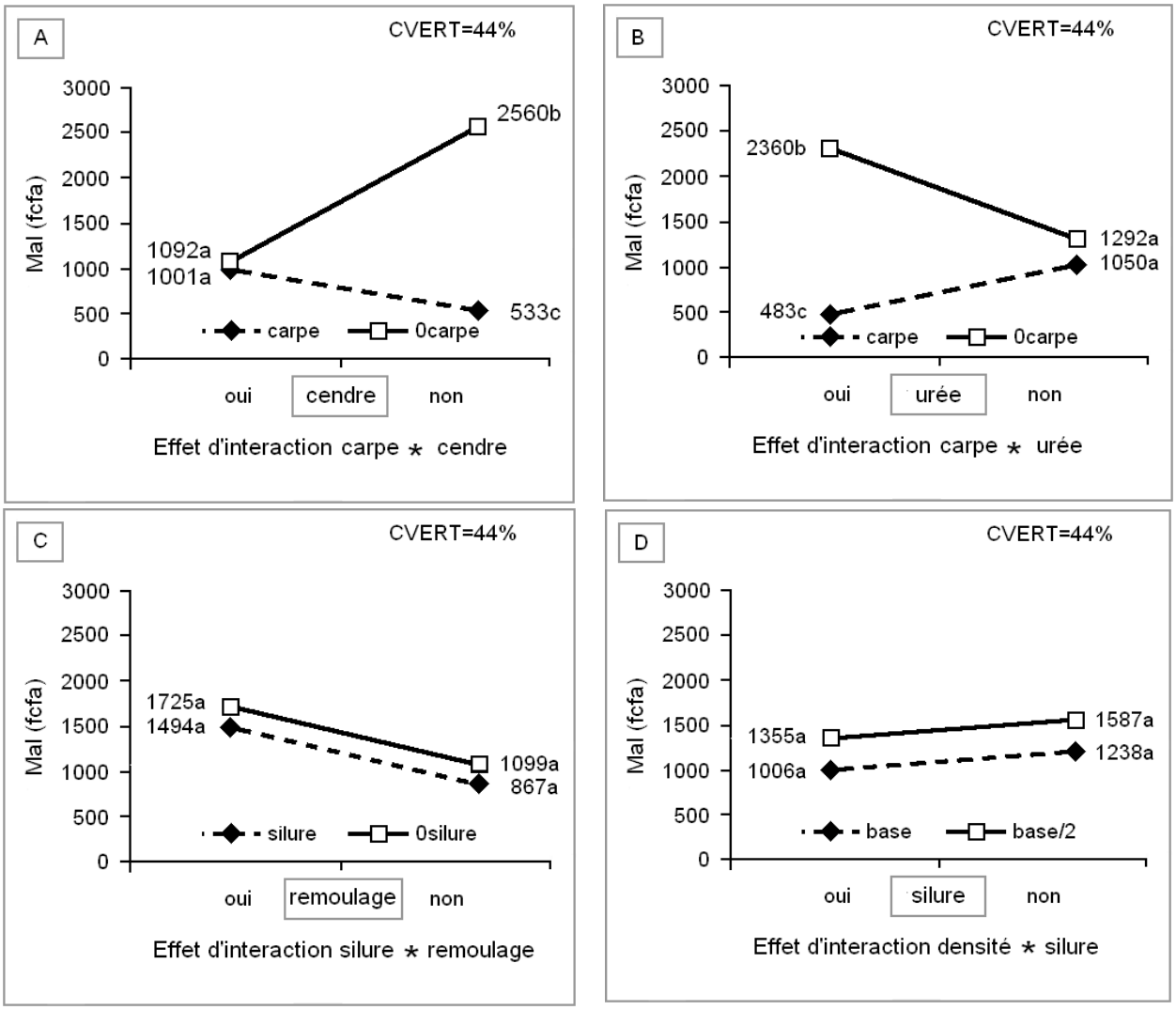


Figure 4.18: Effet des interactions des facteurs Carpe*cendre (A), Carpe*Urée (B), Silure*remoulage (C) et densité*Silure (D) sur la marge relative sur coût des alevins(Malev) - Les valeurs de Malev ayant le même index (a, b ou c) sont significativement semblable

4.2.4.5 Marge relative sur les fertilisants et aliments (notée Mint)

Les facteurs simples **chaux**, **cendre**, **urée**, **pain**, **remoulage**, et les interactions **chaux*cendre** et **chaux*urée** influencent potentiellement la marge relative hors coût des alevins. La figure 4.19 A illustrant les effets de l'interaction chaux*cendre montre que la marge la plus faible correspond à un apport simultané de chaux et de cendre vraisemblablement du fait que cette association induit une mortalité plus importante chez le Tilapia (cf paragraphe 4.2.3.2).

La figure 4.19 B montre que la marge Mint est significativement la plus élevée en l'absence simultanée de chaux et d'urée. L'apport supplémentaire de pain ou de remoulage, dont le coût n'est pas pris en compte dans Mint, augmente, bien que non significativement, cette marge (figure 4.19 C et 4.19 D) donnant une indication supplémentaire de leur rôle zootechnique positif dans l'amélioration du système.

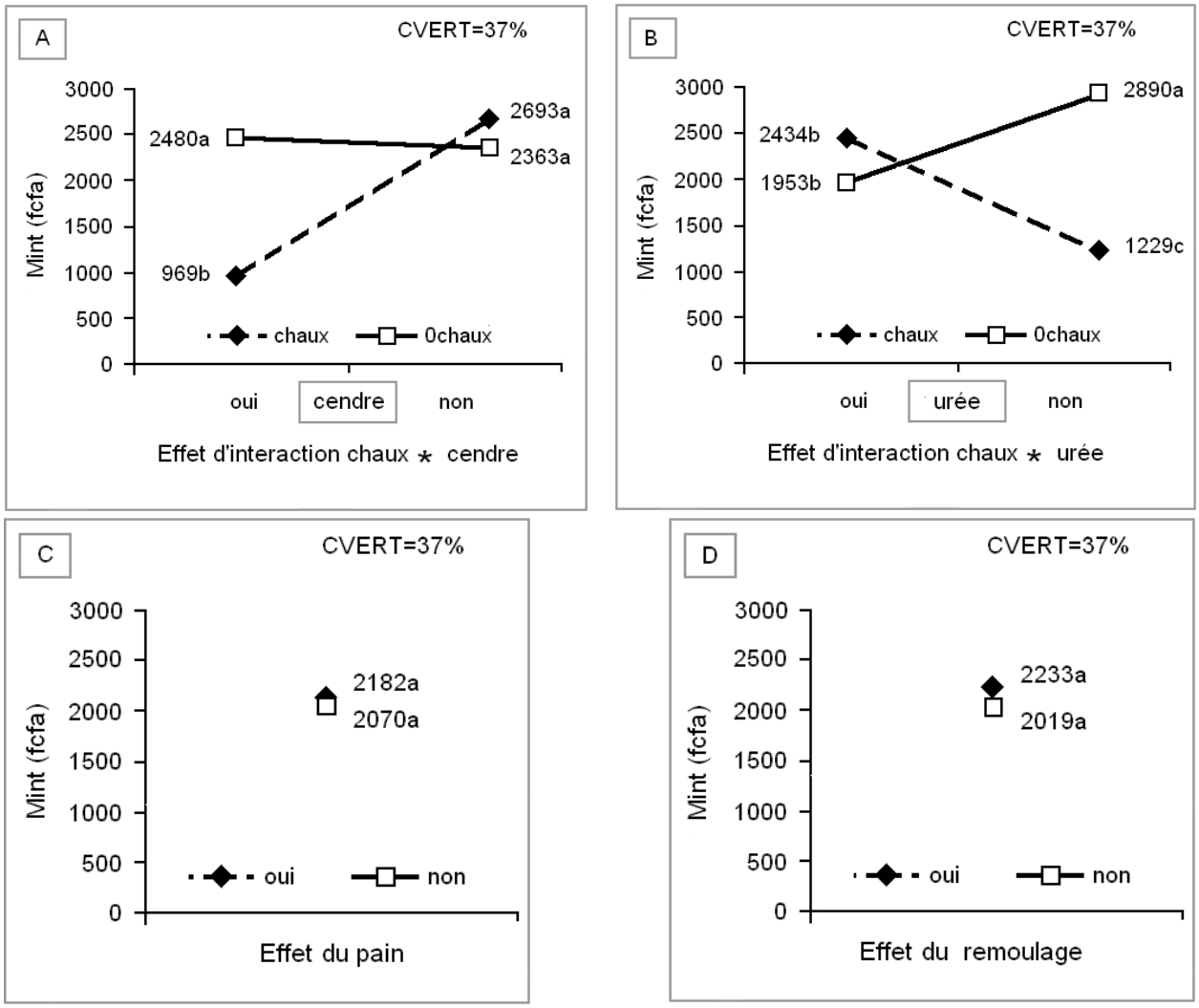


Figure 4.19 : Effet des interactions des facteurs chaux*cendre(A), chaux*Urée(B) et des facteurs simples pain(C) et remoulage (D) sur la marge relative sur le coût des aliments et fertilisants (Mint) - Les valeurs de Mint ayant le même index (a, b ou c) sont statistiquement semblables.

4.2.4.6. Marge brute totale

Les facteurs **cendre**, **carpe** et **chaux** ont des effets significatifs ainsi que les interactions **chaux*cendre** et **carpe*cendre** (figure 4.20. A et B). Les marges bénéficiaires positives sont obtenues avec les combinaisons chaux sans cendre et sans carpe ainsi que sans cendre. Les autres combinaisons de ces facteurs aboutissent à des marges négatives. La plus mauvaise marge brute totale est obtenue quand des apports simultanés de cendre et de chaux ont été réalisés (figure 4.20.A). A la figure 4.20.B, la marge la plus élevées est obtenue en l'absence simultanée de carpe et de cendre. Cependant il faut rester prudent quant à la significativité de ces différences du fait d'un CVETR très élevé (80%) traduisant une très forte variabilité de marge brute entre les combinaisons.

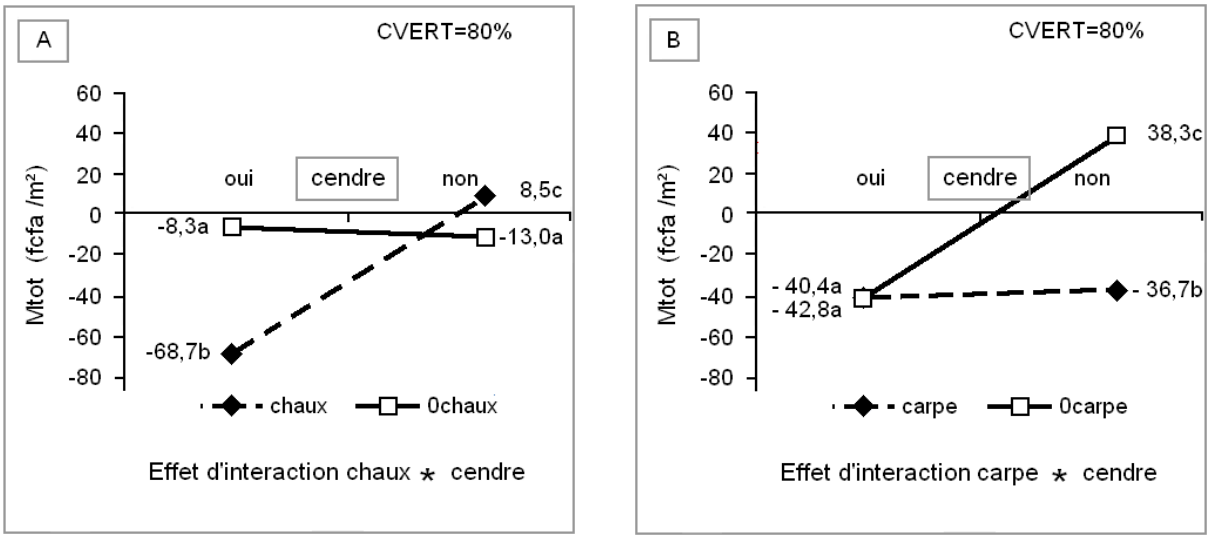


Figure 4.20 : Effets des interactions de facteurs chaux*cendre (A) et carpe*cendre (B) sur la marge brute totale (Mtot) - Les valeurs de Mtot ayant le mêmes index (a, b ou c) sont statistiquement semblables.

4.2.5. Effets des facteurs sur les performances environnementales

4.2.5.1. Azote total rejeté

Seuls deux facteurs simples ont un effet sur les rejets azotés. La quantité d'azote rejetée par le système augmente significativement avec l'apport de l'**urée** (figure 4.21 A) ou de **remoulage** (figure 4.21 B)

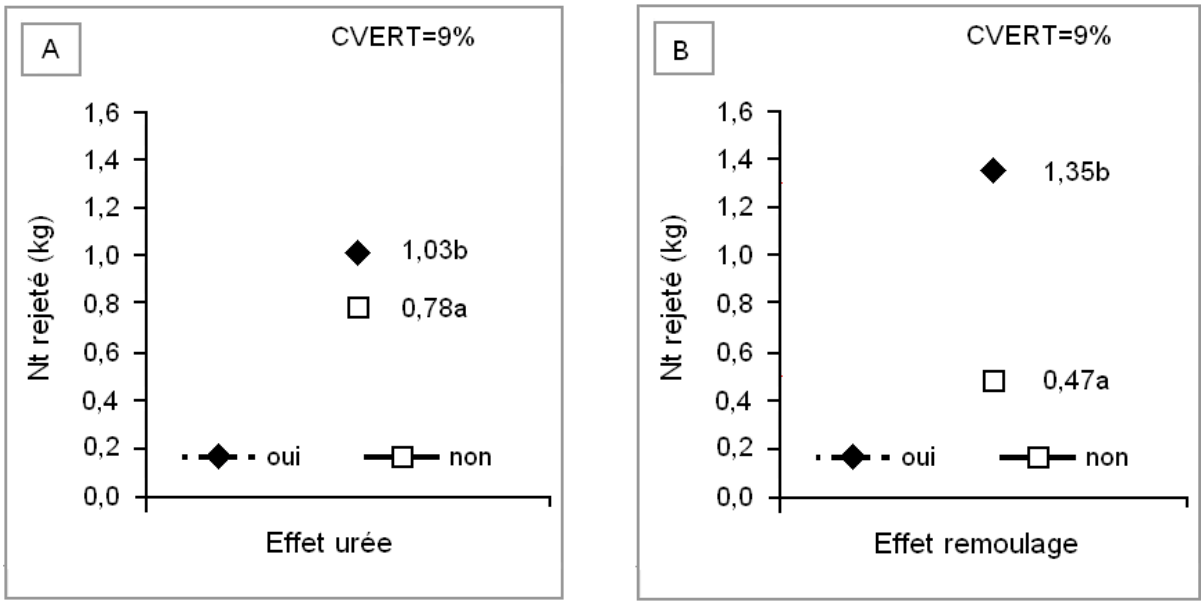


Figure 4.21 : Effets simples Urée (A) et remoulage (B) sur la quantité d'azote rejetée (Nt) - Les valeurs de Nt ayant les mêmes index (a ou b) sont significativement semblables

4.2.5.2. Phosphore total rejeté

L'usage de la **cendre** (figure 4.22 A) ou les apports supplémentaires de **remoulage** (figure 4.22 B) augmentent significativement les quantités de phosphore rejetées tandis que l'ajout de la **carpe** en absence de cendre dans le système les réduit significativement.

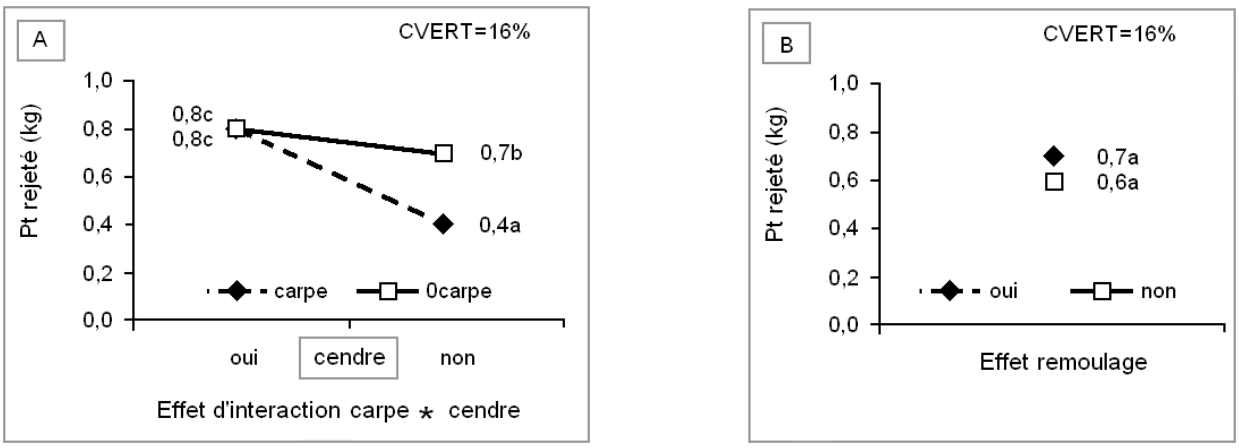


Figure 4.22 : Effets d'interaction de facteur carpe*cendre(A) et du facteur simple remoulage(B) sur la quantité de phosphore rejetée (Pt) - Les valeurs de Pt ayant les mêmes index (a,b ou c) sont statistiquement semblables

4.2.6. Récapitulatif

Un résumé de l'ensemble des facteurs et interactions actifs sur les paramètres agro-économiques et environnementaux étudiés est représenté par le tableau 4.13.

Il en ressort que les facteurs densité, pain, remoulage et les interactions densité*pain, pain*remoulage ont été agro-économiquement très favorables. A l'inverse, la cendre, la carpe, marginalement la chaux et les interactions chaux*cendre, chaux*urée agissent négativement.
Concernant les paramètres environnementaux, les facteurs urée, remoulage, cendre, carpe et l'interaction carpe*cendre augmentent les impacts des systèmes sur l'environnement.

4.3. Discussion

Les paramètres physico-chimiques sont, sauf une exception, dans les gammes tolérées par les poissons utilisés dans l'expérimentation. En effet, seul dans l'étang de la combinaison 6, il a été enregistré lors d'un contrôle une teneur en $N\text{-}NH4^+$ + N-NH3 > à 4 mg/l, considérée comme proche de la concentration létale pour le Tilapia ((Redner et Stickney, 1979 in Pouomogne, 1994). Cependant, cette teneur élevée n'a pas été accompagnée ni d'un déficit en oxygène dissous ni d'une élévation de pH importante. Aussi, une survie correcte des Tilapias est enregistrée dans cet étang.

Les températures minimales de l'eau se sont maintenues au dessus de 22°C. Dans la journée, quelques mesures complémentaires ont été réalisées. Sous l'effet de l'ensoleillement, les températures se sont approchées du seuil de 25°C considéré comme favorable au développement des espèces élevées (Philippart and Ruwet, 1982 ; Witteand de Winter, 1995 ; Teugels, 1986 ; de Moor et Bruton, 1988 ; Kottelat et Freyhof, 2007 ; Riede, 2004 ; Eaton *et al.*, 1995).

Tableau 4.13 : Effets (+ : positif, - : négatif) des facteurs simples et interactions sur les paramètres agro-économiques et environnementaux étudiés. Les facteurs et interaction sont classés selon leur ordre d'importance d'effets (*** : très important, ** : moyennement important, ….). Avec CVETR = Coefficient de Variation de l'Ecart Type Résiduel et R^2 = coefficient de détermination

Paramètres	Facteurs simples	Interactions	CVETR (%)	R^2
Gain biomasse total (GBtot)	densité***(base+) pain**(+) remoulage**(+) cendre*(-)	densité.pain***(base+ base/2-) pain.remoulage***(+)	8	0,95
Biomasse alevins Tilapia (Bioalv)	pain**(-)	carpe.chaux*(-)	36	0,67
Revenu brut (Rb)	pain*(+) densité**(base+) remoulage*(+)	densité.pain**(base+ ; base/2-) pain.remoulage**(+)	12	0,86
Marge sur Coût Alevin (Malev)	carpe**(-) cendre*(-)	carpe.cendre(-) silure.remoulage(+) carpe.urée(-) densité.silure (base-)	43,6	0,9
Marge sur Coût autres Intrants (Mint)	Chaux(+) Cendre(+) Urée(-) Remoulage(-) Pain(+)	chaux.cendre*(-) chaux.urée*(-)	37	0,72
Marge Brute (Mtot)	carpe***(-) cendre**(-) chaux*(+)	chaux.cendre***(-) carpe.cendre**(-)	80	0,90
Azote rejeté (Nt)	urée***(-) remoulage***(-)		9	0,97
Phosphore rejeté (Pt)	cendre***(-) carpe*(+) Remoulage(-)	carpe.cendre*(-)	16	0,81

*P<0,05 ; **P<0,01 ; ***P<0,001

Les faibles niveaux d'oxygène dissous relevés le matin, au moment où ils sont les plus bas, dans la plupart des étangs sont conformes à nos attentes et reflètent l'activité biologique de l'étang. Les teneurs en oxygène dissous ont été parfois contrôlées en fin de journée et atteignaient alors des valeurs supérieures à 7mg/l du fait de l'activité photosynthétique. Les fortes valeurs de la transparence (47,3 ±12,7) relevées en combinaison 11, la seule ayant reçu simultanément de la chaux et de la cendre sans aucun autre apport, traduisent une forte décantation des matières particulaires (dont le phytoplancton) (Boyd, 1990) et /ou un faible développement planctonique (Schlumberger, 2002). Elles s'expliquent par la précipitation des MES (corrélation négative transparence et teneur en MES) et des nutriments comme le phosphore qui forment des composés solides en présence de Calcium ou de l'azote ammoniacal (corrélation négative transparence - NH4+) qui s'adsorbe sur les matières particulaires. Ces précipitations de nutriments limitent ainsi le processus photosynthétique du milieu (Boyd, 1979, 1990 ; Egna et Boyd, 1997). En outre, l'usage de la bâche a également supprimé les échanges

eau-sédiment existants dans un bassin en terre pouvant ainsi exacerber certains effets de la chaux et/ou de la cendre.

Les rendements en poissons des différentes combinaisons sont compris entre 0,6 et 1,6 g/m²/j (soit 2,19 et 5,84 t/ha/an). Ils sont dans la gamme de ceux relevés par différents auteurs dans les systèmes de pisciculture semi-intensifs tropicaux et au Cameroun (Ewards, 1993 ; Lazard et Oswald, 1995 ; Morissens *et al.,* 1996 ; Kumar et Ayappan, 1998 ; Glasser et Oswald, 2001 ; Dabbadie *et al.,* 2002 ; Bogne *et al.,* 2008 ; Milstein, 2005 ; Tamassia, 2011). Ces valeurs confirment l'adéquation des structures expérimentales utilisées (en termes de surface, profondeur, maîtrise des flux d'eau, …) pour répondre aux objectifs de cette expérimentation. Il a été possible de reconstituer des conditions proches de celles d'étangs de production (à l'exception des sédiments) dans les mésocosmes construits pour ce travail tout en permettant un bon contrôle des flux hydriques et en nutriment entrant et sortant.

Cependant, la plupart des combinaisons ne sont pas économiquement viables. Seulement 5 d'entre elles sur 16 dégagent une marge brute positive. Ces observations sont conformes à celles relevées (Mikolasek *et al.,* 2009) dans les pisciculture intégrées dans les EFA à l'Ouest Cameroun et à nos propres enquêtes (chapitre 2). Le contexte local de rareté d'alevins (Efole Ewoukem, 2009) et des sous-produits agricoles (Pemsl et Pouomogne, 2008 ; Tomedi Eyango *et al.,* 2009) et agro-industriels utilisés pour l'alimentation des poissons, augmente les coûts de production. La combinaison n°16 mobilisant le moins d'intrants (densité d'empoissonnement faible, base/2 et aucun apport complémentaire de fertilisant et/ou d'aliments) présente des marges positives équivalentes aux combinaisons les plus intensives (n°7 : base+pain+chaux+urée ; n°3 : base+silure+pain+remoulage) malgré des rendements deux fois inférieurs. Nos résultats vont dans le sens des observations faites au Cameroun et au Malawi par Kriesemer (2009) qui montre que les petites pisciculture à faibles intrants peuvent être aussi rentables que des systèmes plus intensifs.

Les quantités d'azote et de phosphore rejetées correspondent aux gammes de rejets relevés dans les étangs semi-intensifs tropicaux (Verdegem, 2007). Toutefois leur niveau a été relativement faible comparé à celui de certains étangs semi-intensifs au Cameroun (voir chapitre 3 et Efole Ewoukem *et al.*, 2010) évalués par la même méthode (bilan nutritionnel de Cho et Kaushik, 1990). La maîtrise de la gestion de l'eau dans nos unités expérimentales (aucune sortie d'eau) a permis un temps de séjour long des nutriments dans le milieu, ce qui a favorisé leur fixation par les poissons.

Effet des facteurs sur les rendements agronomiques

Les facteurs **densité, pain** et **remoulage** (effet simple) conditionnent de manière déterminante le poids moyen final (et la croissance spécifique) des deux espèces principales mises en élevage et par conséquence le gain de biomasse final (et le revenu brut) des différentes combinaisons.

Les fortes densités conduisent directement par effet simple à une augmentation des rendements agronomiques mais aussi à des poids moyens finaux relativement faibles pour les deux espèces principales. L'apport de remoulage et/ou de pain accroit d'une manière générale ces rendements. De nombreux auteurs (Dabbadie, 1996 ; Tamassia, 2011) montrent en effet que des apports d'aliments en supplément d'une fertilisation de base augmentent le rendement.

Les interactions entre ces facteurs (forte densité + apport de pain ou + apport de pain et de remoulage) conduisent à l'obtention des combinaisons qui présentent les plus forts rendements : n°7 (base+pain+chaux+urée → 1,6g/m²/j), n°5 (base+carpe+pain+cendre → 1,2g/m²/j), n°3 (base+silure+pain + remoulage → 1,4g/m²/j), n°1 (base+carpe+silure+pain +remoulage+chaux+cendre+urée → 1,2g/m²/j). L'apport de remoulage seul à forte densité d'élevage conduit à des rendements moindres qu'avec du pain seul : Combinaisons n°13 (base+carpe+remoulage+chaux→ 1.0 g/m²/j) et n°15 (base+remoulage+cendre+urée → 1,1 g/m²/j). L'absence de pain et de remoulage en forte densité d'élevage a de fait conduit à des faibles croissances pondérales (Tilapia 1,3% et Clarias 0,8%) et de faibles rendements (0,7g/m²/j), comme l'illustre la combinaison 9 (base+carpe+silure+urée). Ces résultats mettent en évidence qu'en forte densité d'élevage, le pain est un meilleur complément que le remoulage

En faible densité d'élevage, le remoulage pour les tilapias, le pain pour les clarias sont favorables à la croissance et par conséquent à l'obtention des poids moyens individuels finaux les plus élevés comme cela est illustré par les combinaisons suivantes : n°10 (base/2+carpe+silure+remoulage+cendre → Tilapias : 111,6g) et n°6 (base/2+carpe+pain+remoulage+urée, Clarias : 249,4g). Cependant les rendements totaux restent plus faibles (0.7 à 1,0 g/m²/j) qu'en forte densité d'élevage sauf pour la combinaison n°12 (*base/2* +silure+remoulage+chaux+ urée) dont le rendement de 1,2g/m²/j est équivalent à ceux obtenus en forte densité d'élevage.

Dans le cas de ressources très limitées, des systèmes à faible densité (comme le cas de la combinaison n°16 : base/2) augmentent la croissance individuelle des poissons (Tilapia 1,3% et Clarias 1,4%) et permettent un rendement comparable (0,7 g/m²/j pour la combinaison n°16) aux systèmes avec quelques intrants. Pour un même niveau d'intrant, il existe donc une densité d'empoissonnement optimale capable de maximiser les croissances individuelles des poissons sans entraîner une perte importante de rendement comme l'ont montré différents auteurs (Glasser et Oswald, 2001 ; Dabaddie, 2008).

