



ISARA-Lyon

23, rue Jean Baldassini

69364 LYON CEDEX 07



Institut National de la Recherche Agronomique

Unité mixte de Recherche :

Sol, Agro et hydrosystème Spatialisation

65 Rue de Saint Briec; 35042 Rennes

# **ANALYSE ECOSYSTEMIQUE DES ETANGS, CAS DE LA LORRAINE**

Utilisation de l'Analyse de Cycle de Vie et de l'Emergy pour une analyse des services écosystémiques et des performances environnementales d'étangs aquacoles

Mémoire de Fin d'Etudes

41<sup>ème</sup> promotion (2012-2013)

Soutenance : Lundi 23 septembre 2013

Enseignant Responsable :

Joël Robin

Chary Killian

Elève ingénieur ISARA-Lyon

Directeurs de Mémoire :

Aurélie Wilfart et Joël Aubin

Ce document ayant été réalisé par des Elèves-Ingénieurs de l'ISARA-Lyon dans le cadre d'une convention avec l'INRA UMR SAS, toutes mentions, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA-Lyon.

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Contexte et problématique</b> .....	3
I.    Comment guider l'intensification écologique ?.....	3
A.    Définition et enjeux de l'agriculture écologiquement intensive.....	3
B.    Apports des services écosystémiques.....	5
C.    L'Analyse environnementale : cas particulier de ACV et de l'EMERGY.....	7
II.   Projet PISCEnLIT.....	11
A.    Présentation générale.....	11
B.    Caractère novateur du projet.....	12
<b>Méthodologie retenue</b> .....	13
I.    Description des systèmes d'étangs lorrains.....	13
A.    Fonctionnement général d'un étang :.....	13
B.    Spécificités des exploitations étudiées :.....	16
II.   Enquêtes.....	17
A.    Enquêtes sur la perception des services rendus.....	17
B.    Enquêtes en Lorraine.....	18
III.  Outils d'analyse environnementale.....	19
IV.  Méthodes d'analyses multicritères.....	20
A.    Méthodologie de l'ACV.....	20
B.    Méthodologie de l'Emergy.....	25
V.    Corrélation entre services écosystémiques, ACV et Emergy.....	27
A.    Données utilisées.....	28
B.    Méthode statistique.....	29
<b>Résultats</b> .....	30
I.    Résultats d'enquêtes.....	30
A.    Enquêtes de perception.....	30
B.    Typologie des exploitations Lorraines.....	32
II.   Résultats d'analyses environnementales.....	33
A.    Résultats ACV.....	33
B.    Résultats EMERGY.....	37
III.  Résultats de l'analyse statistique.....	38
A.    Corrélations entre services écosystémiques.....	38
B.    Corrélations entre indicateurs d'impacts environnementaux.....	38

C. Corrélations entre services écosystémiques et indicateurs ACV et Emergy .....	38
Interprétation des résultats et discussion .....	42
I. Interprétation des résultats d'enquêtes et des typologies .....	42
II. Interprétation des performances environnementales .....	43
A. Analyse de cycle de vie .....	43
B. Analyse Emergy .....	45
C. Analyse mixte ACV et Emergy .....	47
III. Interprétation des résultats de l'analyse statistique .....	50
A. Liens entre les perceptions des services écosystémiques .....	50
B. Corrélations entre indicateurs d'impacts .....	51
C. Corrélations entre les perceptions des services écosystémiques et les résultats d'indicateurs ACV et Emergy .....	52
IV. Pistes d'améliorations des systèmes étudiés .....	57
<b>Conclusion</b> .....	61
<b>Bibliographie</b> .....	63
<b>Glossaire</b> .....	68

# Remerciements

J'adresse tout d'abord mes remerciements à ma directrice et à mon directeur de mémoire, Aurélie Wilfart et Joël Aubin qui m'ont offert l'opportunité de participer à ce projet passionnant et qui m'ont accompagné tout au long de ce stage. Je les remercie également pour leurs conseils avisés, pour leurs explications, leur patience et leurs encouragements aussi bien au niveau de mon travail que de ma technique à la pétanque bretonne.

Je tiens ensuite à remercier l'équipe ASAE et plus généralement l'ensemble des personnes travaillant à l'UMR SAS pour leur bonne humeur et leurs aides précieuses et volontaires dans un grand nombre de domaines et de spécialités (ACV, Emergy, informatique, statistique, barbecue brésiliens, etc.). Il me faut aussi adresser mes remerciements à l'équipe au complet du projet PISCEnLIT et plus particulièrement à Pascal Fontaine et Yannick le Doré qui ont su faciliter mon travail d'enquête en Lorraine. Je remercie de même, toutes les personnes rencontrées au cours de ces entretiens pour leur patience, leur bonne volonté et leur accueil.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement Dominique Vallod, sans qui je n'aurais pas eu connaissance de cette offre de stage et pour m'avoir transmis sa passion pour le monde aquatique et pour l'aquaculture pendant ces trois ans passés à l'ISARA. Merci également à Joël Robin qui a assuré mon suivi pendant ce stage.

Ces remerciements ne seraient pas complets si je ne mentionnais pas le soutien de mes (nombreux) collègues de bureaux Céline, Matthieu, Mathieu