La distribution du pain (déchets de boulangerie) qui est une pratique nouvellement adoptée par les pisciculteurs, favorise ainsi fortement la croissance. Les combinaisons (n°6, n°2, n°12, …) qui présentent les meilleures croissances de Clarias (249,4g ; 188,5g; 187,9g…) contiennent toutes du pain. Nous émettons l'hypothèse que les différences de performance obtenues avec du pain comparativement avec du remoulage qui ont pourtant la même teneur en C, seraient liée à une différence d'assimilation de ce carbone organique (aliment ayant été cuit pour le pain).

La **cendre** et la **chaux** agissent comme facteurs simples mais aussi dans de nombreuses interactions. La cendre affecte négativement la croissance des Tilapias par effet simple ou en interaction avec le pain. En interaction avec la chaux, un effet négatif sur la survie est mis en évidence pour cette espèce. Ceci est bien illustré par la combinaison n°11 (base+silure+chaux+cendre) qui se caractérise par le taux de croissance (1,1%) et le taux de survie (60,5%) les plus faibles rencontrés chez cette espèce. L'effet négatif sur la croissance du Tilapia dans cet étang peut être imputé à de faibles disponibilités en biomasse planctonique. La chaux seule a au contraire, un impact positif sur la survie du Tilapia et l'embonpoint (K) du Clarias.

La cendre et surtout l'association cendre + chaux ont un impact négatif sur la survie du Tilapia. La cendre influe aussi négativement sur la croissance du Tilapia et sur l'embonpoint (coefficient de condition K) du Clarias. Aussi, nos résultats ne vont pas dans le même sens que

ceux de Jamu et Msika, (1996) qui ont montré que la cendre et la chaux avaient des effets similaires sur les rendements piscicoles en étang.

L'**urée** n'a eu que peu d'impact sur les performances zootechniques, du fait que les autres apports (et notamment la fiente de poule mise dans tous les étangs) ont très vraisemblablement apporté l'azote nécessaire au fonctionnement des écosystèmes.

Les fortes mortalités de **carpes** (de 20 à 100% selon les combinaisons) expliquent l'absence d'effet de ce facteur sur le rendement global. Malgré un excellent taux de survie, les **silures** (*C. jaensis*) ont pas ou peu d'effets sur les performances d'élevage du fait de leur faible taux de croissance.

Rentabilité économique

L'effet simple de la carpe et l'interaction carpe*cendre affectent négativement la « marge relative sur les alevins » Malev (non prise en compte du coût des intrants). Il en est de même de l'interaction carpe*urée. Ceci s'explique par le coût relativement élevé des carpillons et les fortes mortalités de carpes, ainsi que par l'impact négatif de la cendre sur la survie et la croissance des espèces de base, évoqué plus haut

La chaux, la cendre et le pain (effets simples) ont un impact positif sur la « marge relative sur coût des intrants » Mint (non prise en compte du coût des alevins). Concernant la cendre, cela peut être dû pour partie à son faible coût. Pour le pain, son faible coût peut aussi être évoqué pour expliquer qu'il a un effet positif sur la marge Mint, mais de plus, il a été montré qu'il augmentait les rendements. Quant à la chaux, son ajout a engendré des dépenses assez importantes (4 fois supérieures à la cendre) mais qui ont été compensées par des améliorations de rendement. A contrario, le remoulage et l'urée influent de manière négative sur cette marge. Si le remoulage a eu un impact positif sur les rendements, il demeure un produit assez cher (environ 3 fois plus que le pain). L'urée, bien que n'ayant pas entrainé de dépenses importantes pour les étangs où elle a été mise, n'a pas amélioré les rendements et n'a été qu'une dépense non valorisée.

L'interaction chaux*cendre a un impact négatif, en liaison avec la baisse des performances zootechniques évoquées plus haut. Quant à l'effet négatif de l'interaction chaux*urée, il est dû au coût élevé de la chaux.

La chaux confirme son effet positif sur la marge relative totale, de même les impacts négatifs de la carpe et de la cendre observés sur la marge sur le coût de l'alevin, se répercutent sur la marge brute totale.

La cendre, en dépit de ses effets négatifs précédemment observés sur le rendement pourrait être un intrant utile pour améliorer la rentabilité, en remplacement de la chaux (Jamu et Msika, 1996), du fait de son faible coût mais sous réserve d'une meilleure maîtrise de son emploi. Le pain se distingue du remoulage par son meilleur rapport qualité/prix.

Effet sur l'environnement

Les plus importantes quantités d'**azote** rejetées par ces systèmes (recevant tous de la fiente de poule qui est déjà riche en azote), s'expliquent par des apports trop élevés. Ce sont notamment, les combinaisons qui ont reçu des apports d'urée et de remoulage qui présentent les plus forts rejets que ce soit en termes de quantité que de pourcentage. Comparativement au pain, le remoulage est moins bien assimilé par les poissons et plus riche en azote. Il participe donc aux

rejets azotés soit directement, soit via les fèces des poissons. Quant à l'urée, une grande partie n'est pas utilisée.
Ainsi, des apports de remoulage et d'urée en même temps qu'une fumure de base à partir de fiente de poule, seraient à proscrire. Cependant, leur utilisation pourrait être envisagée sous réserve d'une détermination précise des quantités totales d'azote pouvant être injectées dans le système sans préjudice sur l'environnement.
Les combinaisons environnementales favorables à la minimisation des rejets azotés sont celles (Combinaisons 2, 5, 11 et 16) qui n'associent aucune de ces sources d'apport en azote que sont : le remoulage et l'urée ; la combinaison 16 étant la seule rentable économiquement parlant.

L'introduction de la carpe dans un étang est en général bénéfique vis-à-vis de la fixation du **phosphore**. En effet, par son activité de remuement du fond des étangs, la carpe empêche la sédimentation du phosphore. Son maintien dans la colonne d'eau le rend disponible pour les biotransformations qui permettent de réduire le phosphore dans les eaux rejetées en fin d'élevage (Rahman, 2006). Nos résultats confirment pour partie cela dans la mesure où le facteur carpe a diminué les rejets de Phosphore.

En outre, une augmentation du phosphore rejeté est observée en présence de la cendre ou du remoulage. L'effet très négatif du facteur cendre n'est pas surprenant compte tenu de la composition chimique de cet amendement. L'interaction cendre*carpe a aussi un effet négatif comme le montre la figure 4.22.A, où les quantités de P rejetées sont semblables, qu'il y ait ou non présence de carpe dans le système. L'effet cendre est donc plus important que l'effet carpe. Quant à l'effet négatif du remoulage, il peut être attribué comme pour les rejets d'azote à sa moins bonne assimilation par le poisson.

Proposition des Combinaisons durables.

Après avoir analysé l'impact des facteurs pour différents objectifs agro-environnementaux, il s'agit ici de proposer des systèmes durables, remplissant des objectifs tant environnementaux, sociaux qu'économiques (Eckert *et al.*, 2000 ; Gomez *et al.*, 2007). Les combinaisons durables seraient donc celles qui peuvent être agro-économiquement rentables (bon rendement et marge positive) et acceptable sur le plan environnemental (faibles quantités d'azote et de phosphore rejetées).

L'analyse de l'impact des différents facteurs se résume comme suit :
- Facteur densité :

* Base, permet d'avoir un rendement élevé ainsi qu'une rentabilité positive sous réserve d'une supplémentation alimentaire.

* Base/2 sans apports supplémentaire permet une croissance individuelle des poissons relativement bonne et une marge positive et sensiblement égale à celle obtenue en forte densité.

- Facteur Carpe : la carpe a eu un effet négatif sur la marge du fait certainement du coût élevé des alevins et des problèmes de mortalité. Cependant elle facilite (Rahman *et al.*, 2008) l'utilisation des nutriments dans le système et par conséquent limite leurs rejets.

- Facteur Silure : Le silure présenterait un léger effet de compétition alimentaire avec le Clarias mais sans effet véritable sur le rendement final du fait de sa faible croissance. Il n'a pas également d'effet sur la marge du fait du faible coût de ses alevins. Il pourrait contribuer également au contrôle de la prolifération des alevins de Tilapia dans le système

- Le facteur Chaux : La chaux (sans cendre) a un impact positif sur les performances d'élevage. De ce fait, elle a aussi un effet positif sur la marge brute totale mais de faible ampleur compte tenu de son coût élevé. Elle n'a pas d'effet négatif sur l'environnement.

- Le facteur cendre : La cendre a des effets négatifs sur la production et par conséquent sur la marge brute totale malgré son coût très faible. Son usage impacte fortement l'environnement par enrichissement du milieu en phosphore.

- Le facteur urée : L'urée n'a pas eu d'effet véritable sur le rendement mais plutôt des effets négatifs sur l'environnement par enrichissement du milieu en azote. Son usage en présence de la fiente déjà très riche en azote demanderait des réajustements de ratios.

- Le facteur pain : Le pain, améliore la croissance des poissons notamment en forte densité où il procure une complémentation alimentaire utile. Son usage présente des avantages tant sur le rendement que sur la marge (du fait de son faible coût) et pas d'effet sur l'environnement. Le pain se révèle donc un bon ingrédient non encore utilisé aujourd'hui. Cependant, son utilisation à grande échelle pourrait engendrer une spéculation (augmentation du prix). De plus, cette ressource, qui n'est ici qu'un sous-produit de l'alimentation humaine pourrait devenir rare. Il serait nécessaire de trouver d'autres ingrédients locaux de remplacement ayant une composition et une digestibilité sensiblement similaires (issus de maïs, farine basse de riz).

- Le facteur remoulage : L'apport de remoulage qui augmente la croissance et le rendement global, permet également une marge positive. Cependant ces effets positifs sont tous moins favorables comparativement à ceux du pain. Du fait de sa composition riche en azote et phosphore, son usage contribue aux rejets de ces éléments dans l'environnement.

Compte tenu de tout ce qui précède, deux types de systèmes semi-intensifs durables peuvent émerger :

1- Un système à faible densité (base/2) utilisant uniquement de la fiente de poule pourrait être proposé aux pisciculteurs ayant des ressources (financières, sous-produits agricoles,…) limitées. L'assemblage de base (Tilapia + Clarias) pourrait être complété par de la carpe.
2- Un système à forte densité (base)

Deux cas peuvent se présenter en fonction de la disponibilité ou non de la carpe qui serait ou non ajoutée à une association piscicole Tilapia + Clarias + Silure (du fait de sa participation possible à la régulation de la prolifération des alevins de Tilapia, de sa grande disponibilité et de son faible coût).

- La combinaison : Base + silure + pain + chaux
- La combinaison : Base + silure + pain + chaux + carpe

Dans ce système à forte densité, le remoulage est à proscrire d'une part sur le plan économique en raison de son mauvais rapport qualité/prix et d'autre part au niveau environnemental compte tenu de son impact sur la quantité d'azote rejeté dans le milieu. L'urée devrait être proscrite dans la combinaison proposée ou être mieux dosée.

4.4. Conclusion

Au terme de ce travail expérimental les conclusions importantes que nous pouvons retenir sont les suivantes:

- A l'exception de la température et de l'oxygène dissous dont les teneurs moyennes sont comparables dans tous les bassins, toutes les autres caractéristiques physico-chimiques du milieu ont varié avec les combinaisons.
- Une mise en évidence de l'effet négatif de la cendre, effet difficilement perceptible dans d'autres situations décrites dans la littérature. La cendre bien qu'ayant une composition proche de celle de la chaux ne peut pas se substituer de manière simple à la chaux en raison de son effet négatif tant sur la production globale de l'étang que sur l'environnement immédiat. Cependant, du fait de son faible coût et de sa richesse en phosphore, les raisons de ses effets négatifs mériteraient d'être examinées attentivement. En effet, des changements dans les quantités apportées et les modes d'application pourraient influer sur les effets de cet amendement.

Les 8 facteurs testés peuvent être classés selon leur impact positif décroissant: tant sur les performances zootechniques qu'économiques et que sur leur impact environnemental : densité, pain, remoulage, chaux, cendre, Carpe, silure et Urée.

Aussi, notre première hypothèse «*La polyculture basée sur un grand nombre d'espèces valorise mieux les intrants et de ce fait limite les flux sortants, sources de pollution»* a été seulement partiellement vérifiée dans cette expérimentation. On observe un effet carpe sur l'amélioration de la fixation du phosphore et par conséquent sa réduction dans les rejets, malgré ses fortes mortalités dans certains bassins.

Notre seconde hypothèse était «*Il existe une combinaison d'intrants apportant nutriments et minéraux qui permet d'améliorer la productivité des étangs et plus largement la durabilité du système»*. Ce travail a permis de proposer non pas un mais deux systèmes semi-intensif durables (économiquement viables et respectueux de l'environnement) très différents:

- Un système semi-intensif à faible niveau d'intrants et à faible densité d'élevage;
- Un système semi-intensif à fort niveau d'intrants et à forte densité d'élevage.

Un protocole d'expérimentation en plan factoriel fractionnaire, bien que très risqué et lourd à mettre en œuvre, s'est montré pertinent pour les systèmes ouverts semi-contrôlés autant que pour ceux fermés contrôlés. Il a apporté des éclairages sur des pratiques et différents modes de fonctionnement du système complexe «étang semi-intensif». La démarche dans le choix des modalités de facteurs est basée sur les pratiques des pisciculteurs plutôt que sur les quantités d'éléments (N, P, C) introduites dans les étangs. Si cette démarche peut être critiquable à certains égards, elle permet de se rapprocher de la réalité de terrain et donc d'en tirer des conclusions opérationnelles. En fait, les deux types d'approches sont complémentaires.

Une poursuite de ce travail serait, d'une part une évaluation environnementale par ACV de l'expérimentation réalisée dans ce travail. D'autre part il serait intéressant de mettre en place une nouvelle expérimentation pour les combinaisons durables proposées, permettant de déterminer rigoureusement les niveaux d'apports des différents intrants trophiques et amendements en regard de leur teneur en N, P et C. Une évaluation environnementale complémentaire permettrait de préciser le(s) modèle(s) durable(s) de polyculture d'association Tilapia-poisson chat africain (*Clarias gariepinus*) en étang semi-intensif.

Chapitre 5 : Discussion générale

Nous avons cherché à apporter des éléments de réponse à la question structurante du présent travail «quelles peuvent-être les voies d'amélioration de la pisciculture en étang dans un cadre de développement durable ?». Pour cela nous avons opté pour une approche systémique qui repose sur la prise en compte du contexte dans lequel s'exerce l'activité de pisciculture dans un territoire. Ce travail a surtout permis de construire une démarche permettant de répondre a une telle question en s'appuyant successivement sur diverses méthodes :

- Une typologie, par analyse multidimensionnelle qui permet de classifier les principaux types de pisciculture et de mettre en évidence les paramètres qui les structurent:
- Une analyse environnementale par ACV de chacun des principaux types de systèmes aquacoles qui a permis d'évaluer leurs impacts potentiels, leur niveau d'efficience et les points à améliorer;
- Une expérience en plan factoriel fractionnaire qui a permis de tester plusieurs combinaisons de paramètres, pour définir les plus influents et proposer des scénarios «optimaux» du point de vue de leur durabilité: recherche de combinaisons de facteurs les plus aptes à optimiser le ou les systèmes de pisciculture, sur la base des pratiques des producteurs, en prenant en compte des critères techniques, économiques et environnementaux.

Nous avons ainsi mis en œuvre les principales étapes d'une démarche qui pour être opérationnelle et permettre l'évolution des systèmes de production doit être itérative (figure 5.1).

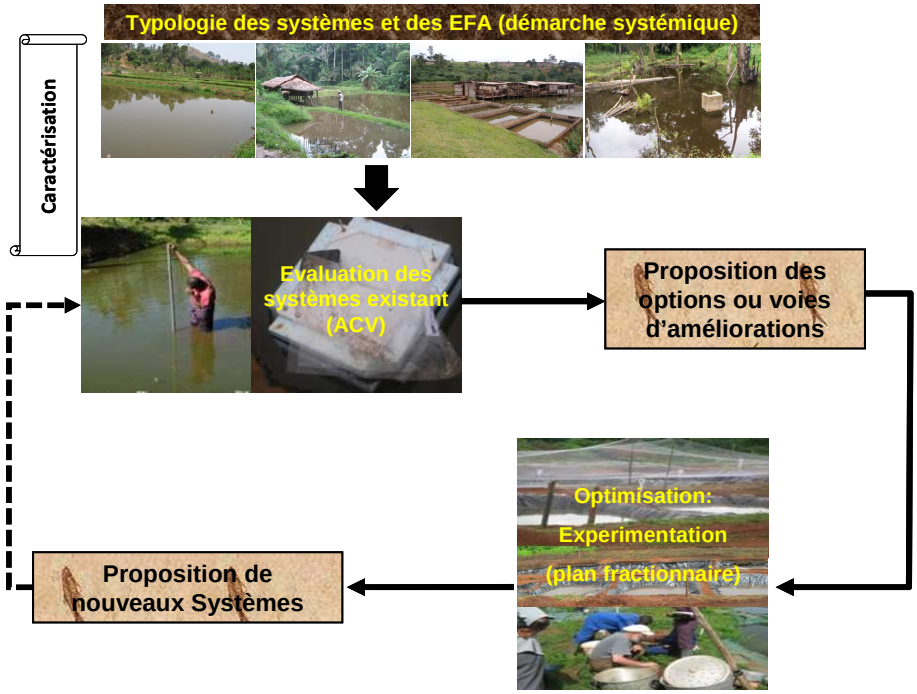


Figure 5.1 : Démarche adoptée pour identifier les voies d'amélioration de la pisciculture en étang

Au-delà des éléments de réponse apportés par cette démarche, celle-ci offre un cadre privilégié pour questionner les systèmes de pisciculture. De très nombreuses questions sont soulevées tant sur les méthodes utilisées que sur les limites des systèmes de pisciculture au sein des territoires.

C'est pourquoi, dans le présent chapitre, nous discuterons d'une part des apports et des limites de l'approche générique proposée et d'autre part des résultats obtenus pour améliorer le ou les modèles locaux de pisciculture du Cameroun.

5.1. Apports et limites méthodologiques de la démarche

5.1.1. Contexte et typologie des systèmes de pisciculture intégrés dans les EFA

La typologie des modes de production piscicole a été construite sur la base des diverses caractéristiques des exploitations familiales agricoles dans lesquelles cette production s'insère. Cette approche a été utilisée pour mieux appréhender les stratégies mises en place par les exploitants afin de faire face aux contraintes environnementales et socioéconomiques. Elle a permis de décrire les systèmes piscicoles associés aux autres systèmes de production de l'EFA, très peu ou presque pas d'exploitants ayant la pisciculture pour seule activité. La production piscicole est une spéculation comme d'autres pouvant générer des revenus tout en ayant la particularité de pouvoir résorber les rejets et sous-produits d'autres activités de l'exploitation.

Afin de conserver le maximum d'informations traduisant la complexité de ces exploitations, la typologie a été établie en appliquant des méthodes d'analyse multidimensionnelle (Analyse en Composante Multiple, Classification Ascendante Hiérarchique) à des résultats d'enquêtes. Si les méthodes utilisées se sont révélées pertinentes (Stevenson *et al.*, 2007 *;* Joffre et Bosma 2009), la portée les résultats de ce travail se trouve limitée par le nombre restreint d'EFA enquêtées. Ceci reflète cependant la réalité locale d'une pisciculture émergeante dont les exploitations en activité sont encore peu nombreuses. De plus nous avons parfois eu des difficultés à acquérir certaines données (économiques notamment), la pisciculture demeurant encore une activité en quête de viabilité économique dans les EFA du Cameroun (Mikolasek *et al.*, 2009a). Par ailleurs, seule deux régions du Cameroun parmi les 5 qualifiées de forte potentialité aquacole (Pouomogne et Pemsl, 2008) ont pu être couvertes. Toutefois, le but recherché n'était pas de faire une typologie exhaustive pour le Cameroun, mais de caractériser les principaux types de systèmes piscicoles existants.

De cette démarche, il ressort que, outre divers niveaux d'intensification, diverses formes et intensités d'intégration de l'atelier piscicole dans l'exploitation apparaissent et permettent d'approcher les stratégies des exploitants.

5.1.2. Evaluation agro-environnementale des systèmes de pisciculture

L'outil d'analyse environnementale (l'Analyse de Cycle de Vie -ACV) a été peu appliqué aux systèmes de productions piscicoles à faible niveau d'intrants dont la production est basée sur le recyclage des sous-produits et/ou des rejets des systèmes de productions associés. Outil pertinent, car à la suite d'une caractérisation de manière approfondie, le système global est évalué par les impacts environnementaux qu'il génère. Cette caractérisation détaillée permet aussi de déterminer les points nécessitants des améliorations.

Dans ce travail la démarche ACV a pu être appliquée aux différentes catégories d'exploitation précédemment identifiées: des plus extensives sans apports trophiques aux plus intensives utilisant un complément alimentaire en plus de la fertilisation organique. Cependant, l'utilisation de l'ACV a montré un certain nombre de limites méthodologiques dont la principale à laquelle nous avons été confronté, est la conduite de l'inventaire, avec la nécessité d'obtenir des données

fiables sur le fonctionnement des exploitations et l'évaluation des émissions. Par ailleurs, une autre difficulté rencontrée a été des abandons et des interruptions de cycle sans préavis, alors que les échantillonnages et analyses de début de cycle avaient été réalisés (situation s'étant rencontrée 10 fois contre sur 20 cycles ayant été conduits jusqu'au bout et analysés)

Les principales limites portent sur les points suivants:

- *La quantification des rejets*:

La méthode du bilan nutritionnelle (Cho et Kaushik, 1990) utilisée dans les systèmes aquacoles intensifs par souci de simplification ne considère que la part de nutriments non fixée par les poissons le reste étant considéré comme rejeté dans l'environnement. L'application de cette méthode à la pisciculture d'étang surestime la quantité de nutriments réellement rejetée et en conséquence les impacts sur l'environnement. En effet au cours du fonctionnement d'un étang, les nutriments (N et P) peuvent être aussi piégés pour grande partie dans les sédiments (Muendo, 2006). L'importance des sédiments traduit la mauvaise utilisation des nutriments par le système mais n'est pas indicatrice d'une forme de rejet. Les sédiments sont à la fois une source et une zone de stockage de nutriments utiles pour la production piscicole. Ainsi une meilleure estimation des rejets de ces piscicultures nécessiterait la prise en compte de l'ensemble des processus qui se produisent dans les différents compartiments (poisson, eau, et sédiment) au cours du cycle de fonctionnement de l'étang.

Les sédiments peuvent être considérés comme une forme de réserve qui peut être remobilisée pour la fertilisation des champs (Muendo, 2006 ; Udo *et al.*, 2011) ou réutilisée en fertilisation pour le prochain cycle de production de l'étang. Le principal problème pour la prise en compte des sédiments dans un inventaire ACV réside dans leur quantification. De nombreuses incertitudes liées à la méthode de mesure des volumes et à l'échantillonnage (nécessaire pour appréhender la composition chimique des sédiments) demeurent. Par ailleurs les émissions de gaz du système étang n'ont pas été pris en compte dans ce travail ce qui sous-estime les impacts sur le changement climatique et l'acidification. Les travaux de Gross *et al*. (2000) et Boyd *et al.* (2007) fournissent quelques estimations des émissions de gaz, et pourront servir à améliorer les prédictions.

Enfin, les étangs de barrage « bloquent » aussi les flux de nutriments issus du lessivage des sols du bassin versant améliorant dans certains cas la qualité de l'eau en aval. De tels systèmes peuvent retenir une grande quantité de C, N et P (Gal *et al.*, 2003) dont une très grande partie est fixée les poissons et exportée lors la récolte. A contrario, des substances toxiques peuvent s'accumuler dans les sédiments et les différents compartiments du réseau trophique (y compris le poisson) (Liang *et al.*, 1999).

- *Les quantités d'eau consommées dans certains systèmes extensifs*:

Les étangs de barrage exploités pour produire du poisson permettent le stockage d'eau et augmentent ainsi la disponibilité locale de cette ressource par recharge de la nappe. Malgré la dépendance à l'eau de ces systèmes, sont-ils consommateurs de la ressource « eau »? Cet indicateur est –il alors pertinent au même titre qu'il ne peut pas être appliqué à une pêcherie ? (Brummett *et al.*, 2010).

- *L'estimation du temps de travail dans une EFA de manière générale et par activité*:

Dans les systèmes extensifs, le temps de travail est principalement lié à la récolte et l'entretien des étangs. L'estimation du temps de main d'œuvre, familiale ou non, consacrée au suivi quotidien de l'ensemble des activités de l'EFA est souvent difficile. Le caractère saisonnier des activités agricoles confère une valeur différente au temps de travail. La valeur du temps du travail diffère selon que l'on se situe dans une période d'activité intense ou de moindre activité. Son évaluation reste délicate (Reboul, 1984). Par ailleurs l'utilisation d'une main d'œuvre importante constitue souvent un impact en faveur de ces systèmes pour lutter contre la pauvreté.

- *La non prise en compte des fonctions ou impacts des étangs de pisciculture liés à la biodiversité*:

Dans l'ACV, il n'y a pas de catégorie d'impact de l'utilisation aquacole des étangs sur la biodiversité et les services écosystémiques que rendent ces derniers :

→ Les étangs piscicoles en plus de leur fonction socio-économique et de leur rôle dans la régulation de la ressource en eau contribuent à la *diversité écologique* en participant à la sauvegarde du patrimoine faunistique et floristique (Gadenne et Jouan, 2003). Ces écosystèmes abritent un patrimoine naturel de grand intérêt et représentent également un site d'accueil et de reproduction de nombreux animaux (Broyer et Dalery, 2000 in Trintignac et Kerleo, 2004). Cette forte biodiversité permet non seulement d'assurer un bon fonctionnement du cycle biologique de l'étang mais également une bonne croissance des poissons (Balvay, 1980).

→ Les dégâts écologiques résultant de l'introduction d'espèces animales exotiques en aquaculture constituent un problème sous-estimé. Pour l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), l'introduction de nouvelles espèces est la principale source d'extinction des poissons d'eau douce (Cizel, 2003). Or, un plan d'eau constitue un lieu privilégié de leur multiplication et de leur diffusion potentielle quelle que soit l'origine des introductions (Billard et Sevrin-Reyssac, 1993).

5.1.3 Optimisation agro-environnementale et économique du système de pisciculture en étang

Les plans multifactoriels fractionnaires (ou incomplets) d'expérimentation ont apporté des éléments nouveaux dans les systèmes de production biologique (Tinsson, 2010). La méthode qui permet de traiter un nombre important de facteurs en minimisant le nombre d'unités expérimentales a donné de bons résultats en milieux aquacoles contrôlés (Wang *et al.*, 2006 ; Gardeur *et al.*,2007). Son application en milieu ouvert et semi-contrôlé en vue d'exploration des facteurs ou combinaisons de facteurs pour optimiser un système de pisciculture en étang est novatrice. La mise en place de l'expérience a été particulièrement lourde (construction des étangs) et difficile (mobilisation des poissons et intrants, conduite expérimentale). Malgré la mortalité des carpes, cette phase expérimentale peut-être considérée comme une réussite. Bien qu'exploratoire, elle offre de nouvelles perspectives pour aborder la complexité des systèmes de pisciculture en étangs.

Par ailleurs, le besoin de sécuriser le système afin de pouvoir comparer les effets des facteurs toutes choses égales a conduit à le simplifier par l'utilisation d'une bâche. Ceci présente l'avantage de supprimer une source de variabilité importante liée au substrat et aux risques d'infiltration mais par contre ne reproduit pas intégralement le fonctionnement des étangs de

pisciculture en milieu réel. Pour cette première approche exploratoire, cela nous a paru cependant un bon compromis.

Pour respecter la démarche générale, le choix des facteurs se réfère à la fois aux pratiques des pisciculteurs concernant le système de pisciculture le plus courant au Cameroun (la pisciculture semi-intensive associant Tilapia et Clarias), à la disponibilité locale, à la qualité et aux coûts des intrants ainsi qu'aux questionnements portés par l'analyse environnementale. Les combinaisons de facteurs les moins «polluantes» sont celles qui présentent les meilleurs rendements du fait du calcul des impacts par kg de poisson produit. Le rendement économique a été aussi pris en compte pour évaluer la durabilité des systèmes. Cet ensemble de préoccupations éclaire le choix des facteurs qui différent dans certains cas de ceux utilisés dans l'analyse environnementale: par exemple fientes de poulet plutôt que lisiers de porc dont le stockage (et le maintien d'une qualité stable) est difficile; la chaux et la cendre, cette dernière compte tenu de son faible coût etc.

Ce choix d'utiliser des intrants composites est critiquable dans la mesure où nombre d'entre eux associent plusieurs éléments (C, N et P), cependant il reflète mieux les pratiques des producteurs. Toutefois, ceci peut rendre difficile l'expression et l'interprétation des facteurs. L'analyse à posteriori des apports sous la forme de C, N et P et de leur ratio respectifs reste à faire pour approfondir ce travail exploratoire.

5.1.4 Les apports et les limites de la démarche globale proposée

La démarche globale proposée intègre une certaine multidisciplinarité permettant de prendre en compte l'objet (la pisciculture) et l'acteur (l'exploitant) dans son environnement. Elle permet à la fois d'évaluer les pratiques des producteurs ainsi que les mécanismes qu'ils développent afin de faire face aux contraintes du milieu, de rendre compte du fonctionnement des systèmes piscicoles intégrés dans les systèmes agraires et d'envisager les possibilités de leur amélioration.

Outre les limites déjà évoquées pour des chacune des étapes de la démarche, sa mise en œuvre de manière itérative nécessitent du temps.

5.2 Intensification et durabilité des systèmes de production piscicole

Les systèmes de pisciculture étudiés se partagent en deux grands «modèles» de pisciculture en étangs selon le niveau d'intensification en intrants, l'un extensif à base d'une monoculture de Tilapia mâle à faible niveau d'intrants et l'autre semi-intensif à base d'une association Tilapia-Clarias à niveau d'intrants moyens à fort. Dans le premier modèle, la production de poissons est réalisée dans de grands étangs de barrage dans la région Centre (type « grande extensive ») tandis que le deuxième est conduit dans des étangs en dérivation de petite taille dans la région Ouest (type « petite semi-intensive »), de moyenne ou grande taille dans la Région Centre (type « moyenne semi-intensive » ou type « grande semi-intensive »). L'analyse agro-environnementale a porté sur les 3 premiers types de pisciculture en étangs: grande extensive, petite et moyenne semi-intensives. Les essais d'optimisation ont été effectués sur

l'association Tilapia-Clarias qui est la forme de production la plus pratiquée et celle qui a été jusqu'à une date récente exclusivement vulgarisée au Cameroun.

L'examen des résultats de l'analyse environnementale met en évidence une discontinuité entre les pisciculture extensives et semi-intensives. Les premières (hors dépendance à l'eau), de par leur fonctionnement présentent moins d'impacts environnementaux. Une intensification au sein des systèmes semi-intensifs ne conduit pas à une réduction des impacts comme relevé par d'autres auteurs (Phong *et al.,* 2011) dans des systèmes équivalents. En fait, de manière générale, la productivité est assez faible avec de très grands écarts de rendement en relation avec un renouvellement d'eau important et une gestion non raisonnée des intrants. Il apparaît aussi que l'origine et le coût élevé des ingrédients soit utilisés dans l'alimentation des élevages terrestres qui ont de surcroît de faibles rendements eux aussi, ou soit apportés directement dans les étangs, dégradent les indicateurs environnementaux de l'ACV.

Les essais d'optimisation basés sur les pratiques des producteurs donnent des éléments d'explication aux mauvais résultats de la polyculture actuelle, l'intérêt des voies les plus extensives même dans les systèmes semi-intensifs à base de Tilapias et Clarias reposant sur des produits largement disponibles comme la fiente de poulets (bon rapport qualité/prix). Il apparaît que l'intensification n'est viable (durable) que si l'on dispose d'ingrédients dont le rapport qualité/prix est acceptable. Ceci exclut par exemple le remoulage qui est pourtant l'un des ingrédients les plus courants et le plus souvent utilisé au Cameroun. Le remoulage indirectement via les élevages terrestres ou directement dégrade à la fois les indicateurs agronomiques et économiques.

Ainsi au sein de ces systèmes semi-intensifs expérimentaux, deux combinaisons sont apparues comme les plus performantes sur le plan économique l'une à faible densité de poissons (modalité base/2, soit 1.2 poisson/m²) avec pour seul intrant de la fiente de poulet, et l'autre à densité plus élevée (modalité base, soit 2,2 poissons/m²) avec en plus de la fiente, un ajout de pain. Bien que cela n'ait pas été clairement démontré du fait des fortes mortalités de cette espèce durant notre expérinece, on peut émettre l'hypothèse que l'ajout de carpe dans un ratio par rapport au Tilapia de 1:10 ou 1:5 favoriserait la remise en « mouvement » des nutriments sédimentés. L'ajout du silure local malgré une croissance lente pourrait contribuer à limiter la prolifération d'alevins de Tilapias.

Les pisciculture extensives et semi-intensives sont les seules à s'être maintenues au Cameroun (Mikolasek *et al.*, 2009a). Le contexte décrit dans le chapitre 2 permet de comprendre pourquoi les tentatives de mise en œuvre de systèmes intensifs ont été souvent vouées à l'échec. Le problème de manque d'alevins de qualité, souvent évoqué comme contrainte majeure (Pouomogne *et al.*, 2010 ; Brummett *et al.*, 2000) n'est qu'un élément parmi l'ensemble des problèmes techniques à résoudre pour chacune de ces pisciculture afin d'assurer non seulement de meilleures productions mais aussi leur viabilité économique qui jusqu'ici n'est pas encore démontrée pour la plupart d'entre-elles. Celle-ci repose sur la qualité des structures d'élevage, la maîtrise de la gestion de l'eau et donc plus largement de l'acquisition des principes de la pisciculture et du savoir-faire associé par les producteurs. Ce coût de la formation est très largement sous-estimé par les projets de développement et les pouvoirs publics en général (Grosse et Oswald, 2010).

5.2.1. Les pisciculture les plus extensives

Les systèmes extensifs valorisent les grands espaces et jouent un rôle écologique important. Ils fixent et recyclent des nutriments collectés par les eaux dans le bassin versant réduisant ainsi des effets d'eutrophisation potentielle des milieux récepteurs. En effet, il a été démontré qu'ils étaient capables d'extraire 81,5% de carbone organique, 54,7% d'azote et 72,2% phosphore des rejets des autres systèmes d'élevages intensifs et dont une part importante est fixée par les poissons (Gal *et al.,* 2003). Le seul danger potentiel de ces systèmes (non encore démontré à ce jour au Cameroun) pourrait être la bioaccumulation par les poissons des métaux traces des pesticides agricoles (Liang *et al.,* 1999) ceci plus particulièrement lorsque l'étang se situerait en aval d'un bassin à forte concentration d'activités agricoles. Ces systèmes se trouvent également économiquement viables et sont mieux adaptés en cas de ressources limitées.

5.2.2. Les pisciculture les plus intensives

Elles ne sont pas toujours économiquement viables et presque toutes écologiquement non soutenables. La supplémentation alimentaire ou l'apport d'autres intrants en excès contribuent à la dégradation de l'environnement aval. Cela traduit une mauvaise compréhension des principes de la pisciculture par les producteurs et plus largement des connaissances insuffisantes. La forte capacité de mobilisation des intrants par les exploitants n'est pas en adéquation avec la maîtrise technique. Les alevins et les intrants trophiques constituent le principal coût de production ce qui explique pour partie des marges faibles et parfois négatives en cas de mauvais résultats (Pouomogne, 2008 ; Kriesemer, 2009). Néanmoins, l'expérimentation en plan fractionnaire a montré qu'elles ont le potentiel d'être viables, via la mobilisation d'intrants adaptés comme le pain dont la qualité nutritionnelle a été démontrée.

5.2.3. Les pisciculture de petite taille

Intermédiaires entre les deux types précédents, elles sont autant productives que les plus intensives avec l'avantage d'être moins polluantes, et de surcroît rentables même si les marges sont faibles comme le relève également Kriesemer (2009). Les densités d'empoissonnement qui y sont pratiquées par les pisciculteurs sont très fréquemment de 3 individus/m² (soit 2 Tilapias : 1 Clarias) comme cela leur est recommandée par les vulgarisateurs (Bogne *et al.,* 2008) ou de 2,5 individus/m² (1,5:1) comme proposé par Pouomogne (2008). Ces densités, sous réserve d'une bonne gestion de l'eau et des ressources trophiques, permettraient de bonnes croissances des poissons

Les importants impacts environnementaux potentiels des systèmes semi-intensifs camerounais que nous avons analysés sont tout de même à relativiser. En effet, le contexte local de rareté et de cherté des sous-produits agroindustriels s'est répercuté sur le niveau des impacts à travers l'allocation économique de chaque produit utilisé. Les incertitudes liées à la méthode de quantification des rejets et l'usage de la méthode de bilan nutritionnel moins adaptée à ces systèmes, auraient aussi contribué à surestimer ces impacts.

La gestion de l'eau, les ressources disponibles et une maîtrise technique s'appuyant sur des démonstrations pratiques qui permettent de résoudre des problèmes spécifiques restent au cœur du développement de cette pisciculture.

5.3. L'amélioration des systèmes de pisciculture en étangs au Cameroun

Les voies d'amélioration de cette pisciculture passent d'abord par une maîtrise de la gestion de l'eau afin d'éviter les pertes de nutriments, des densités d'empoissonnement comprises entre 0,3 à 2 poissons par m² en fonction du niveau d'intrants et enfin une gestion raisonnée des intrants. Ce système a l'avantage de favoriser la croissance des poissons et permet ainsi de réduire la durée des cycles d'élevage et donc de couvrir plus régulièrement les besoins de trésorerie des producteurs. Une plus forte intensification ne sera possible que si l'on dispose d'un aliment à rapport qualité/prix en adéquation avec le prix de vente du poisson. Dans cette perspective, l'intensification des systèmes les plus extensifs à base de Tilapia est envisageable à travers quelques intrants comme la fiente de poulet (sous réserve que les producteurs disposent d'une trésorerie suffisante) et le pain (suivant sa disponibilité). Ainsi une intensification relative des différents systèmes est possible à condition que les producteurs aient acquis les principes de la pisciculture notamment la compréhension des interactions existantes entre la densité de mise en charge des poissons, le niveau d'intrant et le poids individuel final attendu.

Les facteurs testés dans le chapitre 4 peuvent être classés selon l'ordre d'importance décroissant suivant: densité, pain, remoulage chaux et cendre qui ont eu des effets positifs ou négatifs sur la croissance spécifique et le gain de biomasse totale du système, puis des facteurs espèces associées (carpes, silures) qui ont eu peu ou pas de contribution.

→ Les densités de base faible (1,2 ind/m²) et forte (2,2 ind/m²) utilisées se révèlent mieux adaptées pour les étangs de pisciculture où aujourd'hui des densités plus fortes sont très fréquemment pratiquées.

→ Le pain a été la meilleure source de carbone organique qualité prix comparativement au remoulage.

→ L'introduction de 1 à 2% de carpe commune dans le système permet d'améliorer la fixation des nutriments et donc de réduire les rejets phosporés.

A partir des facteurs testés, les meilleures combinaisons relevées démontrent plus largement le rôle important d'une bonne source de carbone organique, l'association des espèces à régime alimentaire complémentaire de même que celles à faible croissance jouant un rôle de régulation dans le système (multitrophique). Ceci a été confirmé par Bosma et Verdegem (2011) qui relèvent que l'amélioration de ces systèmes nécessite de jouer sur des ratios Carbone/Azote en combinaison avec des synergies interspécifiques par association d'espèces à niches écologiques différentes. Ainsi la recherche de nouvelles espèces locales à niche complémentaire dans ce contexte de très faible nombre d'espèces aquacoles, de même que de nouvelles sources de carbone organique digestible et bon marché se trouvent être au centre du développement de ces systèmes. Le remoulage et l'urée reste donc ainsi à la marge et ne saurait s'utiliser simultanément notamment en présence d'un fertilisant de base déjà riche en azote. Une réflexion devrait être menée quant à leurs apports relatifs.

Au niveau des fermes, le choix du système doit être basé sur la quantité de ressources mobilisables et accompagné d'une gestion rigoureuse de ces ressources et de l'eau et (figure 5.2). Ces principes garantissent la durabilité du système.

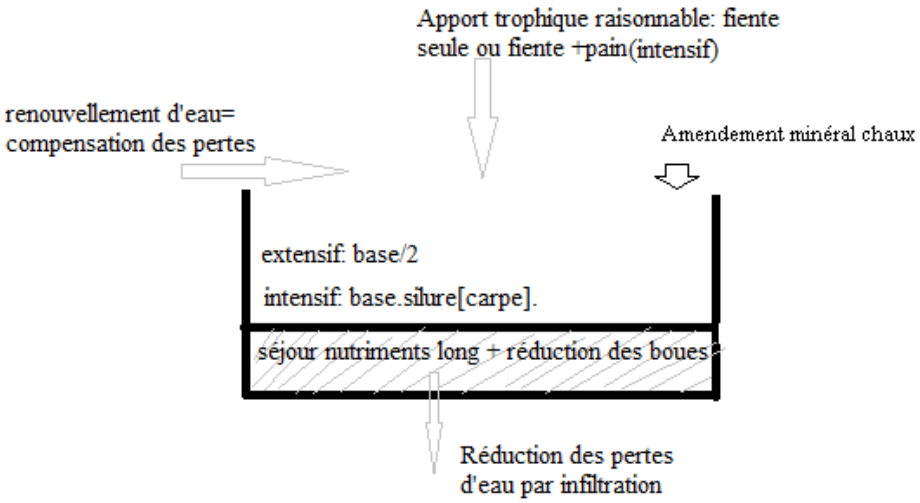


Figure 5.2 : Optimisation de l'utilisation des nutriments et de la gestion de l'eau de l'étang

Conclusion générale et perspectives

Quatre types d'Exploitation Familiale Agricole se distinguent par les formes d'intégration de la pisciculture: de petites allant d'une faible à une très forte intégration horizontale (avec les autres productions de l'exploitation) et mieux adaptées aux recyclages des rejets et sous-produits et de plus grandes tendant vers une intégration verticale où chaque sous-système de production est isolé.

Les niveaux de production de la pisciculture restent faibles en raison de la non maîtrise des choix techniques opérés par les exploitants. Cela traduit la mauvaise compréhension des principes de la pisciculture par les producteurs et plus largement des connaissances insuffisantes. De ce fait, dans le contexte sub-saharien étudié, l'efficience du système, notamment au travers de sa capacité à valoriser les apports nutritionnels, diminue avec l'élévation du niveau d'intensification.

L'ACV se révèle adaptée pour l'analyse des systèmes de pisciculture en étang extensif et semi-intensif intégrés dans les EFA sous réserve d'une bonne appréciation des rejets. Elle ouvre un questionnement sur la rentabilité d'autres activités de production de l'exploitation en relation avec la pisciculture. A l'exception du travail humain sensiblement égal dans tous les systèmes, la dépendance à l'eau et l'utilisation des surfaces pour quelques fermes du type d'exploitation extensif, les impacts environnementaux augmentent avec l'intensification du système et sont élevés comparés à ceux relevés dans les autres systèmes aquacoles équivalents. Leur faible niveau de rendement, la source et l'origine des apports trophiques en ont été déterminants pour le niveau des impacts. La gestion du système en l'occurrence de l'eau, ainsi que la défaillance de certains facteurs de production sont responsable de la faiblesse des niveaux de rendement.

Sous réserve de la disponibilité des intrants, deux types de système et trois combinaisons durables ont émergé de l'expérimentation factorielle:

- un système semi-intensif à faible niveau d'intrant et faible densité d'élevage (1,2 Tilapia et Clarias/m²) utilisant uniquement de la fiente de poule;
- un système semi-intensif à fort niveau d'intrant et forte densité d'élevage (2,2 Tilapia et Clarias /m²) + silure + pain+ chaux, présentant deux combinaisons en fonction de la disponibilité de la carpe qui peut ou non être ajoutée. L'ajout de la carpe rend la combinaison plus efficace.

Ce résultat montre l'existence de deux logiques opposées également viables dans le contexte étudié, celle de l'extensif et celle de l'intensif; les combinaisons intermédiaires ayant conduit à des échecs au plan environnemental ou économique. Une détermination des niveaux d'apport en nutriment optimum des systèmes définis permettrait de construire des modèles durables de pisciculture dans le contexte camerounais.

D'autres études complémentaires qui pourraient permettre d'améliorer la viabilité des modèles proposés seraient aussi envisageables. Notamment nous pouvons citer:

- Une évaluation du potentiel d'approvisionnement en pain et ou d'autres éléments de substitution de composition chimique présentant des qualités semblables (digestibilité accrue de l'amidon par cuisson ou toastage) et à coût équivalent ou faible,

- Une détermination des effets «toxiques» véritable de la cendre,
- Le rôle du Silure local sur le contrôle des alevins de Tilapia,
- Un essai avec du remoulage préalablement bouilli ou trempé dans de l'eau chaude.
- Une identification de nouvelles espèces locales de polyculture soit à niche trophique complémentaire à celles des espèces déjà utilisées ou à faible croissance mais pouvant avoir un rôle de régulation dans le système;
- Une réflexion sur les ressources et technologies disponibles pour une intensification écologique des modèles de polyculture : (1) En étangs de barrages gérés en extensif en zone forestière où l'élevage est basé sur leTilapia, l'introduction de nouvelles espèces dans l'élevage, améliorerait-elle le rendement ? (2) En élevage semi-intensif à base de l'association Tilapia-Clarias, une meilleure gestion des intrants tels de la fumure largement disponible (ex fiente de poulet, déchets urbains domestiques…) avec ou sans supplément carboné combinée à l'ajout de nouvelles espèces non compétitives sur le plan trophique augmenteraient-elles la rentabilité de l'élevage tout en diminuant les rejets ? (3) la mise en œuvre des systèmes multitrophiques dans un même étang (cage dans l'étang) ou un même plan (mettre en série un étang géré en semi-intensif et un étang géré en extensif qui profiterait des rejets du précédent) est-elle une solution pour améliorer la durabilité de la production piscicole dans une EFA ?

Cet ensemble d'éléments repose également en amont sur une réflexion autour des aménagements physiqueset d'approvisionnement en eau dans les différentes régions que ce soit pour des étangs de dérivation de petite taille comme dans l'Ouest ou pour des étangs de barrage de grande taille comme dans le Centre.

Pour être rapidement transférés, ces travaux complémentaires doivent se conduire en partenariat entre les scientifiques, les développeurs et les groupements de pisciculteurs. La formation des producteurs devrait être au centre de la démarche de transferts de compétences.

Références bibliographiques

Acosta-Alba I., 2010. Quelles valeurs de référence pour l'analyse de la durabilité environnementale des systèmes de production animale ? Méthode de détermination et application aux exploitations laitières de Bretagne. Thèse de Doctorat en Sciences de l'environnement d'Agrocampus- Ouest, Rennes, France, 179 p.

AFNOR NF en ISO 11905-1, 1998. Qualité de l'eau- Dosage de l'azote – partie 1 : méthode par minéralisation oxydante au peroxodisulfate. Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, 1162 p.

AFNOR NF ISO 10694, 1995. Qualité du sol- Dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche "analyse élémentaire" Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, 962 p.

AFNOR NF ISO 13878, 1998. Qualité du sol- Détermination de la teneur totale en azote par combustion sèche "analyse élémentaire". Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, 982 p.

AFNOR, 1994. Qualité de l'eau. Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, 862 p.

Albert G.J. Tacon A.G.J., Metian M., Hasan M.R., 2009. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: Sources and composition. *fisheries and aquaculture technical paper*, FAO (Ed), , Rome (Italie), **540**, 222p.

Anonyme, 2002. Review and synthesis of the environmental impacts of aquaculture. The Scottish Association for Marine Science and Napier University (Ed), Scotland (U.K.), 41 p. + annexes

Anonyme, 2006. Pôle de Compétence en Partenariat du Grand Sud Cameroun, Programme scientifique-Document de travail (cd-rom).

Anonyme, 2007. L'Aquaculture, seul moyen de combler le "déficit de poisson". L'avenir de la pisciculture au cœur d'une réunion ministérielle. Note de synthèse réunion du 19 novembre 2007. FAO, Rome (Italie),

http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2007/1000701/index.html (consulté en Novembre 2008)

APHA, 1976. Standard method for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA), Washington, 420-423

Arrigon J., 1998. Aménagement piscicole des eaux douces - 5^{e} édition, Tech et Doc Lavoisier (Ed), Paris, 589 p.

Assiah V., E., Schie T., V., Hilbrands A., 1996. La pisciculture en eau douce à petite échelle. *Agrodok **15***, Wagenigen, Pays-Bas, 80 p.

Aubin J., Papatryphon E., van der Werf H.M.G., Chatzifotis S., 2009. Assesment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *J. Cle. Pro.*, **17**, 354-361

Aubin J., Papatryphon E., Van der Werf H.M.G., Petit J., Morvan Y.M., 2006. Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) recirculating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture*, **261** (4), 1259-1268

Aubin J., Tocqueville A., Kaushik S.J., 2011. Characterisation of waste output from flow-through trout farms in France: comparison of nutrient mass-balance modelling and hydrological methods. *Aquat. Living Resour*., **24**, 63–70. DOI : 10.1051/alr/2011008. www.alr-journal.org (consulté en septembre 2011)

Aubin J., van der Werf H.M.G., 2009. Pisciculture et environnement: apports de l'analyse du cycle de vie. *Cah. Agric*., **18**, 220-226

Axler R.P., Tikkaneen C., Henneck J., Schuldt J., McDonald M.E., 1997. Characteristics of effluent and sludge from two commercial Rainbow trout farm in Minnesota. *The progressive Fish-culturist*, **59**, 161-172

Babiak I., Brzuska E., Perkowski J., 2000. Fractional factorial design of screening experiments on cryopreservation of fish sperm. *Aquaculture Research*, **31**, 273-282

Bachasson B., 1997. Mise en valeur des étangs *2nd éd*. Paris. *Editions Tec et Doc Lavoisier*, 176 p.

BAfD/OCDE, 2008. Perspectives économiques en Afrique, Cameroun, OCDE (Ed), 209-222, http://dx.doi.org/10.1787/325632240625 (consulté en Mai, 2009) ,

Balvay G., 1980. Fonctionnement et contrôle du réseau trophique en étang. *In* R. Billard (ed), La Pisciculture en Etang, I.N.R.A., Paris, 47-79

Banas D., 1997. Incidence des piscicultures extensives du bassin versant de Lindre. *Mémoire de DEA en Sciences Agronomiques de l'Université de Metz*, Metz (France), 27 p.

Banas D., 2001. Flux de matières en étang piscicole extensif : Retention, Sédimentation, Exportation. *Thèse de Doctorat en Sciences de la Vie- Hydrobiologie de l'Université de Metz*, Metz (France), 335p

Bard J., de Kimpe P., Lemasson J., Lessent P., 1974. Manuel de pisciculture tropicale, Centre technique forestier tropical (Ed), Nogent-sur-Marne (France), 209 p.

Baroiller J.F., Jalabert B., 1990. Physiologie de la reproduction des Tilapias: bilan des connaissances et perspectives de recherche d'intérêt appliqué. *Cahier Sci. CTFT*, **10**, 39-62

Barroin G., 1990. La pollution des eaux par les phosphates. *La Recherche*, **21**, 620-627

Basset-Mens C., 2005. Propositions pour une adaptation de l'Analyse de Cycle de Vie aux systèmes de production agricole. Mise en œuvre pour l'évaluation environnementale de la production porcine. *Thèse Doctorat en Sciences de l'environnement d'Agrocampus*, Rennes (France), 241 p.

Batterson T.R., Mcnabb C.D., Knud-Hansen C.F., Eidman H.M., Sumatadinata K., 1989. Indonesia: cycle III of the global experiment. *In* Egna H.S.J. (Ed) ponds Dynamics/aquaculture, Oregon State University (Ed), Corvallis, CRSP data reports, **N° 3**, 135 p.

Beaupied H., 1980. Le cycle de l'Azote dans les étangs. *In* R. Billard (Ed), La pisciculture en étang, *INRA Publ.*, Paris (France), 81-97

Bentz B., Oswald M., 2010. Respective roles of national institutions and farmers groups in the implementation of an innovation enabling smallholders to reproduce Carp inside their rice fields in betafo (Madagascar), Symposium Innovation and sustainable development in agriculture and food, ISDA2010, Montpellier (France), 8 June to 1er July 2010 http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/52/27/95/PDF/Bentz_Oswald_respective_roles.pdf (consulté en septembre 2011)

Billard R., 1980. La polyculture en étang. *In* R. Billard (Ed), La pisciculture en étang, *INRA Publ.*, Paris (France), 269-281

Billard R., 1995. Les systèmes de production aquacole et leurs relations avec l'environnement. *Cah. Agric*., **4**, 9-28

Blancheton J.P., Dosdat A., Deslou P.J.M., 2004. Minimisation des rejets biologiques issus des élevages de poissons. *Dossier de l'Environnement INRA*, Paris (France), **26**, 68-79

Bogne Sadeu C., Mikolasek O., Barlet B., Chia E., Pouomogne V., Tomedi Eyango M., 2008. Change in the practices and representations of small-scale fish farming activity : a partnership research process in West Cameroon. *Proceedings of the 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Cairo (Egypt), October 12-14 2008, 633-644

Bosma R.H., Verdegem M.C.J., 2011. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits, *Livestock Science*, **139**, 58–68

Boström B., Janson M., Forsberg C., 1982. Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol*., **18**, 5-59

Boujard T., Vallée F., Vachot C., 2003. Evaluation des rejets d'origine nutritionnelle de truiticultures par la méthode des bilans. Comparaison avec les flux sortants. Note, *Dossier de l'environnement de l'INRA*, Paris (France), **26**, 32-35

Bourdieu P., Chamboredon J.C., Passeron J.C., 1968. Le métier de sociologue, préalables épistémologiques. Mouton-Bordas (Ed.), Paris (France), 430 p.

Boutet-Berry L., 2000. La problématique du plan d'eau. CSP Délégation régionale Centre-Pays de la Loire, Poitou-Charentes (Ed.), Poitiers (France), 36 p. + annexes

Boyd C.E, 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University (Ed.), Auburn (Etats- Unis), 359 p.

Boyd C.E., Tucker C., Mcnevin A., Bostik K., Clay J., 2007. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, **15**, 327-360.

Boyd C.E., Gross A., 1998. Water use and conservation for inland aquaculture ponds. *Fisheries Management and Ecology*, **7**, 55-63

Boyd C.E., 1990. Water quality in ponds for aquaculture, Alabama agricultural experiment station Auburn University. (Ed.), Auburn AI (USA), 482 p.

Bozena S., Weigel JY., 1998. Mythes et réalités des aquacultures Africaines. *Afrique contemporaine*, **187**, 60-76

Breine J.J., Nguenga D., Teugels G.G., Ollevier F., 1996. A comparative study on the effect of stocking density and feeding regime on the growth rate of Tilapia cameronensis and Oreochromis niloticus (Cichlidae) in fishculture in Cameroon. *Aquat. Living Resour*., **9(1)**, 51-56

Brossier J., 1987. Systèmes et système de production. *Cah. Sci. Hum.*, **23 (3/4)** , 377-390.

Brummet R., Lazard J., Moehl J., *2008*. African aquaculture: Realizing the potential. *Food policy*, **33**, 371-385

Brummet R.E., Gockwski J., Pouomogne V., Abo'o Medjo J.M., Soua N., Teteo F., 2005. Development of integrated aquaculture agriculture systems for small-scal farmer in the forest margins of Cameroon. *Final Technical report*, World Fish Center (ed),Yaounde (Cameroon) 34 p.

Brummett E.R, 2002. Comparison of African tilapia partial harvesting systems, *Aquaculture*, **214**, 103–114

Brummett R. E., Angoni E. D., Pouomogne V., 2004a. On-farm and on-station comparison of wild and domesticated cameroonian populations of *Oreochromis niloticus, Aquaculture*, **242**, 157-164

Brummett R.E and Williams M.J., 2000. Survey the evolution of aquaculture in African rural and economic development. *Ecological Economics*, **33**, 193-203

Brummett R.E, Gockowski J., Bakwowi J., Etaba A.D., 2004b. Analysis of aquacultures investments in periurban Yaoundé, Cameroon. *Aquaculture Economics and Management*, **8(5/6**), 1-10

Brummett R.E, Youaleu J.L.N, Tiani A.M., Kenmegne M.M., 2010. Women's traditional fishery and alternative aquatic resource livelihood strategies in the Southern Cameroonian Rainforest. *Fisheries Management and Ecology*, **17**, 221-230

Brunel J. P., Bouron B., 1992. Evaporation des nappes d'eau libre en Afrique sahélienne et tropicale. (Ed) *ORSTOM*, Paris (France), 413p.

BUCREP, 2010. Bureau central des recensements et des études de population : troisième recensement générale de la population et de l'habitat, Rapport de présentation des résultats définitifs, Yaoundé (Cameroun), 65 p.

Cappelletti L., Noguera F., 2005. Le développement durable de la valeur du temps de travail humain : une réponse à la mondialisation, *Management & Avenir*, **4/2005 (n° 6**), 183-200. URL: www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2005-4-page-183.htm. (consulté en juillet 2011) - DOI : 10.3917/mav.006.0183.

Casaca J.M., 2008. Policultivos de peixes integrados à produção vegetal: avaliação econômica e sócio ambiental (peixe-verde). *Tese de doutorado de Aqüicultura da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho* (UNESP), São Paulo, Brésil, 160 p.

CEE, 1978. Directive concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être apte à la vie des poissons. Communauté Economique Européenne (CEE) Directive 78/659.

Chambon B., Eschbach J., Plaza C., Gobina S., 2007. Diagnostic du secteur hévéicole villageois : modélisation de quelques exploitations agricoles de la province du Sud Ouest du Cameroun. *In* Penot E et Deheuvels O (Eds), Modélisation économique des exploitations agricoles : modélisation, simulation et aide à la décision avec le logiciel Olympe, Harmattan, Paris (France), 85-96

Chen Y.L., Chen H.C., Lee H.P., Chan H.Y., Hu Y.C., 2006. Rational development of GAG-augmented chitosan membranes by fractional factorial design methodology. *Biomaterials*, **27(10),** 2222-2232

Chia E., Dugué P., Sakho-Jimbira S., 2006. Les exploitations agricoles familiales sont-elles des institutions ?. *Cah. Agric*., **15 (6)**, 498-505

Cho C.Y., Kaushik S.J., 1990. Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (Salmo gairdneri). *World reviews in Nutrition and Dietetics*, **61**, 132-171

Cizel O., 2003. Introduction d'espèces exotiques et dégâts des espèces protégées. *Zones humides infos*, Société Nationale de Protection de la Nature (Ed), Paris (France), **39**, 19-23

Cliquet S., Durier C., Kobilinsky A., 1994. Principle of a fractional factorial design for qualitative and quantitative factors: Application on the production of Bradyrhizobium japonicum in culture and inoculation media. *Agronomie*, **14**, 569-587

Coche A.G., Laughlin T., Muir J.F., 1994. Méthodes simples pour l'aquaculture, pisciculture continentale : les étangs et leurs ouvrages : Ouvrages et agencement des fermes piscicoles. Collection FAO formation, FAO (ed), Rome, **20(2),** 214 p..

*Coch*e A.G., Laughlin T., Muir J.F., 1997. Méthodes simples pour l'aquaculture, pisciculture continentale : la gestion: les étangs et leur eau. Collection FAO Pêche, FAO (ed), Rome (Italie), 245 p.

Cochet H., Devienne S., 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cah. Agric*., **15 (6**), 578-583

Cole D.W., Cole R., Gaydos S.J., Gray J., Hyland G., Jacques M.L., Powell-Dunford N., Sawhney C., Au W.W., 2008. Aquaculture: Environmental, Toxicological, and health issues. *Int. J. Hyg. Environ. Heaith*, 212 (4), 369-377 - doi: 10.1016/J.ijheh.2008.08.003).

Copin Y., Oswald M., 1993. Orientation des techniques d'élevage de la pisciculture artisanale dans le centre- Ouest de la Côte d'Ivoire. *In* Banarbé G., Kestemont P. (Eds), Production, environnement and quality. Bordeaux aquaculture 92. *EAS spec. Publ.*, Ghent (Belgium), **18**, 407-419

Courade G., 1996. Entree libéralisme et ajustement structurel : la sécurité alimentaire dans un étau. *Cah. Agri.*, **5**, 221-227.

Cripps S.J., 1995. Serial particle size fractionation and characterization of an aquacultural effluent, Technical paper, *Aquaculture*, **133 (3/4)**, 323-339

da Silva N.J.R., Beuret J.E., Mikolasek O., Fontenelle G., Dabbadie L., Lazard J., Martins M. I. E. G., 2009. Dynamiques du développement de la pisciculture dans les deux régions du Brésil : une approche comparée. *Cah Agric*., **18 (2/3),** 284-291

Dabbadie L., 1996. Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrant dans le Centre –Ouest de la Côte d'Ivoire : Approche du réseau trophique. *Thèse de Doctorat en Océanographie de l'Université Paris 6*, Paris (France), 244 p.

Dabbadie L., 2008. L'optimisation de la densité d'empoissonnement d'un étang de pisciculture, *Pratique de l'aquaculture/ encyclopédie/ www. Aquatrop. Fr*. (consulté le 15/03/2009)

Dabbadie L., Lazard J., Oswald M., 2002. Pisciculture et élevages non conventionnels : Pisciculture, Mémento de l'Agronome, CIRAD-GRET (Ed), Ministère des Affaires étrangères(France), **2**, 1571-1651

Dagnelie P., 2003. Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats. *Gembloux, Presses agronomiques*, et édition électronique, <*www.dagnelie.be*>, 397 p.

Dagnelie P., 2008. Le plan d'expérience évolue….,*MODULAD*, **38**, 13-36.

Daumer M.L., Béline F., Guiziou F., Sperandio M., 2007. Influence of pH and biological metabolism on dissolved phosphorus during biological treatment of piggery wastewater. *Biosystems engineering*, **96 (3)**, 379-386

De Groot C.J., Golterman H.L., 1993. On the presence of organic phosphate in some Camargue sediments: evidence of importance of phytate. *Hydrobiologia*, **252**, 117-126

de Moor I.J., Bruton M. N., 1988. Atlas of alien and translocated indigenous aquatic animals in southern Africa. A report of the Committee for Nature Conservation Research National Programme for Ecosystem Research**.** *South African Scientific Programmes Report* **No. 144.** Port Elizabeth (South Africa), 310 p

Delery J.E., Doty DH., 1996. "Modes of theorizing in Strategic Human Ressource Management : Tests of Universalistic, Contingency, and Configurational Performance Predictions*", Academy Of Management Journal***, 39(4),** 802-835

Delery J.E., Gupta N., Shaw J. D., 2005. "Alternative Conceptualizations of the Relationship between Voluntary Turnover and Organizational Performance", *Academy Of Management Journal*, **48(1)**, 50-68

Deprest F., 1997. Enquête sur le tourisme de masse : *l'écologie face au tourisme*, Collection Mappemonde, Belin (Ed.), Paris (France), 207 p.

Despreaux M., 1990. Le phosphore et l'Azote dans les sédiments du fleuve Charente, variabilité partielle. *Thèse doctorat Terre, Ocean Espace Université de Lyon I*, Lyon (France), 199 p.

Diana J.S., Lin C. K., Bhukaswan T., Sirsuwanatach V., Buurma B.J., 1991. Thaïlland: cycle III of the global experiment. *In*: *ponds Dynamics collaborative research, data reports*, Egna H.S., Bowman, J. (Eds), Oregon State University Corvallis, 86 p.

Diana S.J., Kwei lin C., Kitjar Jayen, 1994. Supplemental Feeding of Tilapia in Fertilized Ponds. *Journal of the world aquaculture society*, **25(4),** 497-506

Diana S.J., Kwei lin C., Yang Y.I., 1996. Timing of Supplemental Feeding for Tilapia Production. *Journal of the world aquaculture society,* **27(4**), 410-419

Disponible sur : http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/9939/1/91585.pdf

Dufumier M., 2004. Quelles recherches agricoles pour le développement durable des pays du Tiers-monde? *Développement durable : leçons et perspectives* ; Université de Ouagadougou, Agence Universitaire de la Francophonie, Limoges (France), 92-97

Dugué P., 2007. Ressources, acteurs et institutions : un envirronnement qui change, in Gafsi M., Dugué P., Jasmin J.Y., Brossier J. (Coords), Eds) . Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre. Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion, *QUAE* Versailles (France), 25-44

Dugué P., Faure G., 2001. Quelques repères sur l'exploitation agricole et la fonction de conseil. Le conseil aux exploitations familiales, A*ctes de l'atelier sur le conseil aux exploitations agricoles en Afrique de l'Ouest et du centre, 19-23 nov*. Bohicon (Benin), 14-19.

Durand J. M., Royet P., Mériaux P., 1999. Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, Durand J. M., (coord) (Eds), *E.I.E.R.-Cemagref,* France, ISBN 2-85362-511-7, 415p.

Eaton J.G., McCormick J.H., Goodno B.E., O'Brien D.G., Stefany H.G., Hondzo M.R.M., 1995. A field information-based system for estimating fish temperature Scheller tolerances. *Fisheries,* **20(4),** 10-18

Ebeling J.M., Rishel K.L., Sibrell P.L., 2005. Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquaculture effluents. *Aquaculture Engineering,* **33**, 235-249

Eckert H., Breitschuh G., Sauerbeck D.R., 2000. Criteria and standards for sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* **163 (4)**, 337-351

Ecoinvent , 2007. Online: http://www.ecoinvent.ch/ (consulté en Mars, 2009)

Edwards P., 1993. Environmental issues in integrated agriculture-aquaculture and wastewater-fed fish culture systems. *In* Pullin R.S.V., Rosenthal H., Maclean J.L., (Eds), Environment and aquaculture in developing countries. Manila, Philippines *ICLARM Conference Proceedings*, **31**, 139-170

Edwards P., 2004. Traditional Chinese aquaculture and its impact outside China. *World Aquacult.*, **1**, 24-27

Edwards P., Little D.C., Yakupitiyage A., 1997. A comparison of traditional and modified inland artisanal aquaculture systems. *Aquaculture Research*, **28**, 777-788

Edwards P., Pacharaprakiti Ch., Yomjinda M., 1994. An assessment of the role of buffalo manure for pond culture of Tilapia. I. On-station experiment. *Aquaculture,* **126(1/2)**, 83-95

Efole Ewoukem T., 2008. Evaluation du rendement agro-ecologique de la pisciculture en étang en zone soudano-guineenne d'altitude de l'ouest-cameroun. *Thèse master en biotechnologie et production animale (aquaculture)* Université de Dschang, Cameroun, 89 p.

Efole Ewoukem T., 2009. Ecloserie artisanale familiale de silure africain (*Clarias gariepinus* Burshell, 1822) et de carpe commune (*Cyprinus carpio*) de la région Ouest-Cameroun. *Etude de cas FP7 Project, SARNISSA*, 23 p.. Online: www.cabicompendium.org/ac

Efole Ewoukem T., Aubin J., Tomedi Eyango M., Mikolasek O., Corson M.S., Tchoumboué J., Van der Werf H.M.G., Ombredane D., 2010. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Proceeding of LCAfood 2010,* **(1),** 375-380

Egna H.S., Boyd C.E., 1997. Dynamics of Pond Aquaculture. (Ed) Boca Raton New York, Etats-Unis: *CRC press*, 437 p.

El Hasnaoui A., Raki M., Boulassel A., 2004. Diagnostic participatif des freins à la modernisation dans les exploitations irriguées dans la région du Gharb au Maroc. *Actes séminaire Modernisation l'Agriculture Irriguée*, Rabat 19-23 avril 2004, http://hal.cirad.fr/cirad-00188833/fr (consulté en Août 2010)

El-Sayed A.-F.M., 2006. Tilapia culture, CABI *(Eds)*, Wallingford, Oxfordshire (UK), 277 p.

Eno Belinga S.M., KabeyeneB., 1982. Géologie dynamique du paysage du fer de la ville de Yaoundé secteur Nord. *Ann. Fac. Sci.*, **4(1)**, 51-66

FAO, 2007. L'Aquaculture, seul moyen de combler le "déficit de poisson". L'avenir de la pisciculture au cœur d'une réunion ministérielle. FAO salle de presse, Note de synthèse réunion du 19 novembre 2007. FAO (ed), Rome (Italie). http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2007/1000701/index.html (consulté le 8 Novembre 2010)

FAO, 2007. Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. Hasan R.M., Hecht T., De Silva S.S. and Tacon A.G.J., (Eds), *fisheries technical paper*, FAO (Ed), Rome (Italie), **497**, 531p.

FAO, 2008. Aperçu général du secteur national d'aquaculture ; Département de Pêches et Aquaculture, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture Rome. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_cameroun (consulté en Mars 2009)

FAO, 2009. Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : point sur l'élevage. FAO (Ed), Rome (Italie), 202 p.

FAO, 2010. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture ; Département de Pêches et Aquaculture, FAO (Ed), Rome (Italie), 244 p.

FAO/ICLARM/IIRR, 2003. Intégration agriculture-aquaculture: principes de base et exemples. *FAO Document technique sur les pêches* No. 407, FAO (Ed), Rome(Italie), 161p.

Faure-Rochet O., 2009. L'Analyse Environnementale : les clés de la réussite. (2e Ed.), *Agence Française de la Normalisation* (AFNOR), 330 p.

Fishbase, 2010. R. Froese and D. Pauly editors. World Wide Web electronique publication , www.fishbase.org

Fongang F.G H., 2008. Les mutations du secteur agricole bamiléké (Cameroun) étudiées à travers ses acteurs : Une analyse à partir des localités de Fokoué et de Galim, *Thèse Doctorat en Sociologie* d'AgroParisTech, Paris(France), 415 p.

Forester P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., Van Dorland R., 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In* Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (Eds.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK 129 p.

Fotsing J.M., 1999. L'homme et l'érosion dans les agroforêts des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun, Université d'Orléans, Institut de sciences humaines - Centre IRD d'Orléans *Synthèse de l'excursion des 9, 10 et 11 décembre*.18 p.

Francisco P., Escorihuela D., Tourenq J.N., Parent J.P., 1999. Ammoniac et poisson lors de la vidange d'une retenue. *Hydroécol. Appl.*, **11**, 153-163

Frei M., Khan M.A.M., Razzak M.A., Hossain M.M., Dewan S., Becker K., 2007. Effect of mixed culture of common carp Cyprinus carpioL., and Nile Tilapia *Oreochromis niloticu*s (L.) on terrestrial arthropod population, benthic fauna and weed biomass in rice fish in Bangladesh, *Biological control*, **41**, 207-213

Friot D., 2002. Quelques aliments et matières premières utilisés en alimentation des animaux dans les zones tropicales In Mémento de l'agronome CIRAD-GRET (*CD-ROM*), MAE, Paris (France),, 36 p.

Gadenne T., Jouan Y., 2003. La pisciculture d'étang ou la culture du poisson. *Zones humides infos, SNPN*, **39**,5-7

Gál D., Szabó P., Pekár F., Váradi L., 2003. Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system. *Hydrobiologia*, **506-509(1)**, 767-772.

Gardeur J.N., 2003. Du réductionnisme à l'approche globale : modélisation de l'aquasystème, thèse d'Habilitation à Diriger les Recherches, Univ. Henri Poincaré- Nancy 1, 96 p.

Gardeur J.N., Brun-Bellet J., 2011. Approches de l'élevage de truites en tant que système complexe : Expérimentation Multi-factorielle *In* : Jalabert B., Fostier A., Cood., 2011. La Truite Arc en ciel - Biologie Et Élevage, Collection Synthèse, Quae (Ed), Versailles (France), 278-282

Gardeur J.N., Mathis N., Kobilinsky A., Brun-Bellut J., 2007. Simultaneous effects of nutritional and environmental factors on growth and flesh quality of *Perca fluviatilis* using a fractional factorial design study. *Aquaculture*, **273**, 50-63

Gic Nem Mbock Ngalli II, 2006. Production, transformation, vente collective de manioc et bâton de manioc, commercialisation des produits agricoles, *Rapport fin de projet MinADER/PARI*, Yaoundé (Cameroun), 8 p.

Gigleux M., 1992. Le développement phytoplanctonique dans la Moselle en aval de Metz et dans la seille. *Thèse Doctorat en* Sciences de la vie - Spécialit:é Hydrobiologie, Université de Metz, Metz (France),147 p.

Glasser F., Oswald M., 2001. High stocking densities reduce Oreochromis niloticus yield: model building to aid the optimisation of production. *Aquat. Living Resou.*, **14**, 319-326.

Golterman H.L., 1984. Sédiments, modifying and equilibrating factors in the chemistry of freshwater. *Verh. Int. Verein. Limn.*, **22**, 23-59

Golterman H.L., 1998. The distribution of phosphate over iron-bound and calcium-bound phosphate in stratified sediments, *Hydrobiologia*, **364**, 75-84

Gomez A.A., Swete Kelly D.E., Syers K.J., Coughlan H.J., 2007. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. Department of primary industries. The State of Victoria.
http://www.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/5dc4b9981b861d8d4a256654003b7a6d/fbf69bf 1c7f593a3ca2571ca0015a3e5/$FILE/GOMEZ.pdf. (Consulté en Septembre 2011)

Goupy J., 1988. La méthode des plans d'expériences. Optimisation du choix des essais et de l'interprétation des résultats. Dunod (Ed), Paris (France), 303 p.

Goupy J., 2001. Introduction aux plans d'expériences. Dunod (ED), Paris (France), 293 p.

Green B.W., 1992. Substitution of organic manure for pelleted feed in Tilapia production, *Aquaculture*, **101(3/4),** 213-222

Green B.W., Alvarenga H.R., Phelps R.P., Espinoza J., 1990. Honduras: Cycle II of The Global Experiment. Collaborative Research Data Reports, Vol 6, N°2. PD/A CRSP, Corvallis, Oregon (USA), 94 p.

Gross A., Boyd C.E., Wood C.W., 2000. Nitrogen transformation and balance in channel catfish pond. *Aquacultural Engineering*, **24**, 1-14

Grosse O., 2009, La place du poisson dans la consommation alimentaire des villageois des régions Centre et Ouest du Cameroun, *Rapport d'expertise*, APDRA (Ed), Massy Palaiseau (France), 25 p.

Grosse O., Oswald M., 2010. The role of the farmers' group in fish innovation in an extension project's frame. *ISDA 2010*, Montpellier, June 28-30, 2010. www.isda2010.net (Consulté en mai 2011)

Guinée J.B., Gorree M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M.A.J., 2002. Handbook on Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards (Ed) Guinée J.B., *Kluwer Academic Publishers,Université de Leiden*, Leiden (Pays-Bas), 692 p.

Hamadou S., Tou Z., Toé P., 2008. Le lait, produit de diversification en zone périurbaine à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), *Cah. Agric*. **17(5)**, 473-78

Hanquiez I., Oswald M., 2009. Développer la pisciculture en Afrique tropicale humide pour renforcer la sécurité alimentaire. *Grain de Sel mars-août 2009* , **46-47**, *28-29* http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf_GDS46-47_Elevages.pdf (consulté en décembre 2010)

Hargreaves J.A., 1998. Nitrogene biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture,* **166**, 181-212

HCCI, 2005. Memento de Critères de développement durable appliqué aux actions de coopération et de solidarité internationale, *Haut conseil de la Coopération internationale*-, Premier ministre, Paris (Fance), 41 p. http://www.unsgab.org/docs/biblioteca/I-1.21.pdf (consulté en Août 2010)

Hejdova E., 2009. Changement technique et émergence de nouveaux entrepreneurs aquacoles: l'introduction de la crevette dans les systèmes piscicoles de la province de Pampanga (Philippines*). Cah. Agric.*, **18 (2/3)**,227-283.

Hepher B., Pruginin Y., 1990. Fertilization and manuring. *In:* commercial fish farming. *A Wiley-interscience publ*., John Wiley & Sons (Eds), New York (U.S.A.), 162-191

Hirigoyen J.P., Manjeli Y., Mouncharou G.C., 1997. Caractéristiques de la pisciculture dans la zone forestière du Centre Cameroun. *Tropicultura*, **15(4)**, 180-185

Hogendoorn H., Jansen J.A.J., Koops W.J., Machiels M.A.M., Van Ewijk P.H., Van Hees J.P., 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C.&V.). II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture*, **34**, 253-263

http://hal.cirad.fr/docs/00/16/83/75/PDF/E3P_EN_chap06.pdf. (Consulté en Mai 2008).

http://users.skynet.be/debruxelles/keldhal.html (consulté en Novembre 2008)

http://www.caes.uga.edu/applications/publications/files/pdf/B%201142_2.PDF (consulté en janvier 2009)

Huet M., 1970. Traité de pisciculture. *De Wyugaert (Ed)*, Bruxelles (Belgique), 718 p.

Hussenot J.M.E., 2003. Emerging effluent management strategies in marine fish culture located in European coastal wetlands. *Aquaculture*, **226**, 113-128

ILCD, 2010. European Commission - Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and Action Steps. First Edition. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 417 p.

INS, 2006. Institut National de la Statistique, *Annuaire statistique du Cameroun 2006*, 2eme partie : population et affaires sociales. http://www.statistics-cameroon.org/downloads/Yearbook2006/2_part.pdf (consulté en Mai, 2009)

IRAD, 2005. Zones agro-écologiques, centres, stations et antennes, Institut de Recherche Agronomique pour le Développement, Ministère de la Recherche scientifique et de l'Innovation Cameroun (Ed), Yaoundé (Cameroun), http://www.irad-cameroon.org/carte_fr.php (consulté en Mai 2008)

Irz X., McKenzie V.,2003. Profitability and technical efficiency of aquaculture systems in pampaanga, Philippines, *Aquaculture Economics and Management,* **7(3/4)**, 195-211

ISO (International Organization for Standardization) 14044, 2006. Environmental management — Life cycle assessment —Requirements and guidelines, 58 p.

Jamu D.M., Msiska O.V., 1996. Chaulage des étangs de pisciculture au Malawi : étude comparative des étangs chaulés et non chaulés, *In* Pulli, R.S.V., Lazard J., Legendre M., Amon Kothias J.B., Pauly D. (eds.) Le troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. *ICLARM cof. Porc*, **41**, 56-63

Jamu D.M., Piedrahita R.H., 1996. Aquaculture pond modeling for analysis of integrated Aquaculture/Agriculture systems : Fishpond Organic Matter and Nitrogen dynamics. *In*: Egna H., Goetze B., Burke D., McNamara M., Clair D. (eds), *Fourteenth annual Technical Report, Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Office of International University,* Corvallis, Oregon (USA), 172-177

Jamu D.M., Piedrahita R.H., 1997. Aquaculture pond modeling for analysis of integrated Aquaculture/Agriculture systems : Fishpond Organic Matter and Nitrogen dynamics, *In:* Egna H., Goetze B., Burke D., McNamara M., Clair D. (eds) *Thirteenth annual Technical Report, Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Office of International University*, Corvallis, Oregon (USA), 142-147

Jamu D.M., Piedrahita R.H., 2002a. An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: I model development and calibration. *Environmental modelling& Software,* **17**, 571-582

Jamu D.M., Piedrahita, R.H., 2002b. An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: II model development and calibration. *Environmental modeling & Software,* **17**, 583-592

Janin P., 2000. Gestion patrimoniale et sécurisation foncière en économie de plantation Camerounaise à L'heure des ajustements. *Revue de Géographie du Cameroun,* **14 (2)**, 79-108.

Jasmin J.Y., Havard M., Mbétid-Bessane E., Vall E., Fall A., 2007. Dynamique et évolution des exploitations agricoles. *In* : Gafsi M., Dugué P., Jasmin J.Y., Brossier J. (Coord), Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre, QUAE (ed), Versailles (France), 155-171

Joffre O.M., Bosmas R.H., 2009. Typology of shrim farming in Bac Lieu Province, Mekong Delta, using a multivariate statistics. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* **132**, 153-159

Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., 2005. Analyse du Cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan. *Collection Science et Ingénierie de l'Environnement, Presses Polytechnique et Universitaire Romandes* (Ed), Lausanne (Suisse), 242 p.

Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., 2010. Analyse du Cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan. *Collection Science et Ingénierie de l'Environnement, Presses Polytechnique et Universitaire Romandes* (Ed), Lausanne (Suisse), 302 p.

Karplus I., Milstein A., Cohen A., Harpaz S., 1996. The effect of stocking different ratios of common carp, *Cyprinus carpio* L., and Tilapias in polyculture ponds on production characteristics and profitability. *Aquaculture Research,* **27**, 447-453

Kestemont P., 1995. Differents systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture,* **129**,347-372

Kobilinsky A., 1997. Les plans factoriels. *In* Droesbeke J.J., Saporta G., Fine J. (Eds), 1997. Plans d'expériences : applications à l'entreprise. *Technip* (Eds), Paris(France), 69-209

Kottelat M., Freyhof J., 2007. Handbook of European freshwater fishes. *Publications Kottelat,* Cornol (Switzerland), 646 p.

Kriesemer S.K., 2009. Adoption and Diffusion of Small-Scale Pond Aquaculture: The Case of Cameroon in Comparison to Malawi. *Margraf Publishers GmbH, Scientific books, 2009 Kanalstraße 21* D-97990 Weikersheim, 167 p.

Kuate J., Kouodiekong L., David O., Ndindeng S. A., Parrot L., 2008. Les exploitations fruitières en zones périurbaine de Yaoundé au Cameroun: une enquête diagnostic. *In :* Parrot, L., Njoya, A., Temple, L, Assogba-Komlan, F., Kahane, R., Ba Diao M., Havard M., (éds), Agriculture et développement Urbain en Afrique des subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires, *Harmattan (Ed)*, Paris (France), 53-70

Kumar K., Ayyappan S., 1998. Current practices in integrated aquaculture from India. *Integrated Aquaculture Research Planning Workshop*, Purulia India March 1998. *working paper* **N° 5**, 25 p.

Labroue L., Capblancq J., Dauta A., 1995. Cycle des nutriments : l'Azote et le phosphore. *In* Pourriot R., Meybeck M. (coord.), *Limnologie général.* Masson (Ed), Paris (France), 727-764

Lafaille P., Crivelli A.J., 2011, La carpe commune (*Cyprinus carpio* Linneaus, 1758), 308-311 in Keith P., Persat H., Feunteun E., Allardi J. (coords), Les poissons d'eau douce en France, Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelles, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 552 p.

Landais E., 1998a. Modelling Farm Diversity. New Approaches to Typology Building in France. *Agricultural systems*, **58(4**), 505-527

Landais E., 1998b. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, Paris (France), **33** ,5-22

Landais E., Bonnemaire J., 1996. La zootechnie, art ou science ? Entre nature et société, l'histoire exemplaire d'une discipline finalisée. *Le courrier de l'environnement de l'INRA,Paris (France),* **27**, 23-44.

Landreau C., 2004. Impact des activités physiques de pleine nature - Outils d'évaluation et gestion environnementale. *Mémoire de Maîtrise de Géographie,* IGA, Grenoble (France),106 p.

Lazard J., 2009. La pisciculture des Tilapias. *Cah. Agric*., **18(2/3)**, 174-182

Lazard J., Baruthio A., Mathé S., Rey-Valette H., Chia E., Aubin J., Clément O., Morissens P., Mikolasek O., Legendre M., Levang P., Blancheton J.P., René F., 2010. Aquaculture system diversity and sustainable development: fish farms and their representation. *Aquatic Living Res*, **23 (2)**, 187-198 doi: 10.1051/alr/2010018 (www.arl-journal.org)

Lazard J., Baruthio A., Mathé S., Rey-Valette H., Chia E., Aubin J., Clément O., Morissens P., Mikolasek O., Legendre M., Levang P., Blancheton J.P., René F., 2009. Adaptation des typologies d'exploitations aquacoles aux exigences du développement durable. *Cah. Agric*, **18 (2/3)**, 199-210

Lazard J., Lecome Y., Stomal B., Weigel J.Y., 1991. Pisciculture en Afrique subsaharienne. Ministère français de la cooperation et du développement, Paris (France), 55 p.

Lazard J., Oswald M., 1995. Association silure africain – tilapia : polyculture ou contrôle de la reproduction ?, *Aquat. Living Res.*, **11**, 455-463

Le Louarn H., Bertru G., 1991. Influence des élevages intensifs en étang sur les rivières *Revue des sciences de l'eau,* **4**, 315-327

Le Louarn H., Neveau, A., 2001. Les étangs et les ressources en eaux. *Evolution et gestion des écosystèmes aquatiques INRA*, Paris 5France), 151-168

Le Thanh Luu, 2003. Le système de culture dans le nord du Vietnam. In center *IIPIrrw, ed. Integration agriculture- aquaculture*. Principes de base et exemples. FAO Document technique sur les pêches (Ed), Rome (Italie), **407,** 161 p.

Lemarié G., Dosdat A., Covès D., Dutto G., Gasset E., Person-Le Ruyet J., 2004. Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture,* **229**, 479-491

Lemarié G., Martin J-L. M., Dutto G., Garidou C., 1998. Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-baseed farm of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquat. Living Resour*, **11(4)**, 247-254

Lemasson J., 1953. La pisciculture dans l'Ouest Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, 30-38

Lévêque C., Paugy D., Teugels G. G., 1990. Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest, 1e éd ORSTOM-MARC, *coll faune Tropicale,* **XXVIII (1),** 384 p.

Lévêque C., Paugy D., Teugels G.G., 1992. Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest 2 éd ORSTOM.-MARC, *coll faune Tropicale,* **XXVIII (2),** 506 p.

Levrel H., 2006. Biodiversité et développement durable : quels indicateurs ? *Thèse Doct. en Economie Ecologique, Ecole des hautes Etudes en Sciences Sociales du* Museum National d'Histoire Naturelle, Paris (France), 406 p.

Liang Y, Cheung R.Y.H., Wong M.H., 1999. Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals, *fishwat. res*., **33 (11)**, 2690-2700

Liao P., 1970. Pollution potential of salmonds fish hatcheries. *Water sewage Works*, **117**, 291-297

Little D., 2000. Meeting the needs of the poor in Asia-tilapia in the new millennium. *In*: Fitzsimmon K., Filho J.C., (eds.), *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture,* Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 September, 641-650

Little D.C., Edwards P., 2003. Integrated livestock-fish farming systems. Inland water resources and aquaculture service. Animal production service. *FAO (Ed)*, Rome (Italie), 177 p.

Lloyd R., Orr L.D., 1969. The diuertic response by rainbow trout to sublethal concentrations of ammonia. *Water Res*, **3**, 335-344

Logan T.J., 1982. Mechanismsz for release of sediment-bound phosphate to water and the effects of agricultural land management on fluvial transport of particulate and dissolved phosphate. *Hydrobiologia*, **92**, 519-530.

Mainstone G., Gulson J., Parr W., 1993. Phosphate in freshwater, standard for nature conservation. *English Nature Research Reports,* **73**, 91 p.

Mairesse G., Thomas M., Gardeur JN., Brun-Bellut J., 2007. Effects of dietary factors, stocking biomass and domestication on the nutritional and technological quality of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture,* **262**, 86-94

Marcel J., 1996. La pisciculture d'étang en Allemagne. *Echo. Système,* **30**, 3-17

Mcnabb C.D., Batterson T. R., Premo B.J., Knud –Hansen C.F., Eidmen H.M., LinC.K., Jaiyen K., Hanson J.F., Chuenpagdee R., 1990. Managing fertilizers for fish yield in tropical ponds in Asia. *In:* Hirano R., Hanyu I.,(eds), The proceedings of second Asian fisheries forum. *The Asian fisheries society,* Manila, 169 p.

Meschkat, 1969. The status of warm-water fishculture in Africa. *FAO Fish. Report*., **44 (2)**, 88-122

Middendorp A.J., 1995. "Pond farming of Nile Tilapia, Oreochromis niloticus (L.), in northern Cameroon. Mixed culture of large Tilapia (> 200 g) with cattle manure and cottonseed cake as pond inputs, and African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell), as police-fish. *Aquaculture Research,* **26(10)**, 723-730

Mikolasek O., 2003. Forces et faiblesses de la pisciculture de la vallée du Ribeira, Etat de San Paulo, Brésil : une typologie pour éclairer les pratiques des pisciculteurs. *Mémoire de DEA* INAP-G, Paris (France), 26 p.

Mikolasek O., Barlet, B., Chia, E., Pouomogne, V., Tomedi Eyango Tabi, M., 2009a Développement de la petite pisciculture marchande au Cameroun : la recherche-action en partenariat. *Cah. Agric.*, **18 (2/3),** 270-276

Mikolasek O., Dinh Khuyen T., Medoc JM., Porphyre V., 2009b. L'intensification écologique d'un modèle de pisciculture intégrée : recycler les effluents d'élevage porcins de la province de Thaï Binh (Nord Vietnam). *Cah. Agric*., **18 (2/3),** 235-241.

Mikolasek O., Guérin G., Lopez A., Khuyen T.D., Huy P.T., Dien N.T., 2006. Local fish farming practices and a typology of farms based on organic matter intake management. *In*: Orphyre V., Coi N.Q. (Eds.), Pig Production Development, Animal WasteManagement and Environment Protection: A Case Study in Thai Binh Province, Northern Vietnam. *PRISE Publications*, France, 107–125

Mikolasek O., Lazard J., 1999. La pisciculture continentale en milieu tropical. *In* Actes de colloque : Réalités et perspectives de développement de l'aquaculture dans le sud-ouest de l'Océan Indien – Iles de la Réunion – Saint Leu les 31 mai ; 1^{ier}- 3 juin 1999, Ile de la Réunion, *ARDA-Aquaculture* , 32-41.

Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystem and Human Well-Being. A framework for Assessment, *Island Press*, 137 p.

Milstein A., 1992. "Ecological aspects of fish species interactions in polyculture ponds." *Hydrobiologia*, 231(3),177-186

Milstein A., 2005. Polyculture in aquaculture Review Article. *Animal Breeding Abstracts* ,. CABI (Ed), Wallingford, Oxfordshire (UK), 73(12), 15N-41N

MinEPIA (Ministère de l'Elevage des Pêches et des Industries Animales), 2009. Plan de développement durable de l'aquaculture au Cameroun. Ministère de l'Elevage des Pêches et des Industries Animales, Yaoundé(Cameroun), 55 p.

MinEPIA, 2005. Cadre Stratégique pour un développement durable de l'aquaculture au Cameroun. Ministère de l'Elevage des Pêches et des Industries Animales, Yaoundé (Cameroun), 30 p.

Molnar J., Hanson T. Lovshin L., 1996. The multiple identities of tilapia as a farm enterprise: how much and what kinds of CRSP technologies reach farmers in Rwanda, Thailand, the Philippines and Honduras. *Chapter in* H. Egna et al. (eds.) PD/A CRSP Fourteenth Annual Technical Report. Corvallis: Oregon State

Monentcham S.E., Pouomogne V., Kestermont P., 2010. Influence of dietary protein levels on growth performance and body composition of African bonytongue fingerlings, *Heterotis niloticus* (Cuvier, 1829). *Aquaculture nutrition*, **16**, 144-152

Moreau J., Costa-Pierre B., 1997. Mini review: Introduction and present status of exotic carp in Africa. *Aquaculture Research*, **28**, 717-732

Morin H., 2006. Menaces sur la pêche, l'aquaculture prend le relais. *Le Monde*,**13** septembre, 20-21

Morissen P., Oswald M., Sanchez F., Hem S., 1996. Designing new fish farming models adapted to rural Côte d'Ivoire,. *In*: Pullin R.S.V., Lazard J., Legendre M., Amon Kothias J.B., Pauly D., (eds). The third international symposium on Tilapia in Aquaculture. *ICLARM conf. Proc.* **41**, 118-128

Moutin T., 1992. Contribution à l'étude du cycle du phosphate dans les écosystèmes lagunaires, *Thèse doctorat en océanographie de l'Université de Montpellier* II, Montpellier (France), 164 p.

Muendo P.N., 2006. The role of fish ponds in the nutrient dynamics of mixed farming systems *PhD Thesis of* Wageningen University, Wageningen (The Netherlands), 120 p.

Mukankomeje R., Laviolette F., Descy J.-P., 1994. Régime alimentaire du Tilapia *Oreochromis niloticus* du lac Muhazi (Rwanda). *Annales de Limnologie*, **30(4),** 297-312

Nash R.D.M., Valencia A.H., Geffen A.J., 2006. The Origin of Fulton's condition Factor—Setting the Record Straight. *Fisheries,* **31 (5)**, 236-238 - www.fisheries.org, (consulté en octobre 2011).

Naylor R. L., Goldburg R. J., Primavera J. H., Nils Kaustky M., Beveridge C. M., Clay J., Folkes C., Lubchenco J., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, **405**, 1017-1024

Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A. H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel M., Yarish C., 2004. Integrated aquaculture: rational evolution and state the art emphasizing seawed biofiltration in modern aquaculture. *Aquaculture*, **231**, 361-391

NEPAD, 2005. Déclaration d'Abuja sur la pêche et l'aquaculture durable en Afrique, sommet du NEPAD "du poisson pour tous". Abuja, Nigéria, 25 Août 2005, 3 p. http://www.iss.co.za/uploads/fishdeclfr.pdf (consulté en juin 2006)

Ngnikam E., Tolale E., 2009. Systèmes énergétiques : Vulnérabilité – Adaptation – Résilience (VAR). Helio Internationnal, *Rapport fin de projet*, 45p. http://www.helio-international.org/uploads/VARCameroun.Fr.pdf (consulté en novembre 2010)

Nguenga D., Breine J.J., Sulem Yong S., Teugels G.G., Olliver F., 1997. Effect of animal manure and chemical fertilizer on the growth and survival of *Tilapia cameronensis* Holly in Cameroon. *Aquaculture Research,* **28**, 231-234

Nhan D.K., Milstein A., Verdegem M.C.J., Verreth J.A.V., 2006. Food inputs, water quality and nutrient accumulation in integrated pond systems: A multivariate approach. *Aquaculture*, **261**, 160-173

Nhan D.K., Milstein A., Verdegem M.C.J., Verreth J.A.V., 2008. Waterand nutrient budgets of ponds in integrated agriculture–aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research,* **39**, 1216-1228 - doi:10.1111/j.1365-2109.2008.01986

Nhan D.K., Phong Le T., Verdegem M.C.J., Duong Le T., Bosma R.H., Little D.C., 2007. Integrated freshwater aquaculture, crop and livestock production in the Mekong delta, Vietnam : Determinants and role of pond. *Agricultural Systems*, **94 (2**), 445-458 - doi: 10.1016/j.agsy. 2006. 11.017.

Nji A., Daouda, 1990 Facteurs techniques liés à l'abandon de la pisciculture dans les provinces de l'Ouest et du Nord-ouest Cameroun. *Tropicultura*, **8(4),** 189-192

OECD, 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Organization for economic co-operation and development, Paris (France), 39 p.

Oswald M., 2008. La pisciculture extensive, une diversification complémentaire des économies de plantation, *APDRA-F 21 p.* .http://www.apdra.org/IMG/file/Articles /Article_diversification_piscicole.pdf - (consulté en décembre 2010)

Otitologbon A.S., Agbaji B.E., Peters O.A., Oniye S.J., 1997. Proximate and mineral composition of three Nigerian freshwater fishes. *J.Sci Food Agric.*, **75**, 312-314

PADFA, 2010. Projet d'appui au développement des filières agricoles, Document de conception final, République du Cameroun, *Rapport final*, 82 p.

Papatryphon E., Petit J., Van der Wert H.M.G., 2004a. The development of life cycle Assessment for the evaluation of rainbow trout farming in France. *In*: *Proceedings of the 4th International conference on: Life Cycle Assessment in the Agri-feed sector*. 6 - 8 October 2003, Horsens, Denmark, 73 – 80.

Papatryphon E., Petit J., Kaushik S. J., Van der Wert H.M.G., 2004b. Environmental Impact Assessment of Salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA). *Ambio,* **33 (6),** 316-323

Pauly D., Christensen V., Guénette S., PitcherT.J., Sumaila R.U., Walters C.J., Watson R., Zeller D., 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, **418**, 689-695.

Payraudeau S., van der Werf H.M.G., 2005. Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. Agriculture. *Ecosystems & Environmen*t, **107 (1),** 1-19.

Pelletier N., Tyedmers P., 2010. Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. *Journal of Industrial Ecology*, **14**, 467-481.

Pellier J., Humel F.X., 1969. Porosité, densité, et perméabilité des sols ferralitiques rouges et jaunes près de Yaoundé : O.R.S.T.O.M, 24 p.

Pemsl D.E., Dey M.M., Paraguas F..J., Manick Lal, Bose, 2006. Determining high potential aquaculture production areas: Analysis of key socio-economic adoption factors. *IIFET Portsmouth proceedings*, 12 p.

http://www.fao.org/fishery/gisfish/cds_upload/1197639702038 : Pemsl et al., 2006, socioeconomic aquaculture potential.pdf (consulté en Janvier 2011).

Person-Le Ruyet J., Bœuf G., 1998. L'azote ammoniacal, un toxique potentiel en élevage de Poissons : le cas du turbot. *Bull. Fr. Pêche Piscic* , **350-351**, 393-412

Petersson E., 2004. Impact écologique des peuplements des poisons d'élevage sur les espèces sauvages. *Dossier de l'environnement de l'INRA, Paris (France),* **26** , 36-47

Philippart J.C., Ruwet J.C., 1982. Ecology and distribution of Tilapias. *In*: Pullin R.S.V., Lowe-McConnell R.H., (eds.) The biology and culture of Tilapias. *ICLARM Conf. Proc. 7*, 15-60

Phillips M.J., Beveridge M.C.M., Clarke R.M., 1991. Impact of aquaculture on water resources. *In:* Brune D.E., Tomasso J.R., (eds) Aquaculture and Water Quality. *Adv. World Aquacul.t*, **3**, 568-591

Phong L.T., de Boer I.J.M., Udo H.M.J., 2011. Life Cycle assessment of food production in integrated agriculture-aquaculture systems of the Mekong Delta. *Livestock Science*, **139**, 80-90

Pihan J.C., Landragin G., 1985. Modèle de prévision de la toxicité aigüe des eaux de rivière pour le poisson. *Verh. Int. Verein. Limn*. ***22***, 2457-2462

Poirel A., Vindimian E., Garric J., 1994. Gestion des vidanges des réservoirs mesures prises pour la protection de l'environnement et retour d'expériences sur une soixantaine de vidanges. *18ème congrès des grands barrages, Commission Internationale des grands barrages,* Q 69-R.9 Duban 1994, 321-349.

Pouomogne V., 1993. Growth response of Nile Tilapia to cow manure and supplemental feed in earthen ponds. *Revue d'hydrobiologie tropicale*, **26(2),** 153-160

Pouomogne V., 1994. L'Alimentation du Tilapia *Oreochromis niloticus* en étang. Evaluation du potentiel de quelques sous-produits agro-alimentaire et modalités d'apport des aliments. *Thèse de Doctorat en Halieutique* de l' ENSAR, Rennes (France), 160 p.

Pouomogne V., 2005. Study and analysis of feed and nutrients (including fertilizers) for sustainable aquaculture development in Cameroon. *Report WorldFish Center* Yaoundé (Cameroun), 35 p.

Pouomogne V., 2007. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in Cameroon. *In*. Hasan M.R, Hecht T., De Silva S.S., Tacon A.G.J., (eds). Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper*. FAO (Ed),Rome (Italie), **497**,381–399

Pouomogne V., 2008. Capture-based aquaculture of *Clarias* catfish: case study of the Santchou fishers in western Cameroon. *In:* Lovatelli A., Holthus P.F., (eds).Capture-based aquaculture. Global overview *FAO Fisheries Technical Paper***,** FAO (Ed), Rome (Italie), **508**, 93–108.

Pouomogne V., Brummett R.E., Gatchouko M., 2010. Impacts of aquaculture development projects in western Cameroon. *Journal of applied aquaculture*, **22**, 93-108.

Pouomogne V., Nana J.P., Pouomogne J.B., 1998. Principes de Pisciculture appliquée en milieu tropical africain. Comment produire du poisson à coût modéré (des exemples du Cameroun). CEPID / Coopération Française Yaoundé. Presses Universitaires d'Afrique (Ed),Yaoundé (Cameroun), 236 p.

Pouomogne V., Pemsl D.E., 2008. Recommendation domains for pond aquaculture. Country Case study: Development and status of freshwater aquaculture in Cameroon- *Worldfish Center Studies and Reviews* **N° 1871**, The WorldFish Center (Ed.), Penang (Malaysia), 60 p.

Pouomogne V., Takam G., Pouomogne J.B., 1997. A preliminary evaluation of cacao husks in practical diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, **156**, 211-219

Prats A., 2008. Analyse environnementale : base documentaire scientifique et technique. *Techniques de l'ingénieur*. www.techniques-ingenieur.fr/.../environnement-ti800/analyse-environnementale g5002. (consulté le 15 Mars, 2010)

Prein M., 2007. Comparative analysis of material flows in low input carp and poultry farming: an overview of concepts and methodology. *In*: Bartley D. M., Brugère C., Soto D., Gerber P., Harvey B., (éds). Comparative assessment of the environmental cost of aquaculture and other food production sector: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. *FAO Fisheries proceedings* **N°10**, FAO (Ed), Rome (Italie), 183-200

Rahman M.M., , 2006. Food web interactions and nutrients dynamics in polyculture ponds, *PhD Thesis of* Wageningen University, Wageningen (The Netherlands), 168 p

Rahman M.M., Nagelkerke L.A.J., Verdegem M.C.J., Wahab M.A., Verreth J.A.J., 2008. Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: A multivariate approach. *Aquaculture,* **275(1/4),** 108-115.

Ramseyer L.J., 2002. Predicting whole-fish nitrogen content from fish wet weight using regression analysis, Technical notes. *North American journal of Aquaculture*, **64**, 195-204

Ranson P. S., 2003. L'alimentation de la carpe (*Cyprinus carpio*) dans son biotope et en élevage. *Thèse de Doctorat Vétérinaire, Fac. Méd. De Creteil*, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, France, 120p

Reboul C., 1984. Evaluation du coût d'emploi de la main-d'œuvre familiale sur une exploitation agricole. Contribution méthodologique. *Économie rurale***, 161,**15-23

Repo M.E., Huttunen J.T., Naumov A.V., Chichulin A.V., Lapshina E.D., Bleuten W., Martikainen P.J., 2007. Release of CO_2 and CH_4 from small wetland lakes in western Siberia. *Tellus*, **59B**, 788-796

Rey H., Catanzano J., Durand J. L., 1994. Dynamique des systèmes productifs systèmes agraires et halieutiques : des enseignements réciproques. In Sebillotte M. (Ed), *Recherches-système en agriculture et développement rural : S*ymposium international, Montpellier, France, 21-25 novembre 1994, CIRAD-SAR, Montpellier (France), 6 p. (disponible sur http://archimer.ifremer.fr/doc/1994/acte-2433.pdf)

Riedacker A., Adjahossou D.F., 2009. Les contraintes d'une production soutenable: sécurité alimentaire et changement climatique en Afrique sub-saharienne. In : Bourgeois L., Racape J., D'Orfeuil H. R., Défi alimentaire mondial : les politiques face à la faim et à la pauvreté *Pour* (ed), *GREP*, Paris (France), **202-203**, 125-132

http://www.grep.fr/pour/numeros/pour202203.htm),_ (consulté en Janvier 2011)

Riede K., 2004. Global register of migratory species - from global to regional scales. *FinalReport of the R&D-Projekt 808 05 081*. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn (Germany), 329 p.

Righi E., Dogliotti S., Stefanini F.M. Pacini G.C., 2010. Capturing farm diversity at regional level to up-scale farm level impact assessment of sustainable development options. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **142**, 63– 74, doi : 10.1016/j.agee.2010.07.011.

Risse M., Gaskin J., 2002. Best management practices for Wood Ash as agricultural soil amendment. , *University of Georgia, College of Agricultural and environmental Sciences Cooperative extensionservice(Ed.)*, Athens, Georgia (USA), Bulletin **1142,** 4 p.

Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. L'analyse de l'eau, 9e éd., Dunod (Ed), Paris (France), 1526 p.

Roque d'Orbcastel E., 2008. Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets. *Thèse Doct Sciences agronomiques et écosystèmes de l' INP ENSAT*, Toulouse (France), 144 p.

Roque d'Orbcastel E., Blancheton J.P., 2007. Case study: Murgat *In* AQUATREAT, 2007, Manual on effluent treatment in aquaculture : science and practice, Report of SME Collective Research- project AQUATREAT, Contract n° COLL-CT-2003-500305, 105-121 (disponible sur : http://archimer.ifremer.fr/doc/2006/rapport-6496.pdf).

Roque d'Orbcastel E., Blancheton J.P., Boujard T., Aubin J., Moutounet Y., Przybyla C., Belaud A., 2008. Comparison of two methods for evaluating waste of flow through trout farm. *Aquaculture*, **274**, 72-79

Roque D'Orbcastel E., Blancheton J.P., Aubin J., 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering*, **40 (3)**, 113-119.

Rosa R., Bandara M.N., Nunes L.M., 2007. Nutritional quality of african catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) : a positive criterion for the future development of the European production of siluroidei. *International Journal of food Science and technology*, **42**, 342-351

Sado G., Sado M.C., 1991. Les plans d'expériences. De l'expérimentation à l'assurance qualité. 3e tirage, *AFNOR*, ISBN : 2-12-450311-1, 265 p.

Safia S., 2003. Situation de l'élevage ovin en Tunisie et rôle de la recherche réflexion sur le développement d'une approche système. *Cah. Agric.*, **12(6),** 419-428.

Satia B.P., Satia P.N., Amin A., 1992. Reconnaissance survey of socioeconomic conditions of fish farmers and aquaculture practices in the west and Northwest province of Cameroon. In Bernacsek G.M. and Powles H. (Eds), Proceeding of workshop "Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique", 14-17 November 1988 Bouaké(Côte d'Ivoire); IDRC-MR308 e,f, International Development Research Centre, Ottawa (Canada), 64-90.

Schlumberger O., 2002. Mémento de la pisciculture d'étang , 4e édition. *CEMAGREF (Ed)*, Montpellier (France),237 p.

Schwartz M.F., Boyd C.E., 1994. Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed ponds-progress. *Fish Cult*., **56**, 25-32

Simon D., Benhamou J.F., 2009. Rice-fish farmingin Guinée Forestière- Outcome of rural development project. *Field Actions Sci. Rep.***, 2**, 49-56.

Singh K., Dey M. M., Rabbani A. G., Sudhakaran P. O., Thapa G., 2009. Technical efficiency of freshwater aquaculture and its determinants in Tripura, India, *Agricultural Economics Research Review*, **22**, 185-195.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Cees de Haan, 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. *FAO (Ed), Rome (Italie),* 407 p. (disponible sur : ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e00.pdf)

Stevenson J.R., Irz X.T., Alcalde R.G., Morissens P., Petit J., 2007. An empirical typology of brackish-water pond aquaculture systems in the Philippines: a tool to aid comparative study in the sector. *Aquaculture Economics& Management*, **11**, 1-23.

Stumm W., Morgan J.J., 1981. Aquatic chemistry. *Wiley interscience (Ed)*, New York (USA), 791 p.

Subasinghe R. 2006. The State of world aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper*. FAO (Ed), Rome (Italie), **500**, 134p

Suchel B., 1987. Les climats du Cameroun. *Thèse Doct. es lettre* de l'Université de Bordeaux III, Bordeaux (France), 1186 p.

Syers J. K., Harris R.F., Armstrong D.E., 1973. Phosphate chemistry in lake sediments. *J. Environ. Qual.,* **2 (1)**, 1-14.

Szumski M.F., Barton D.A., Putman H.D., Polta R.C., 1982. Evaluation of EPA un-ionized ammonia toxicity criteria. *J. Water Poll. Crtl. Fed.,* **54**, 281-291.

Tacon A.G.J., 1997. Contribution to Food Fish Supplies. *FAO Fisheries Circulation (886) Rev.* **1**, 17–21.

Tamassia S.T.J., 2011. Indicadores técnico-econômicos para o gerenciamento do modelo alto vale do itajaí de piscicultura integrada (MAVIPI). *Tese em Aquicultura do Centro de Aquicultura* da *da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho* (UNESP), São Paulo, Brésil, 230 p.

Teugels G.G., 1986. A systematic revision of the African species of the genus *Clarias* (Pisces; Clariidae). *Ann. Mus. R. Afr. Centr. Sci. Zool.*, **247**,199 p.

Thomas S., 2000. Les différents producteurs d'un petit barrage tropical Africain : Dynamiques et Interactions (Brobo, Côte-d'Ivoire). *Thèse de Doctorat en Océanologie Biologie et Environnement Marin de l'Université de Paris 6*, Paris (France), 246 p.

Thurston R.V., Russo R.C., Luedke R.J., Smith C.E., Meyn E.L., Chacoumakos C., Wang K.C., Brown C.D.J., 1984. Chronic toxicity of ammonia to rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **113**, 56-73

Tinsson W., 2010. Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques, Collection Mathématiques et Applications **Vol *67***, Springer-Verlag (Ed), Berlin Heidelberg (Germany), 532 p. - DOI 10.1007/978-3-642-11472-4_6.

Tiogue T.C., Nguenga D., Tomedi Eyango M., Tchoumboué J., 2008. Quelques performances reproductives et taux de survie de deux souches du poisson-chat africain Clarias gariepinus (Burchell, 1822) et leurs croisés à Koupa-Matapit. *Int.J.Biol.Chem.Sci.*, **2(4)**, 469-477

Tissot C., Rouan M., Palleau C., 2006. Modélisation des activités aquacoles en zone côtière. *Colloque international Interaction Nature-Société : analyses et modèles*, 3-5 Mai 2006 La Baule (France), 5 p.

http://geolittomer.univ-nantes.fr/StockageUMR/COLLOQUE/pdf/C2_0405_TISSOT.pdf (consulté en octobre 2011).

Tittonell P., Muriuki A., Shepherd K.D., Mugendi D., Kaizzi K.C., Okeyo J., Verchot L., Coe R., Vanlauwe B., 2010. The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of east Africa: A typology of smallholder farms. *Agricultural systems*, **103**, 83-97

Toko I., Fiogbe E.D., Koukpode B., Kestemont P., 2007. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): Effect of stocking density on growth, production and body composition. *Aquaculture*, **262,** 65-72

Tomedi Eyango M.T., Mikolasek O., Pouomogne V., 2009. Diagnostic de l'insertion de la pisciculture dans les exploitations familiales agricoles du département de la Ménoua, Ouest Cameroun. *Sci. Agron. & Dév*., **5(2)**, 13-22.

Trintignac P., Kerleo V., 2004. Impact des étangs à gestion piscicoles sur l'environnement. Etude de synthèse bibliographique. SMIDAP (Ed), Nantes (France), 59 p. + annexes.

Troell M., Halling C., Neori A., Chopin T., Buschmann A.H., Kaustky N., Yarish C., 2003. Integrated mariculture: asking the right question. *Aquaculture*, **226**, 69-90

True B., Johnson W., Chen S., 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacultural Engineering*, **32**, 129-144

Trussel R.P., 1972. The percent of un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures. *J. Fish Res. Bd Canada*, **29**, 1505-1507

Tuan V.D., Porphyre V., Farinet J.-L., Toan T.D., 2006. Composition of animal manure and co-products. In Porphyre V., Nguyen Que Coi (Eds), *Pig production development animal-waste management and environment protection : a case study in Thai Binh province, Northern Vietnam, PRISE Publication*, Hanoï (Vietnam), 128-143.

U.S.Environmental Protection Agency (U.S.EPA), 1976. Quality criteria for water. Office of Water and Hazardous Material, U.S.EPA *U.S. Gorvernment printing office (Ed)*, Washington D.C. (USA), 256 p.

Udo H.M.J., Aklilu H.A., Phong L.T., Bosma R.H., Budisatria I.G.S., Patil B.R., Samdup T., Bebe B.O., 2011.Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livestock Science*,139, 22-29.

Uwizeyimana L., 2009. Après le café, le maraîchage ? Mutations des pratiques agricoles dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 247, 331-344

Van Benthum W.A.J., Garrido J.M., Mathijssen J.P.M., Sunde J., Van Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J., 1998. Nitrogen removal in Intermittently aerated biofilm airlift reactor. *Journal of Environmental Engineering*, **124 (3),** 239-241.

Van De Kerchove V., Carpaye D., Medoc J.M., 2002. L'épandage pour tirer parti de l'intérêt agronomique des matières organiques. Exemple de l'Île de la Réunion. *In* : *Mémento de l'agronome. [CD-ROM]*. Montpellier, France: Cirad, Gret, France-MAE.

Van der Werf H.M.G., Petit J., 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of twelve indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **93 (1)**, 131-145

Verdegem M.C.J., 2007. Nutrient balance in ponds. *In*: Van der Zijp A.J., Verreth J.A.J., Le Quang Tri, Van Mensvoort M.E.F., Bosma R.H., Beveridge M.C.M. (Eds), Fish ponds in farming systems, Wageningen Academic Publishers, Wageningen (Netherlands), 71-75

Verdegem M.C.J., Bosma R.H., 2009. Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy 11 Supplement.*, **1**, 52-68

Vivien J., 1991. Faune du Cameroun: Guide des Mammifères et poissons. Groupe Interprofessionnel du Cameroun (GICAM) et Ministère de la Coopération et du Développement (Ed.), Yaoundé (Cameroun) et Paris (France), 271 p.

Vo2max. Course à Pied- Ammproche scientifique, Diététique, Composition des aliments www.vo2max.com.fr/diet_aliments/cadre_rds.html (consulté le 9 Août 2009)

Wang N., Gardeur J.N., Henrotte M.M., Kestemeont P., Fontaine P., 2006. Determinism of the induction of the reproductive cycle in famale Eurasian perch, Perca fluviatilis: Identification of environmental cues and permissive factors. *Aquaculture*, **261**, 706-714

Wathern P., 1988. An introductory guide to EIA Environmental Impact Assessment: Theory and Practice, Routledge, London, 332 p.

Wautelet J.M., 1995. Disparités régionales et différenciation des paysanneries au Cameroun. *Tiers-Monde*, **36(141),** 87-101.

Wetzel R.G. (1983). Periphyton of freshwater ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems, Växjö, Sweden, 14-17 September 1982. *Dr W. Junk Publishers*, 346 p. ISBN : 906193768X.

Witte F., de Winter W., 1995. Appendix II. Biology of the major fish species of Lake Victoria. *In*: Witte F., Van Densen W.L.T. (Eds.) Fish stocks and fisheries of Lake Victoria. A handbook for field observations. *Samara Publishing Limited*, Dyfed (UK), 301-320.

Wonkna D., Bopda A., Pokam W.J., Ngieyip I., Isseri F.G., Ndembou S., Tatsabong B., Akwe B.B., Foyang L., Lontchi P., Daraoudaî J., Tchougnia J.P., Odi Essomba B., Elat, Olinga O.M., 2003. Projet d'appui à l'aménagement de la zone périurbaine Yaoundé Nsimalen (UNGC/ADIE-INC), *rapport final de recherche et analyse documentaire,Institut National de cartographie*, Cameroun, 60 p.

Wood M., Rai H., Garnier J., Kairesalo T., Gresens S., Orive E., Ravail B., 1992. Praticals approaches to algal excretion. *Mar. Microbial Food webs*, **6**, 21-38

www.Fisbase .org, version (10/2010) (consulté le 4/06/2011)

Xie S., Lei W., Zhu X., Hang D., Hang Y., 2007. Reducing waste from aquaculture in China by feed formulation and system management. *In*: van der Zijpp A. J., Verreth J.A. J., Le Quang, Tri, Van Mensvoort M.E.F., Bosma R.H., Beveridge M.C.M., (Eds), Fishponds in farming systems. *Wageningen Academic Publishers*, Wageningen (Netherlands), 167-175

Yakupitiyage A., Ranamukhaarachchi S.L., Yi Y., Mizanur R., 2007. Nutrient accumulation in Tilapia pond sediment and its agricultural uses. *In* van der Zijpp A.J., Verreth J.A.J., Le Quang Tri, Van Mensvoort M.E.F., Bosma R.H., Beveridge M.C.M. (Eds), Fishponds in farming systems. *Wageningen Academic Publishers*, Netherlands, 89-96

Zhu Y., Yang Y., Wan J., Hua D., Mathias J.A., 1990. The effect of manure application rate and frequency upon fish yield in integrated fish farm. *Aquaculture*, **91**, 233-260

ANNEXES

ANNEXE 1
Sources et cycles des nutriments dans un écosystème étang

1. L'azote.

L'azote qui parvient à l'étang peut être de nature abiotique ou biotique :

- Les apports abiotiques proviennent des précipitations atmosphériques et des fertilisants chimiques (Beaupied, 1980 ; Blancheton *et al.*, 2004). En étang de pisciculture intensive, la source abiotique devient dominante (>90%) (Hargreaves, 1998 ; Blancheton *et al.*, 2004). En étang piscicole, l'empoissonnement est également une source d'azote.
- Les apports biotiques sont dus à des micro-organismes très divers capables de fixer l'azote moléculaire (N_2) atmosphérique ou dissous dans l'eau et de le transformer en azote ammoniacal (NH_3). La fixation est de trois types : libre, rhizosphérique et symbiotique. La troisième serait inexistante ou négligeable en milieu aquatique (Beaupied, 1980). La fixation de l'azote moléculaire dominante en milieu aquatique est liée à des organismes procaryotiques et plus particulièrement à des cyanobactéries hétérocystées, des bactéries photosynthétiques et des bactéries hétérotrophes (Labroue *et al*, 1995). La réaction globale de réduction de N_2 en NH_3 est la suivante :

$$N_2 + 6\ e^- + 6\ H^+ \rightarrow 2\ NH_3$$

Cette réduction nécessite, outre la présence du complexe enzymatique, de l'énergie et une source de pouvoir réducteur (Beaupied, 1980), elle est tout de même très importante dans les zones humides (Roque d'Orbcastel et Blancheton, 2007). La fixation est fonction de la lumière par l'intermédiaire de la photosynthèse. L'augmentation de la teneur en oxygène ainsi que des concentrations en NO_3^- et NH_4^+ sont des facteurs induisant une réduction de la fixation de l'azote moléculaire alors qu'une augmentation de la température de 10°C augmente cette réaction d'un facteur multiplicateur d'au moins trois (Labroue *et al*, 1995).

1.1. Les transformations internes

Du fait des relations entre les nombreux organismes présents, il existe des interactions marquées à l'interface sédiment-eau grâce à l'influence de multiple éléments (carbonique, éléments minéraux et organiques, nature physique du fond, …). Le cycle de l'azote (figure 1) au sein de l'écosystème étang est d'une extrême complexité (Beaupied, 1980).

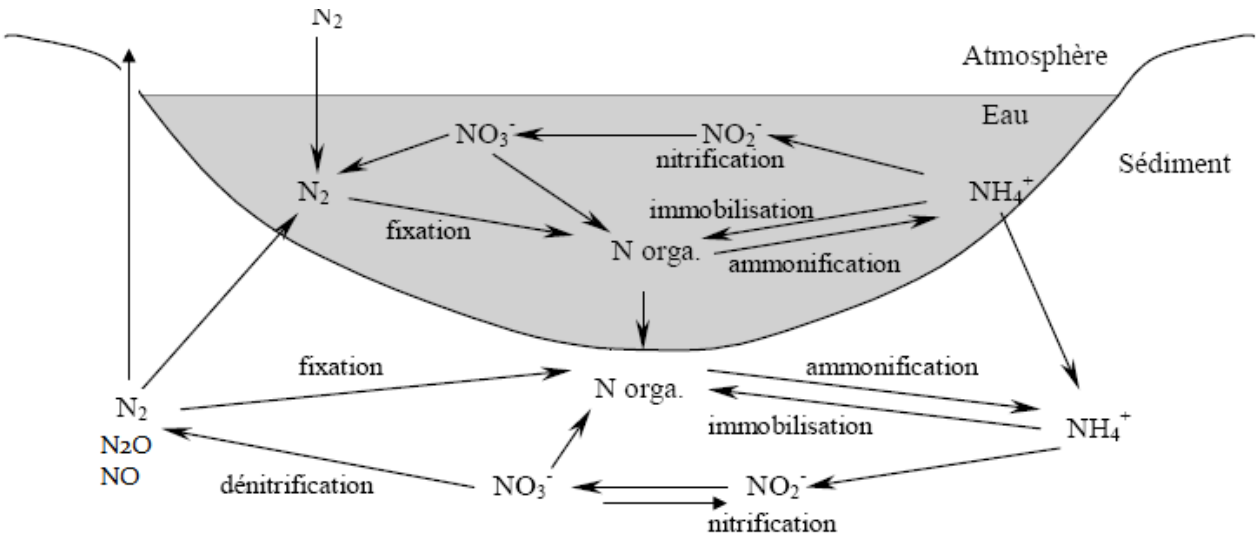


Figure 1: Cycle de l'azote en étang (d'après Beaupied, 1980 ; Roque d'Orbcastel et Blancheton, 2007).

Au cours de la minéralisation, une série de transformations, dont la première est l'ammonification puis la nitrosation et la nitratation, conduira l'azote du stade organique à des formes combinées minérales.

L'ammonification, réalisée par des bactéries hétérotrophes divers, aboutit à la formation d'azote ammoniacal. Cette réaction est réalisée en permanence dans l'eau et les sédiments des étangs (Beaupied, 1980).

Si le rapport C/N des détritus est haut (C/N > 40) l'azote minéral est assimilé par les micro-organismes minéralisateurs (immobilisation), s'il est bas, l'azote minéral sera relargué (Labroue *et al.,* 1995). La régénération de l'azote minéral est plus lente que celle du phosphore, par conséquent en lac eutrophe où le phosphore est abondant, il peut y avoir prolifération de Cyanobactéries fixatrices d'azote moléculaire, les autres conditions étant favorables. A l'état d'ion NH_4^+ (ammonium), l'azote peut se fixer sur le complexe adsorbant du sédiment. Ce phénomène est d'autant plus marqué que ce dernier est riche en éléments fins et en colloïdes humiques.

La nitrosation est réalisée par des bactéries nitreuses (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, …) et conduit à la formation de nitrites (NO_2^-) :

$$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

La nitratation est réalisée par des bactéries aérobies strictes et chimio-autotrophes dont le genre *Nitrobacter* est le plus commun :

$$NO_2\text{-} + ½\ O_2 \rightarrow NO_3^-$$

La nitratation est le processus limitant. En effet, les nitrites peuvent s'accumuler dans le milieu à pH basique, moins bien toléré par les bactéries nitriques responsables de la nitratation. L'ion nitrate est moins piégé par les sédiments que l'ion ammonium (Beaupied, 1980).

L'azote ammoniacal est la source la plus importante d'azote pour le phytoplancton alors que les macrophytes absorbent surtout NO_3^- du fait des nombreux paramètres intervenant dans leur formation, ainsi que de leurs multiples consommateurs et des rapports entre ces derniers. Les teneurs en azote minéral subissent dans les étangs des variations saisonnières : les faibles assimilations pendant les périodes froides les rendent disponibles en plus forte quantité tandis que les fortes assimilations en période chaude les rendent moins disponibles. Cependant Labroue *et al.,* (1995) relèvent que l'absorption n'est pas forcément synchronisée avec un maximum de productivité primaire dans le milieu.

1.2. Les exportations

Les pertes d'azote d'un lac se font à l'exutoire et au niveau des sédiments (sédimentation et diagenèse), mais seul le processus de dénitrification assure son élimination définitive sous forme de produits gazeux (Labroue *et al.*, 1995). En étang, une exportation supplémentaire est liée à l'activité du pisciculteur lors des pêches, des vidanges ou des travaux de faucardage effectués durant le cycle d'exploitation.

La dénitrification est réalisée par des bactéries aérobies du genre *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, etc.…C'est un processus à dominance microbien et qui modifie très fortement l'équilibre azoté en milieu humide (Roque d'Orbcastel et Blancheton, 2007). Dans la réaction le NO_3^- produit de l'oxygène nécessaire aux réactions microbiennes. A l'inverse de la nitrification, le schéma réactionnel de la dénitrification, qui alcalinise le milieu, est le suivant: $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$. La dénitrification est favorisée dans les sédiments réducteurs et riches en matière organique (Beaupied, 1980).

1.3 Toxicité de l'ammoniaque

En solution aqueuse, l'ammoniaque se présente sous deux formes chimiquement distinctes : la forme non ionisée (NH_3) qui est en équilibre avec la forme ionisée, l'ammonium (NH_4^+) et l'ion hydroxyde (Francisco *et al.*, 1999).

$$NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$$

La proportion relative de ces deux formes dépend en particulier du pH et de la température de l'eau (Trussel, 1972; Szumski *et al.*, 1982 ; Person-Le Ruyet et Bœuf, 1998 ; Rodier *et al.*, 2009) et se partage selon le diagramme de Woker (Fig.2.) ou suivant la formule décrite par Rodier *et al*., (2009) :

$$NH_{3\,(mg/l)} = NH_4^+ / (1 + 10^{(10\,-\,pH-\,0{,}03\,T)})$$

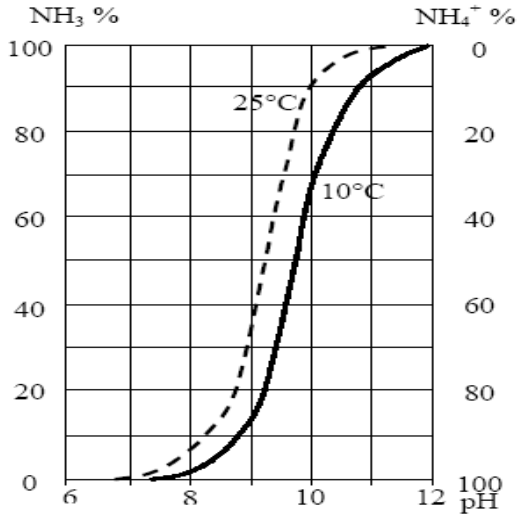


Figure 2 : Diagramme de Woker présentant la répartition des formes NH_3 et NH_4^+ en fonction du pH et de la température (d'après Trussel, 1972).

La forme non ionisée est très toxique notamment pour les poissons (Poirel *et al.*, 1994). En aquaculture l'accumulation de NH_3 conduit à une réduction de la croissance des poissons, à une réduction de l'immunocompétence puis à la mort (Hargreaves, 1998). La toxicité de NH_3 a été largement étudiée chez les salmonidés (Lloyd et Orr, 1969 ; Thurston *et al.*, 1984), considérés comme les plus sensibles à la présence d'NH_3. Le seuil de toxicité préconisé en pisciculture, déterminé à partir de ces études est de 0,02 $mg.l^{-1}$ de $N\text{-}NH_3$ et sert de référence pour l'ensemble des poissons. L'EIFAC (1970) et l'U.S.EPA (1976) préconisent respectivement des valeurs inférieures à 0,021 et 0,016 $mg.l^{-1}$ comme tolérables par les poissons sur de longues durées. En Europe, les directives CEE (CEE, 1978) fixent les concentrations maximales en NH_3 à 0,025 $mg.l^{-1}$ pour les eaux douces destinées à la vie piscicole, valeur proche de 0,026$mg.l^{-1}$ relevée par Lemarié *et al.*, (2004) pour les eaux saumâtres. Marcel (1996) indique une CL_{50}24h de 0,6 $mg.l^{-1}$ pour la Carpe ainsi qu'une toxicité à long terme à des expositions de 0,06 $mg.l^{-1}$ pour le poisson-chat. Pihan et Landragin, (1985) notent la relation suivante entre la CL_{50} à long terme du poisson et la teneur en oxygène dissous dans l'eau. La combinaison de ces facteurs entraine généralement des mortalités chez les poissons les plus sensible comme les Tilapias et la carpe commune (Pouomogne, 1994 ; Kottelat et Freyhof, 2007 ; Riede, 2004 ; Eaton, 1995).:

2. Cycle du phosphore

Les scientifiques s'accordent à considérer le phosphore comme le principal élément déclencheur de l'eutrophisation en eau douce (Barroin, 1990). Celui-ci constitue généralement un facteur limitant de la croissance des végétaux aquatiques et de fortes concentrations (> au seuil de 10 à 20 µg L^{-1}) a pour répercussions le développement macrophytique et phytoplanctonique. Le devenir du phosphore en milieu aquatique est régit par divers mécanismes dont les principaux sont résumés dans le cycle du phosphore de la figure 3.

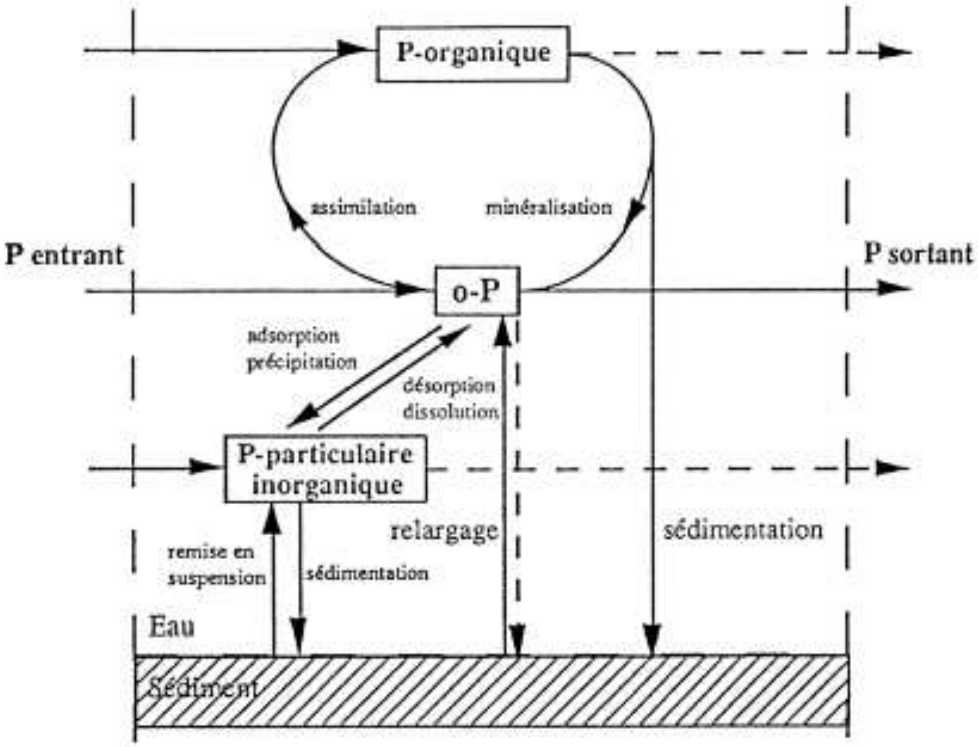


Figure 3 : Cycle du phosphore dans un écosystème aquatique (d'après Moutin, 1992).

2.1. Formes du phosphore

Relativement abondant dans la roche mère, il est cependant majoritairement présent sous desformes non assimilables par les végétaux. En milieu aquatique, il est principalement présent sous forme particulaire, lié à différents colloïdes ou cations.On le trouve sous forme soluble, en proportion beaucoup plus faible. Pour chacune de ces deux formes le phosphore peut être organique ou minéral. Ce dernier représente une fraction plus mobile est généralement plus abondante que le phosphore organique (Syers *et al.*, 1973 ; Logan, 1982). Boström *et al.,* (1982) spécifient que seulement 15 à 50 % du phosphore des sédiments sont sous forme organique.

Le phosphore minéral des sédiments est généralement divisé en compartiments distincts qui sont : le phosphore minéral particulaire fixé non biodisponible, le phosphore minéral particulaire mobilisable biodisponible, le phosphore minéral dissous dans l'eau interstitielle.La biodisponibilité du phosphore particulaire varie largement en fonction de la composition chimique des particules. La biodisponibilité peut être nulle avec du matériel détritique issu des berges (P apatitique) et plus biodisponible pour la fraction liée au fer ou à l'aluminium. La fraction organique est plus ou moins biodisponible en fonction de sa composition chimique et des conditions de sa minéralisation. Le phosphore lié aux acides humiques et surtout celui des phytates paraît plutôt réfractaire (De Groot et Golterman, 1993). Des études récentes indiquent cependant un relargage possible en conditions anoxiques (Golterman *et al.*, 1998).

Le phosphore minéral dissous dans l'eau interstitielle représente moins de 1 % du phosphore total (Labroue *et al.*, 1995). La pluie de détritus consécutive à une fleur d'eau entraîne des teneurs élevées à l'interface sédiment-eau. En général, les valeurs sont minimales en période froide (faible minéralisation de la matière organique) et maximales en période chaude (activité microbienne et réduction de la couche oxydée près de la surface)

2.2. Adsorption et désorption.

Aux pH rencontrés dans les eaux de surface, le phosphore minéral est sous la forme d'ions $H_2PO_4^-$ et $HPO4^{2-}$. On dose généralement la somme des deux formes exprimées en P-$PO4^{3-}$.

En milieu aquatique, le phosphore soluble se retrouve au niveau de la masse d'eau, mais également dans l'eau interstitielle du sédiment (Despreaux, 1990). Le phosphore particulaire est stocké principalement dans les sédiments, et peut être transporté sous forme de matières en suspension. Les mécanismes de sédimentation et de remise en suspension peuvent perturber l'état d'équilibre entre phases dissoutes et particulaires, par modification des capacités d'adsorption et de désorption du sédiment, la capacité d'adsorption étant dépendante du potentiel d'oxydoréduction et du pH (Despreaux, 1990).

La fixation du phosphore sous forme minérale particulaire dans les sédiments ainsi que son relargage vers l'eau superficielle sont contrôlés d'une part par l'adsorption des ions orthophosphates sur l'hydroxyde ferrique (goethite) Fe(OOH) et la précipitation avec Ca^{2+} comme apatite $CaCO_3$ (Golterman, 1998). Le phosphore minéral de l'eau interstitielle est en équilibre dynamique avec le phosphore fixé sur les particules et les variations réciproques des teneurs des phases liquides et solides peuvent être décrites par les équations de Langmuir, de Freundlich ou apparentées (Golterman, 1984 ; Golterman, 1998). Si la couche superficielle des

sédiments est oxydée, l'hydroxyde ferrique accumulé précipite le phosphore à l'interface. Si cette couche est réduite (conditions anoxiques), le phosphore déjà fixé est relargué, et le flux, bien supérieur, entraîne un enrichissement de la colonne d'eau (Labroue *et al., 1995*).

L'enrichissement des eaux superficielles en phosphore peut également être la conséquence de la remise en suspension des sédiments du fond par le vent ou par bioturbation (Mainstone *et al.,* 1993). Une large proportion de la charge interne des plans d'eau peu profonds peut être liée au mélange de l'eau interstitielle des sédiments riche en phosphore avec la colonne d'eau.

2.3. Production phytoplanctonique et macrophytique

L'orthophosphate libre est la forme essentiellement absorbée par les algues pour leur production (Golterman, 1995 ; Labroue *et al.*, 1995). Les hélophytes, disposant d'un réseau racinaire important, puisent leur phosphore essentiellement dans les sédiments (Labroue *et al*., 1995). Dans les plans d'eau oligotrophes, les macrophytes d'une part puisent le phosphore des sédiments et d'autre part le rendent moins disponible en oxygénant le milieu par leurs racines. Inversement dans les plans d'eau eutrophes, l'accumulation de matière organique entraîne un abaissement du potentiel redox favorable à son relargage (Golterman, 1995).

La fixation de l'azote et du phosphore dans ces écosystèmes est également fonction de la disponibilité en carbone qui se présente généralement sous sa forme assimilable en gaz carbonique (CO_2). Tout comme l'azote et le phosphore son assimilation et son recyclage constitue un cycle aussi complexe.

3. Cycle du carbone

Issu des échanges avec l'atmosphère, de la dissolution des roches carbonatées et de la respiration des organismes vivants, le CO2 dissous dans l'eau est réduit par les micro-organismes photosynthétiques ou chimiosynthétiques pour former une multitude de composés organiques. Il est ensuite restitué, plus ou moins lentement selon la complexité des composés, au travers des processus de dégradation de la matière organique. Une partie du carbone, réfractaire à la dégradation ou à taux de renouvellement très lent, s'accumule dans les sédiments sous des formes organiques ou minérales (figure 4).

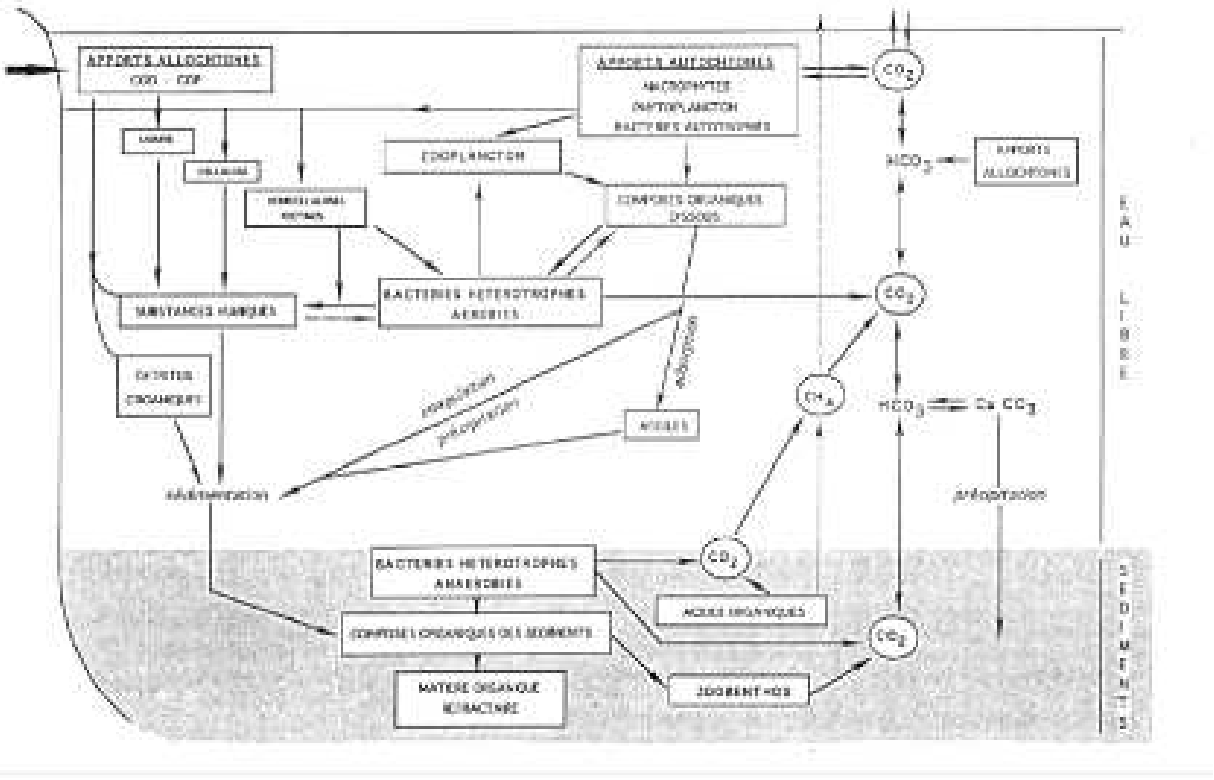


Figure 4: Cycle du carbone dans un plan d'eau (d'après Garnier et Lavandier, 1995)

Il existe deux formes de carbone dans les eaux, la forme inorganique et la forme organique.

3.1. Carbone inorganique

Les différentes formes du carbone inorganique présentes dans l'eau résultent à la fois des processus physiques (échanges avec l'atmosphère, dissolution, précipitation) et des processus biochimiques (production primaire, respiration). Le CO_2 très soluble dans l'eau, s'hydrate pour former, par une réaction lente, de l'acide carbonique qui se dissocie en ions bicarbonates et carbonates en fonction du pH (Stumm et Morgan, 1981). Dans la plupart des écosystèmes limniques, le bicarbonate domine lorsque le pH varie entre 6 et 9.

L'acide carbonique attaque les roches superficielles et en particulier la calcite. La forme de la réaction indique qu'une baisse de la teneur en CO_2 peut conduire à une précipitation du $CaCO_3$ tandis qu'une augmentation entraîne une dissolution supplémentaire de $CaCO_3$. Il peut y avoir ainsi précipitation de calcite dans les couches supérieures de la colonne d'eau où l'activité photosynthétique provoque un déficit en CO_2, cette calcite peut être à nouveau dissoute à proximité des sédiments par l'excès de CO_2 dans les zones anoxiques.

3.2. Carbone organique

Il est principalement apporté dans les étangs à travers des fumures animales utilisées comme fertilisant, des restes d'aliments et fèces de poissons ainsi que des différents végétaux utilisés dans la compostière en étang auxquelles l'on ajoute les macrophytes des berges. La matière organique autochtone particulaire comprend des organismes vivants, bactériens, animaux

(zooplancton et zoobenthos) et végétaux (macrophytes, algues épiphytiques et planctoniques) mais aussi leurs formes à différents stades de dégradation. La fraction vivante ne représente généralement qu'une faible part du carbone organique total (Wetzel, 1983).

La fraction détritique, dissoute ou particulaire, est soumise à la dégradation bactérienne dans la colonne d'eau ou au niveau des sédiments. Le stock de matière organique dissoute est alimenté par les produits intermédiaires de la décomposition microbienne et par les composés excrétés par les organismes (algues, macrophytes et animaux notamment) lors de leur croissance. L'excrétion de matière organique par le phytoplancton varie, par exemple, dans une large gamme en fonction des conditions de l'environnement et de la physiologie des organismes, de 1 à 50 % du carbone total fixé par photosynthèse (Wood *et al*., 1992). Celle des végétaux fixés est du même ordre, estimée à environ 10 % du carbone total fixé par la photosynthèse (Wetzel, 1983).

La synthèse de matière organique à partir du CO_2 est assurée par les végétaux supérieurs, par les algues périphytiques et planctoniques, par les cyanobactéries et, dans une moindre mesure par les bactéries photo- et chimiosynthétiques mais aussi hétérotrophes. La productivité des ceintures végétales de macrophytes et algues périphytiques est très élevée : respectivement 1 500 à 4 500 et 50 à 100 g C./m²/an pour les végétaux émergés et immergés (Wetzel, 1983). Elle peut dépasser production du phytoplancton qui peut atteindre 1500 g C/m²/an en milieu eutrophe. Dans les étangs tropicaux bien fertilisés cette production fluctue dans la gamme 4-8g C/m²/an correspondant à 29,2-58,4 t de matières sèches produites/ha/an et dont seulement 0,85% au mieux 1,7% est convertis en chair à poisson (Verdegem, 2007).

Capable aussi d'utiliser le CO_2 pour leur biosynthèse, les bactéries autotrophes ont un rôle clé dans le cycle des éléments nutritifs. En anaérobiose, la méthanogénèse empêche l'accumulation de matière organique.

L’ensemble de ces phénomènes prédétermine la qualité et le niveau de rejet des pisciculture responsable des effets sur l’environnement.

ANNEXE 2
Variables utilisées dans les enquêtes des EFA

Tableau 1.A : Groupes, variables et leurs descriptions utilisés

Groupes	Variables	Descriptions
localisation de l'exploitation	région	Centre ; Ouest
	Département	Lekié, Mefou et Afamba, Mefou et Akono, Mfoundi, Hauts plateaux, Menoua
	Arrondissement	Yaoundé IV , YaoundéVI et Soa, (périurbaine); Obala,Mfou (messeng), Esse,Fokoué, Penka-Michel, Batié (rurale)
Caractéristiques socioprofessionnelles de l'exploitant	Sexe	masculin; féminin
	Age	âge du chef d'exploitation en année
	Education	niveau de scolarisation
	Religion	Chrétienne ; musulmane; animiste ou sans religion
	Situation matrimoniale	célibataire; marié; veuf (ve)
	Activité principale	première activité de l'exploitant (pisciculture, agriculture, fonctionnariat; commerce; artisanat)
	Activité secondaire	seconde activité de l'exploitant (pisciculture, agriculture, fonctionnariat; commerce; artisanat)
	Nombre d'année de pratique agricole	durée de pratique agricole (année)
force du travail humain	type de main d'œuvre*	familiale; salariée;
système de culture	Nombre de parcelles	nombre de parcelles de culture végétale
	Superficie totale des champs (ha)	superficie totale des parcelles (hors étang) en ha
	mode d'acquisition des terres	héritage, achat, don, location
	Nombre de culture végétale	différents types de cultures végétales
	cultures végétales (associée/unique)	Association dans une même parcelle ou non
système d'élevage	nombre d'élevage animal	nombre d'élevage hors pisciculture (poule, canard, cochon, mouton, chèvre, lapin, aulacode, bœuf)
	élevage Porcins	présence ou absence
	élevage ovins	présence ou absence
	élevage volailles	présence ou absence
	Alimentation des animaux	type d'aliment utilisé pour les animaux simple (remoulage), composé (remoulage + tourteaux +….), autre (drêche)
	usage des s/produits d'élevage	fertilisation des étangs; fertilisation des champs

Tableau 1.B : Groupes, variables et leurs descriptions utilisés

Groupes	Variables	Descriptions
système piscicole	Nombre d'étangs	
	superficie totale des étangs (ha)	somme des superficies de l'ensemble des étangs de l'exploitation
	superficie totale utilisée	superficie des étangs en activité
	taille moyenne des étangs (ha)	superficie totale divisé par le nombre d'étang de l'exploitation
	proportion (%) de surface occupée par les étangs	rapport (%) de la superficie occupée par les étangs par la superficie totale de l'exploitation
	Système piscicole	fonction de l'apport ou non d'intrant trophique (intensif; semi intensif; extensif)
	Objectif de production (t/ha/an)	rendement de production en t/ha/an envisagé par le producteur
	alimentation directe des poissons*	apport ou non d'un aliment direct
	usage de fumure animale *	type de fumure animale
	usage de fumure végétale *	type de fumure végétale
	source d'alimentation en eau *	provenance de l'eau d'alimentation des étangs
	mode d'apport d'eau*	mode de gestion de l'eau apporté dans l'étang après le remplissage initial
	autres usage de l'eau	culture, alimentation animale et domestique; aucun
	nombre d'espèces de poisson associé*	le nombre d'espèces de poisson élevé ensemble dans un même étang
	densité totale (ind/m²)*	le nombre total de poisson élevé dans un m² d'étang
	durée du cycle d'élevage (mois)*	la durée de l'élevage à partir de la date de la mise en charge (6mois, 6 - 12 mois, > 12 mois)
	empoissonnement de base*	le(s) espèce(s) principale(s) élevées
	espèces associées *	le(s) espèce(s) ajoutées
	source alevins tilapia	provenance des alevins (autogestion à la ferme, écloserie ou ferme tierce, milieu naturel (pêche))
	source alevins Clarias	provenance des alevins (autogestion à la ferme, écloserie ou ferme tierce, milieu naturel (pêche))
	source alevins Carpe	provenance des alevins (autogestion à la ferme, écloserie ou ferme tierce, milieu naturel (pêche))
	source alevins Heterotis	provenance des alevins (autogestion à la ferme, écloserie ou ferme tierce, milieu naturel (pêche))
	rendement obtenu (t/ha/an)*	rendement de production réel obtenu (t/ha/an)

Tableau 1.C : Groupes, variables et leurs descriptions utilisés

Groupes	Variables	Descriptions
Orientation des productions de l'exploitation	production végétale totale récolté (kg)	somme de tous les produits végétaux récoltés
	production végétale vendue (%)	part des récoltes vendu
	production animale autre que poisson récolté (kg)	quantité totale (kg) d'animaux produit au cours de l'année,
	production animaux vendue (%)	part d'animaux vendu
	quantité de poisson récolté (kg)	quantité totale (kg) de poissons sortis d'étang
	proportion vendu (%)	part réellement vendu
	proportion consommée(%)	part consommée dans la famille
	proportion don (%)	part distribuée en échange de la main d'œuvre ou autre relation sociale
incidence de la pisciculture sur le revenu agricole totale brut de l'exploitation	revenu piscicole potentiel (fcfa)	potentiel = avant ponction pour consommation perso ou don (du fait de la variabilité des prix (Grosse, 2009) nous avons opté d'utiliser une moyenne de 1000cfa le kg de poisson frais sorti d'étang)
	contribution (%) de la production piscicole au revenu agricole global de l'exploitation	Part de la pisciculture dans le revenu agricole de l'exploitation (%)

ANNEXE 3
Composition chimique de quelques poissons

Poissons	Humidité (%)	protéines brutes (%)	Phosphore total (mg/gpoids sec)	Références
Oreochromis niloticus	77,21±0,115	16,15±0,01	5,08	Otitologbon *et al.*,1997
Clarias gariepinus	74,41±0,098	18,8±0,018	5,16	
Clarias gariepinus	75,68±0,58	16,8±0,44	(0,18±0,01g/100g)	Rosa *et al.*, 2007
Clarias gariepinus	72,5	14,7	1,8	Toko *et al.*, 2007
Heterotis niloticus	79,6±0,3	14,0±0,2		Monentcham *et al.*, 2010
Oreochromis niloticus		14,1	7,5	Boyd *et al.*, 2007.

La teneur en Azote total est déduite de la teneur en protéine par la formule suivante :

Teneur en N = Teneur en protéines / 6.25

(http://users.skynet.be/debruxelles/keldhal.html)

ANNEXE 4
Protocole de collecte de données physico-chimiques dans les étangs

Ce protocole est applicable aux étangs peut profond ne présentant pas de risque de noyade.

Objectif général du protocole

Appréhender quantitativement les flux de matières (entrant et sortant) d'un étang pendant un cycle de production.

Pour cela il est prévu :

(1) d'estimer les flux d'eau (précipitation, évaporation, entrées, infiltration, sortie par un moine

(2) de réaliser des analyses physico-chimiques de l'eau (entrée, sortie, et intérieur de l'étang) et des sédiments de l'étang

(3) d'avoir un bilan complet quantitatif des entrées de matières (aliments, fumures, alevins, …) et des sorties (poissons essentiellement) → cahier rempli chaque jour par le pisciculteur

(4) de réaliser des analyses chimiques de la composition des intrants

Périodicité

Elle est fixée en fonction de l'éloignement de la ferme du laboratoire d'ichtyologie et d'hydrobiologie appliquée de l'Université de Dschang tel que le résume le tableau suivant.

Tableau 1 : distance et fréquence des prélèvements dans les différentes fermes

Distance de la ferme au Laboratoire (km)	Fréquence de prélèvement
0 -30	15 jours
31 -100	Un à deux mois
Plus de 100	Deux mois

Le suivi rapproché (15 jours) permet de prendre en compte toutes les variations en termes d'apport et de gestion. Quant au système entièrement extensif deux prélèvements (au début et à la fin du cycle) ont été réalisés.

1- Caractéristiques topographiques de l'étang

Objectif : appréhender les apports et pertes en eau via la variation du niveau d'eau dans l'étang

Fréquence : à faire une fois sur chaque étang et où cela est possible sans risque de noyade, **après un remplissage au maximum de ce dernier**

- Dimensions : longueur et largeur (la plupart des étangs ayant une forme rectangulaire)

* mesure au minimum de 10 largeurs au niveau de l'eau, réparties régulièrement. Toutefois lorsque l'étang a une forme quelconque, il est préalablement divisé en figures géométriques avant les mesures. La surface finale sera la somme des surfaces des différentes figures géométriques préalablement obtenues.

* relever la côte de l'échelle limnimétrique au moment des mesures

- Profondeur en eau et épaisseur des vases

Réalisation d'un profil transversal (avec et sans vases) des profondeurs pour chacune des largeurs mesurées (figure 1) à l'aide d'un tube PVC gradué.

Remarque : Pour apprécier la forme des berges de l'étang des hauteurs ont été mesurées sur des verticales très rapprochées, équidistante de 30cm.

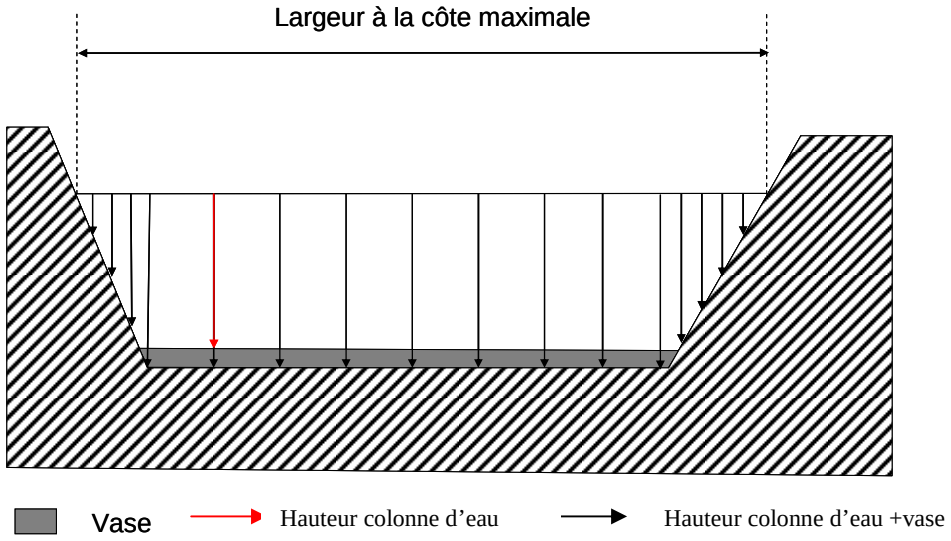


Figure 1 : Représentation schématique du protocole de mesure topographique des étangs

- Calcul du volume en eau pour différentes côtes
Le volume en eau moyen est obtenu en multipliant la surface de l'étang par la hauteur d'eau moyenne obtenu en divisant la somme des côtes de colonne d'eau par le nombre de relevé.

2- Hydrologie : quantification des volumes d'eau entrant et sortant

Objectif : Maîtriser les volumes d'eau entrée et sortie durant le cycle d'élevage. Le volume d'eau entrée est fonction de la forme de l'étang et des variations de niveau d'eau.

Matériels et mesures

- Placer une échelle limnimétrique (attention à la verticalité) en un point de l'étang visible depuis la berge (appréciation des variations du niveau d'eau dans l'étang)
- Installer près de chaque étang un pluviomètre (Relevé et remise à zéro à chaque passage)
- Installer un thermomètre mini-maxi dans chaque étang (Relevé et remise à zéro à chaque passage)
- Faire faire par le pisciculteur des relevés de la côte sur l'échelle limnimétrique toutes les semaines ainsi que avant et après chaque remplissage

2.1. Calcul de l'évaporation

A été calculé en fonction de la quantité d'eau perdu et du taux d'évaoration journalier.

Utilisation de la formule :

$$Evpo = Ep \times \mu$$

Avec Ep : quantité d'eau perdue pendant une durée (une semaine)

µ taux d'avoporation journalier (0,7% pour les régions étudiés, Brunel et Bouron, 1992)

Dans le cas des étangs alimenté en continu ou par la nappe et où les variations de niveau sont presque inobservables, la quantité d'eau évaporée a été estimée à partir du volume d'eau moyen, du taux d'évaporation journalier et de la durée d'élevage en jour comme suit :

$$Evpo = S \times He \times \mu \times t$$

Avec : S : surface de l'étang

He : hauteur d'eau moyenne

µ : taux d'évaporation journalier

t : durée d'élevage en jour

2.2. Quantification des précipitations

- Quand la ferme a pu être équipée d'un pluviomètre, ce sont ces données qui ont été utilisées
- dans le cas contraire la pluviométrie a été estimée de la moyenne annuelle de pluie (1600 mm, Suchel, 1987) des deux régions et la superficie de l'étang et de la durée d'élevage en mois.

2.3. Quantification des infiltrations (Ie)

- Pendant un intervalle de temps Δ t (7 jours) si possible sans pluie et sans apports d'eau par le dispositif d'alimentation en eau :

* Calculer à partir des pertes d'eau totales (p_e) à partir de la variation de niveau d'eau

* Calculer l'évaporation (E) à partir des mini-maxi pendant Δ t

$Ie = p_e - E$

* Cas où pluies P pendant un intervalle de temps Δ t (7 jours):

$Ie = p_e - E + P$

NB : afin d'amoindrir les risques ce nombre de jour peut-être réduit à un ou deux jours en fonction de la proximité du site.

2.4. Quantification des apports en eau par le dispositif d'alimentation

<u>1er Cas</u> *: Il n'y a pas d'entrée d'eau en continu mais seulement des entrées périodiques pour compenser l'évaporation et parfois quelques infiltrations) et pas de sorties par le moine sauf lors de la vidange pour la pêche*

* Faire repérer par le pisciculteur les côtes sur l'échelle limnimétrique avant (H_1) et après (H_2) chaque remplissage

* Calcul du volume apporté V (Formule de Hubault, 1947)

$(H_2 - H_1)$

V = * (S1+ S2 * √ (S_1 . S_2))^3

Avec S_1 et S_2 les surfaces en eau de l'étang aux côtes H_1 et H_2

2ème Cas : *Il y a une entrée d'eau en continu (par dispositif d'alimentation) et/ou une surverse en continu (« moine »)* :

* Mesurer les débits d'entrées et de sorties à l'aide d'un seau (≥ 10 l) et d'un chronomètre

Q = v / t

Avec : v : volume du seau en litre (l),

t : temps de remplissage en seconde (s)

3ème Cas : *Il y a une entrée d'eau en continu et diffuse par la nappe phréatique et aucune variation de niveau d'eau dans l'étang* :

L'eau apportée dans ce cas compense équitablement les pertes dues aux évaporations et dont est égale à la quantité d'eau évaporée.

3- Qualité physico-chimique de l'eau et des sédiments de l'étang

Les mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau de l'étang est faite dans l'ordre suivant :

(1) transparence,
(2) prélèvements d'eau et mesure du pH, de l'oxygène dissous et de la conductivité (avant d'avoir perturbé le milieu)
(3) mesure des hauteurs d'eau et de vases et
(4) prélèvement de vases

3.1 Mesures de la transparence in situ

Elle est mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de 25cm de diamètre lesté monté sur une corde graduée. Elle consiste à mesurer en un site fixe pour chaque étang et en lecture verticale la profondeur de disparition de du disque de Secchi à 1 cm près en positionnant le disque à 1,5 m de la berge (figure 2)

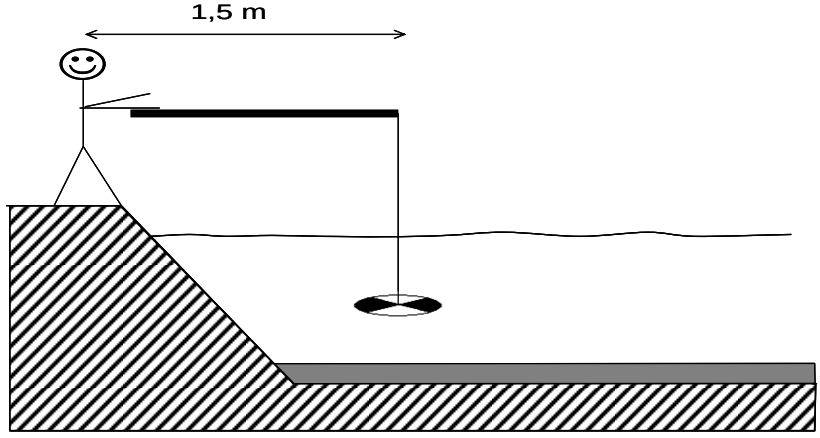


Figure 2 : Mesure de la transparence de l'eau avec le disque de Secchi

3.2 Prélèvements d'eau et mesures in situ (à faire dans l'ordre indiqué)

Les prélèvements ont été faites dans les zones les plus profondes (les moins profondes étant très influencées par la variation des conditions du milieu extérieur) près du système d'évacuation de l'eau (point C de la figure 4). Il est fait dans deux flacons en polyhétylène de

250 ml à deux niveaux (10 cm de la surface : S et 10 cm au dessus des vases : F) sur la même verticale à l'aide dune seringue (60-100 ml) muni d'un tuyau souple fin (diamètre 4mm) fixé sur une règle graduée (figure 3) ceci afin de tenir compte de la stratification possible de l'eau : S se situe en zone euphotique et F en dessous de cette zone.

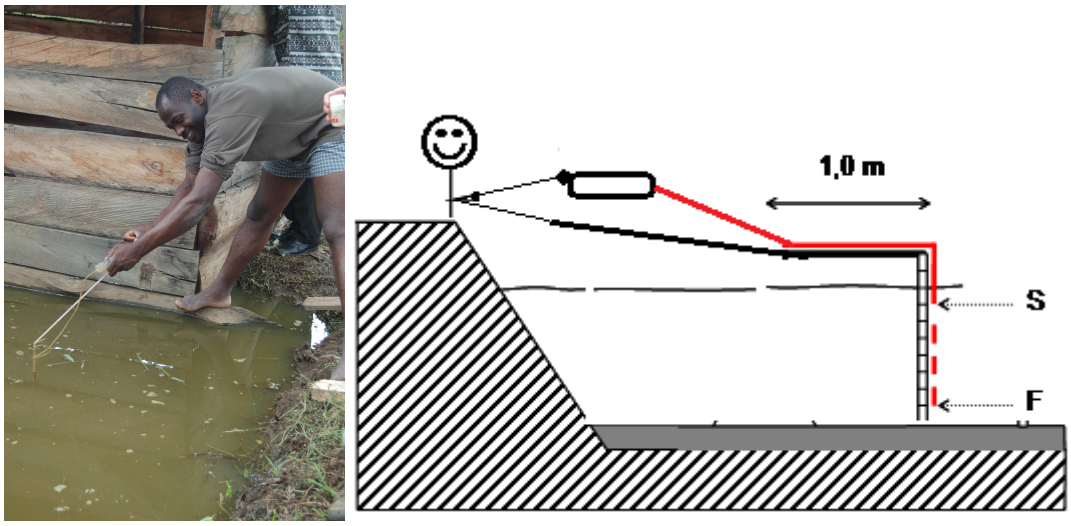


Figure 3 : dispositif pour les mesures d'oxygène *in situ* et les prélèvements d'eau

- Mesure des paramètres de l'eau.

Afin d'éviter toute modification sous l'effet d'une agitation possible, l'oxygène dissous est mesuré *in situ* aux mêmes profondeurs de prélèvement de l'eau à l'aide d'un thermo-oxymètre qui permet de relever également la température de l'eau de l'étang à ces deux niveaux.

Le pH et la conductivité sont mesurés dans chacun des deux prélèvements à l'aide d'un thermo-pHmètre et d'un thermoconductimètre respectivement.

Une fois les mesures de terrain terminé, l'on constitue l'échantillon à transporter au laboratoire en faisant un mélange 50/50 des deux prélèvements soit 125ml de chacun dans un flacon de 250ml conditionné dans une glacière rafraichis à la glace.

3.3 Hauteur de la colonne d'eau et épaisseur de la vase

Elles sont mesurées à l'aide d'une colonne en PVC de 5 cm de diamètre ouverte aux deux extrémités, en trois points de l'étang repérés sur les berges (figure 4) : A : près de l'arrivée d'eau ; B : au centre de l'étang ; C : près de l'évacuation d'eau).

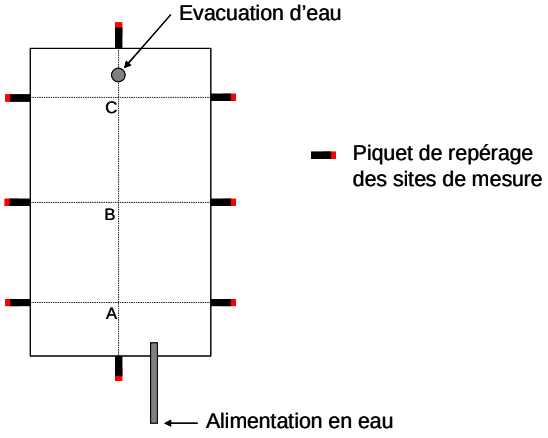


Figure 4 : repérage des points de mesures des profondeurs

- Mode opératoire : laisser descendre la colonne dans l'eau jusqu'au contact de la vase du fond et lire la hauteur immergée Z1 (1ere lecture = colonne d'eau) ensuite enfoncer la colonne par une légère pression jusqu'au substrat dur et lire la hauteur immergée Z2 (figure 5)

Epaisseur de vase = Z2 - Z1



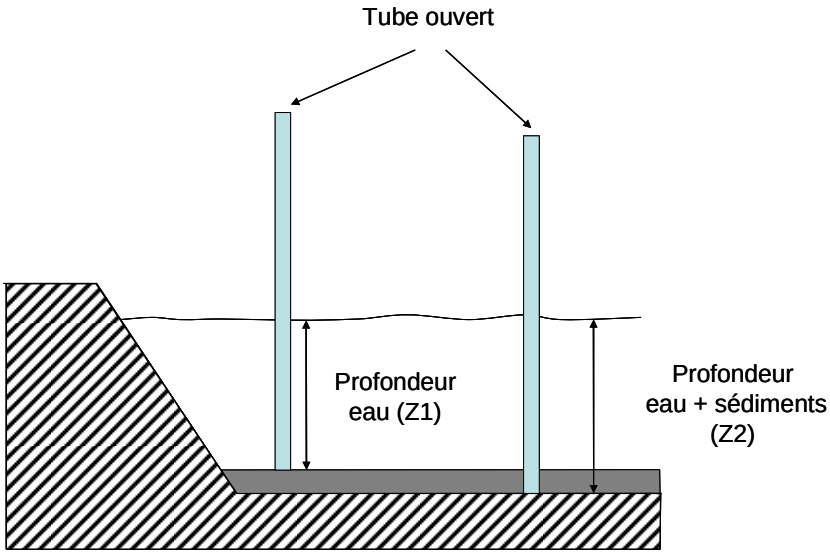


Figure 5 : Mesures des hauteurs de la colonne d'eau et de l'épaisseur de la vase

3.4. Prélèvement de vase

Il est réalisé au point au point C (près de l'évacuation) à l'occasion de la mesure de l'épaisseur de la vase.

Pour ce faire, avant de retirer la colonne en PVC (figure 6), boucher l'extrémité émergée à l'aide d'un bouchon à vis (prévoir d'attacher le bouchon à la colonne pour éviter de la perdre au fond de l'étang), ensuite remonter verticalement la colonne et boucher l'extrémité immergée de la colonne au sorti de la vase avec la main. La vase ainsi prélevée est remontée verticalement jusqu'à la berge.

Pour collecter la vase, l'extremité où se trouve la vase est introduite dans un flacon de prélèvement à large ouverture et ensuite on ouvre le bouchon de la colonne.

. La plupart du temps, les sédiments tombent dans le flacon de prélèvement par gravité, aidés par la pression de l'eau surnageante dans la colonne. Cette eau surnageante est ensuite enlevée du flacon de prélèvement pour ne garder que la vase.

. Si la vase ne descend pas toute seule, alors vider l'eau surnageante de la colonne par l'extrémité émergée et pousser la vase dans le flacon de prélèvement à l'aide d'un bambou sec (matière inerte).



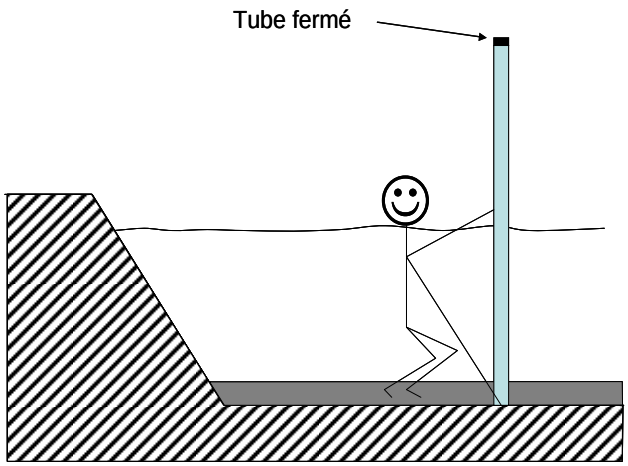


Figure 6 : Prélèvement de vase (photo D.Ombredane, 2008)

4- Autres prélèvements

Elles regroupent des prélèvements des eaux d'alimentation, rejeté par l'étang ou de pluie

4.1 Prélèvements d'eau

Ces prélèvements sont faites suivant des évènements qui précèdent la visite ou de la gestion quotidienne de l'eau de l'étang.

- S'il a été procédé à un remplissage de l'étang entre deux visites : prélever de l'eau de remplissage (cours d'eau, en général) à la visite qui suit
- S'il y a une entrée et/ou une sortie d'eau en continu : prélever de l'eau d'entrée et/ou de sortie à chaque visite
- S'il est tombé une pluie entre deux visites, recueillir de l'eau de pluie contenu dans le pluviomètre et faire une analyse.

4.2. Qualité des apports trophiques

Il s'agit ici de recenser et de caractériser tous les apports trophiques utilisé par le pisciculteur.

- Si utilisation d'aliments :

Relever la composition et l'origine de chaque composant, la forme, la fréquence et la quantité d'apport.

- Si usage de la fumure animale :

Relever le type d'animal et son origine, la compsition de l'aliment utilisé pour l'alimentation de l'animal ainsi que l'origine de chaque ingrédient, la fréquence et la quantité de fumure apporté. – si usage de matières végétales

Relever les types de végétaux dominant la masse totale et la fréquence d'approvrisionnement.

-si usage des déchets de cuisine :

Relever la masse et la fréquence d'apport.

Tableau 2A : formules, descriptions et unités de quelques éléments calculés

Eléments calculés	Formules et désignations	Unités	Description sommaire	Références
caractéristiques physiques				
surface (S)	**S = L x l** où L: longueur et l: largeur de l'étang	m²		
hauteur moyenne d'eau (He)	**He = (Hea+Hem+Heav)/3** Hea: hauteur d'eau en amont, Hem: hauteur au milieu , Heav: hauteur d'eau en aval	m	c'est la moyenne de la colonne d'eau mesurée au centre et dans en trois zones (amont moins profond, milieu et aval plus profond) à l'aide d'une règle graduée en contact avec la surface des vases	
hauteur totale moyenne (Ht)	**Ht = (Hta+Htm+Htav)/ 3** Hta, Htm et Htav: hauteur total en amont au milieu et en aval	m	c'est la hauteur de l'eau et de la vase de l'étang mesurée en introduisant la règle graduée jusqu'au contact du substrat dur du fond	
épaisseur vase(ev)	ev = Ht –He	m	différence entre la hauteur totale et la hauteur de la colonne d'eau	
Volume d'eau moyen (Ve)	Ve = He x S	m3	volume d'eau moyen est obtenue en multipliant la hauteur d'eau moyenne par la surface	
volume vase (Vv)	Vv = ev x S	m3	est estimé en multipliant l'épaisseur moyen de vase par la surface	
masse de vase (Qv)	Qv = Vv x ρv Vv: volume de vase, ρv: masse volumique de la vase	kg	ρv = 0,34g/cm3	Banas, 2001

Tableau 2B : formules, descriptions et unités de quelques éléments calculés

Fonctionnement				
Taux de renouvellement d'eau de l'étang (Tre)	Tre = (ΔHe/ He x t) x100 ΔHe: baisse de la hauteur d'eau, He: hauteur d'eau moyenne, t: durée en jour	%	est obtenu en divisant la différence de niveau d'eau de l'étang relevée sur une échelle limnimétrique pendant une semaine par la hauteur d'eau moyenne initiale multiplié par le temps(7jours) l'ensemble ramené en pourcent	
quantité d'eau consommée(Qec)	Qec = Ve x Tre x d Ve: volume d'eau moyen(m3), Tre: taux de renouvellement (%), d: durée d'élevage(jour)	m3	c'est la quantité d'eau perdue par le système durant son fonctionnement	
quantité de pluie (Qp)	Qp = hp x S hp: hauteur de pluie tombée (m), S: surface de l'étang(m²)	m3	la hauteur de pluie est obtenue par la moyenne des relevés d'un pluviomètre installé sur le site ou en rapportant la quantité de pluie annuelle fournis par la littérature à la durée de l'élevage. Pour les exploitations nous avons utilisé la hauteur de pluie moyenne de la région (1,6m)	IRAD, 2005; DSNC, 2001
quantité d'eau apporté dans le système(QeA)	QeA= Qec + Ve Qec:quanté d'eau consommée, Ve: volume d'eau moyen de l'étang	m3		
quantité d'eau perdue par évaporation (Qevp)	Qevp = Qec x Ert Qec: eau consommée(m3), Ert: taux d'évaporation retenue (%)	m3	est estimée en multipliant la quantité d'eau consommée par le taux d'évaporation journalier. Le taux d'évaporation journalier a été calculé d'après la formule suivante: Ert = 1,664(Ebac)^0,602 avec Ebac: évaporation relevée dans un bac (évaporomètre) installé à proximité du site. la valeur du Ert calculée et utilisée est de 0,654% proche de 0,7% de la littérature	Brunel et Bouron, 1992
quantité d'eau infiltrée (Qeinf)	Qeinf = Qec - Qevp Qec: quantité d'eau consommée, Qevp: quantité d'eau évaporée	m3		

Tableau 2C : formules, descriptions et unités de quelques éléments calculés

Apport de nutriment				
quantité d'azote entrée dans le système(Ne)	Ne = [Nea] x QeA +[Nep] x Qp + [Nep] +Ni [Nea] concentration d'azote totale de l'eau d'alimentation, [Nep]: concentration d'azote totale de l'eau de pluie, Ni : ∑ ([Ni]XQi) quantité totale d'azote fournis par les aliments et les fumures, QeA: quantité d'eau apporté dans le système, Qp: quantité de pluie	kg	les quantités d'azote et de phosphore ont été calculées à partir des masses d'aliments (ou apport direct) et de fumures apportés dans le système, les concentrations d'azote et de phosphore utilisées ont été issues de quelques analyses au laboratoire de l'INRA UMR SAS de Rennes et des données de la littérature	
quantité de phosphore entrée dans le système(Pe)	Pe = [Pea] x QeA +[Pep] x Qp +Pi [Pea] concentration de phosphore total de l'eau d'alimentation, [Pep]: concentration de phosphore total de l'eau de pluie, Pi: quantité totale d'azote fournis par les aliments et les fumures, QeA: quantité d'eau apporté dans le système, Qp: quantité de pluie Pi : ∑ ([Pi]XQi)	kg		

Tableau 2D : formules, descriptions et unités de quelques éléments calculés

Sortants				
Fixés				
Azote total fixé (Nf)	Nf= [Nf] x B [Nf] concentration d'azote totale du poisson, B: biomasse de poisson produite	kg	la biomasse produite est le gain de biomasse durant la période d'élevage, elle est égale à la masse de poisson sortie d'étang moins la masse d'alevins (B=Mr – Ma)	
phosphore total fixé (Pf)	Pf = [Pf] x B [Pf] concentration de phosphore total du poisson, B: biomasse de poisson produite		la biomasse produite est le gain de biomasse durant la période d'élevage, elle est égale à la masse de poisson sortie d'étang moins la masse d'alevins	
Rejets				
Azote total rejeté (Nr)	Nr= ([Nea] +[Nef])x Qeinf + [Nef] xVef +[Nvf] xQvf [Nea] concentration d'azote totale eau d'alimentation, [Nef]: concentration azote total eau de l'étang en fin d'élevage, Qinf: quantité d'eau infiltrée Vef: volume d'eau de l'étang en fin d'élevage, [Nvf] : concentration d'azote total des vases en fin d'élevage Qvf: quantité de vase en fin d'élevage	kg	somme des quantités d'azotes totaux rejetés à travers l'eau d'infiltration, l'eau de vidange et les vases en fin d'élevage	
phosphore total rejeté (Pf)	Pr= ([Pea] +[Pef])x Qeinf + [Pef] xVef +[Pvf] xQvf [Pea] concentration de phosphore total eau d'alimentation, [Pef]: concentration Phosphore total eau de l'étang en fin d'élevage, Qinf: quantité d'eau infiltrée Vef: volume d'eau de l'étang en fin d'élevage, [Pvf] : concentration d'azote total des vases en fin d'élevage Qvf: quantité de vase en fin d'élevage	kg	somme des quantités de phosphores totaux rejetés à travers l'eau d'infiltration, l'eau de vidange et les vases en fin d'élevage	

ANNEXE 5
Modèles ANOVA réalisés

La qualité des modèle est appréciée par
- Le coefficient de détermination R^2

R^2 = variance expliquée par le modèle / variance totale

Avec : variance totale = variance expliquée par le modèle + variance résiduelle = (écart de la variable à expliquer à sa moyenne)²/(n-1)

- Coefficient de Variation de l'écart type résiduel CVETR

CVERT= (variance résiduelle) ^{0,5} / Moyenne de la variable à expliquer

Ce coefficient traduit la part de la variance non expliquée (variance résiduelle) par le modèle relativement à la valeur moyenne de la variable à expliquer

Tableau 1 : Modèles statistiques réalisés après sélection des facteurs simples et interactions de facteurs actifs d'après les graphes de Daniels, Coefficient de Variation de l'écart type résiduel (CVETR) et son coefficient de détermination de chaque modèle

Variables	**Modèle ANOVA**	**CVETR (%)**	**R^2**
TPmf	Densité + densité*pain + pain + densité*carpe + carpe + remoulage	10	0,77
TCVPmf	Densité*silure + silure	27	0,40
TCs T	Densité + densité*cendre + remoulage + cendre*silure + pain*cendre + densité*remoulage + densité*pain + pain + cendre	1	1,00
TK	Pain + pain*cendre + urée + chaux*urée	3	0,90
Tsurvie	Densité*pain + chaux*cendre	10	0,78
Bioalev	pain+carpe*chaux + carpe	36	0,67
CgPmf	Pain + densité	27	0,76
CVCgPmf	Carpe*cendre + cendre + carpe	47	0,46
TCsCla	Pain + densité	19	0,72
CgK	Carpe + chaux + carpe*chaux + densité*chaux + cendre + urée + silure	1	0,99
Cgsurvie			
GBiotot	Densité + densité*pain + pain*remoulage + remoulage + pain + cendre	8	0,95
Rb	Densité + densité*pain + pain*remoulage	12	0,86
MAlev	Carpe + carpe*cendre + carpe*urée + silure*remoulage + densité*silure	44	0,86
Mint	Chaux + cendre + chaux*cendre + chaux*urée + urée + pain*remoulage + pain + remoulage	37	0,72
Mtot	Carpe + chaux*cendre + carpe*cendre + cendre	80	0,90
Ntr	Remoulage + urée	9	0,97
Ptr	Cendre + carpe + carpe*cendre + remoulage	16	0,81

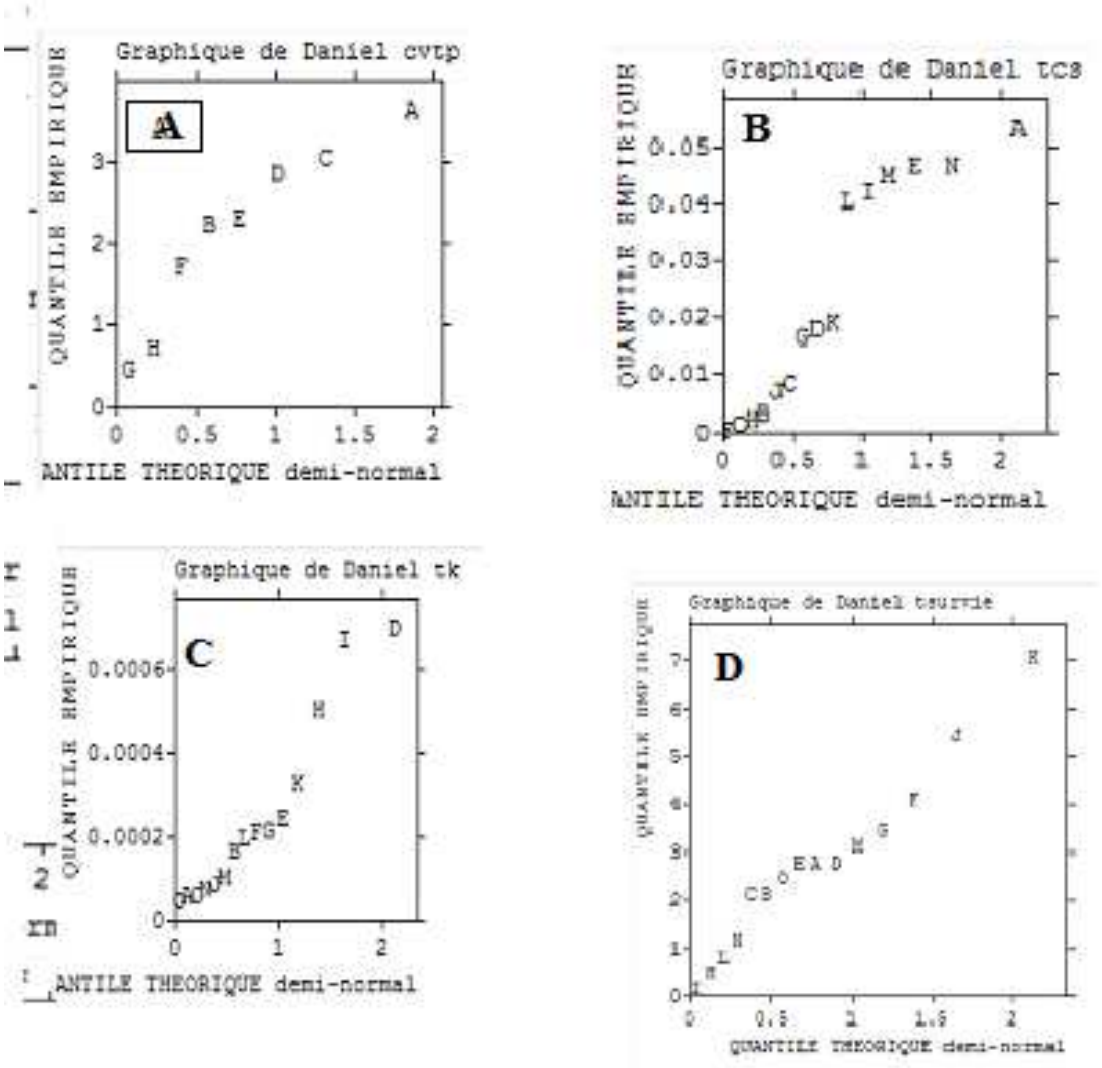
TPmf : poids moyen final Tilapia ; TCVPmf : coefficient de variation du poids moyen final du Tilapia ; TCsT : taux de croissance spécifique du Tilapia ; TK : coefficient de condition du Tilapia ; Tsurvie : taux de survie du Tilapia ; Bioalev : biomasse d'alevin produite ; CgPmf : poids moyen final de Clarias gariepinus ; coefficient de variation du poids de Clarias gariepinus ; TCsCla : taux de croissance spécifique de Clarias gariepinus ; CgK : condition K de Clarias gariepinus ; Cgsurvie : taux de survie de Clarias gariepinus ; GBiotot : gain de biomasse totale ; MAlev : marge sur coût d'alevins ; Mint : marge sur coût d'intrants ; Mtot : marge brute totale ; Ntr : azote totale rejeté ; Ptr : phosphore total rejeté; Rb : Revenu brut

ANNEXE 6

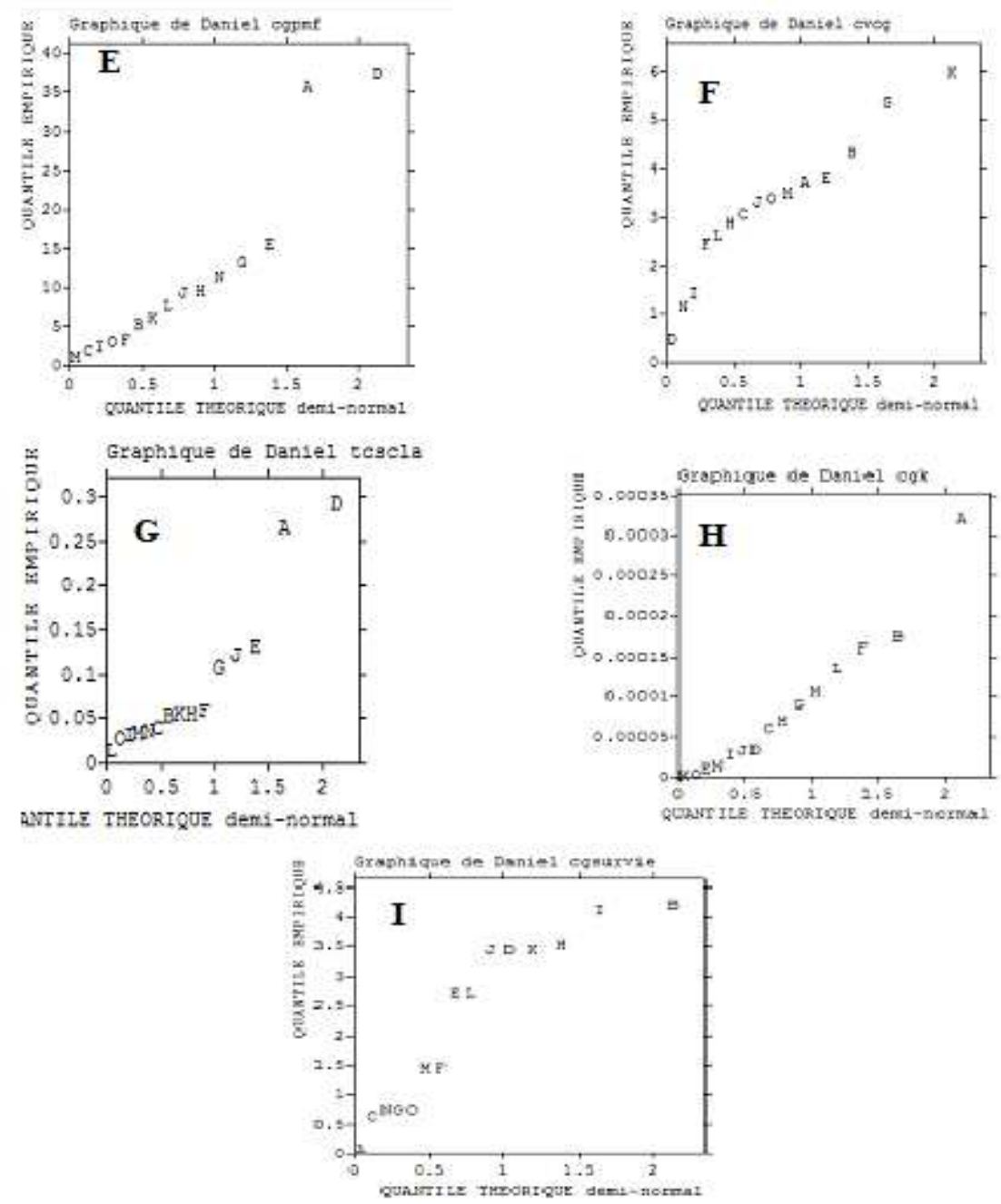
Tableau 1 : Correspondance entre les Symboles utilisés dans les graphe de Daniels (A à O) et les effets testés (facteurs simples ou groupe d'interactions entre facteurs

Symbole	**Effets**
A	densité
B	carpe
C	silure
E	remoulage
G	cendre
K	densité* pain + carpe* cendre + silure*remoulage + chaux*urée
L	Densité*remoulage + carpe*chaux + silure*pain + cendre*urée
D	pain
F	chaux
H	urée
I	densité*carpe + silure*urée + pain*cendre + remoulage*chaux
J	densité*silure + carpe*urée + pain*remoulage + chaux*cendre
M	densité*chaux + carpe*remoulage + silure*cendre + pain*urée
N	Densité-*.cendre + carpe*pain + silure*chaux + remoulage*urée
O	densité*urée + carpe*silure + pain*chaux + remoulage*cendre

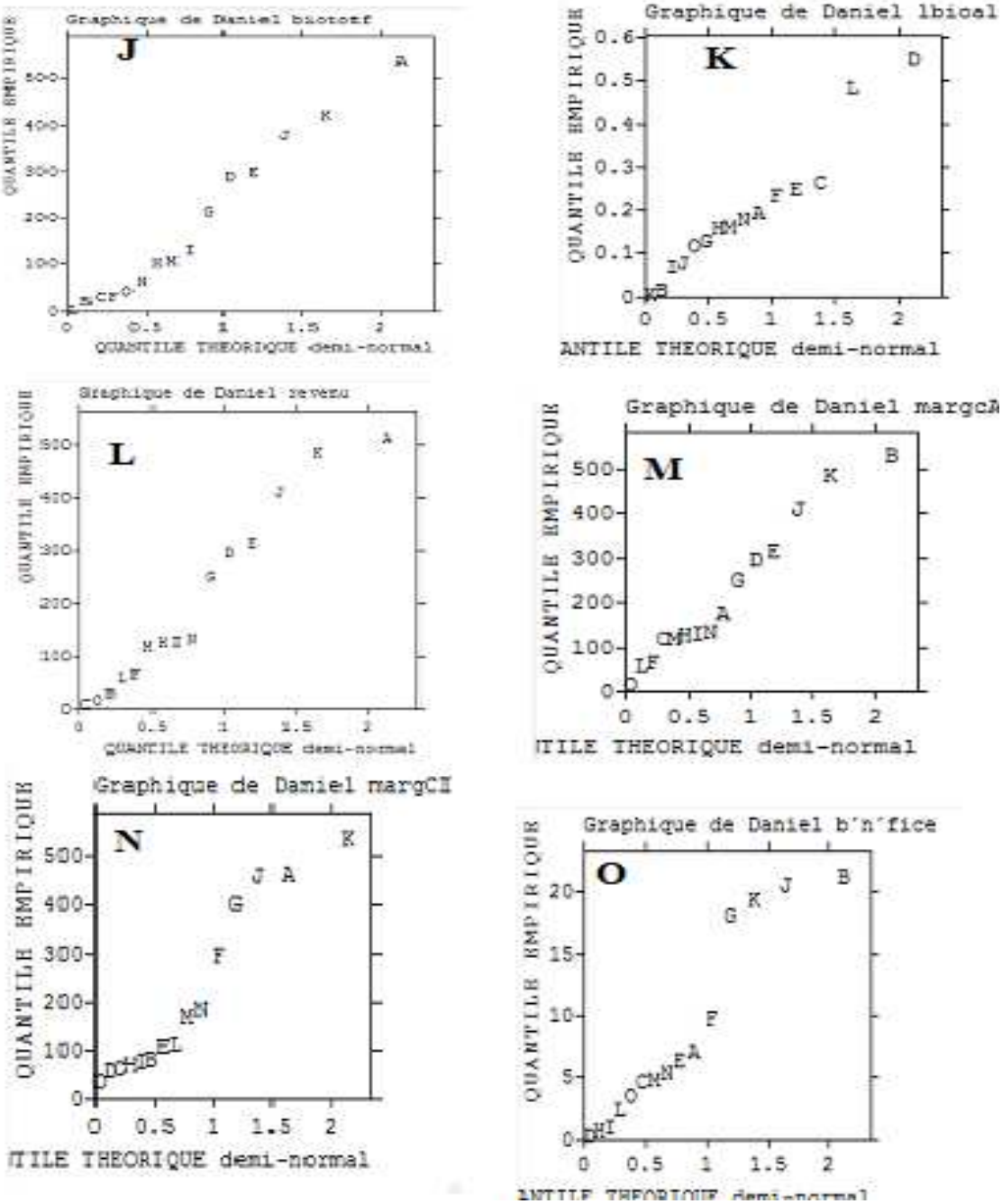
Graphes de Daniels de l'expérimentation en plan factoreil incomplet



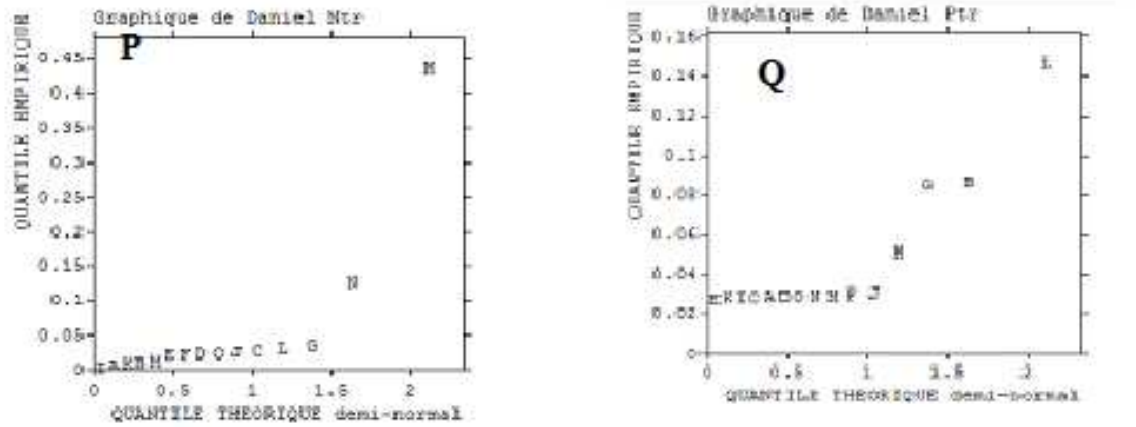
Graphes de Daniel des effets potentiels sur les performances de croissances du Tilapia étudiées : (A) CVtp : coefficient de variation du poids de tilapias ; (B) tcs : taux de croissance spécifique du tilapia ; (C) tK : facteur de condition K du Tilapia ; (D) tsurvie : survie des tilapias.



Graphes de Daniel des effets potentiels sur les performances de croissances de *Clarias gariepinus* étudiées : (E) : cgpmf, poids moyen final du Clarias ; (F) CVcg : coefficient de variation du poids de Clarias ; (G) tcscla : taux de croissance spécifique du Clarias ; (H) cgK : facteur de condition K du Clarias ; (I) cgsurvie : survie des Clarias.



Graphes de Daniel des effets potentiels sur les performances agro-économique du systéme : (J) biotot : gain de biomasse totale du système ; (K) lbioal : biomasse d'alevin produite ; (L) revenu : revenu brut ; (M) margcA : marge sur coût des alevins ; (N) margcI : marge sur coût des intrants ; (O) bnfice :marge brute totale.



Graphes de Daniel des effets potentiels sur les performances environnementales du systéme : (P) Ntr : azote total rejeté ; (Q) Ptr : Phosphore total rejeté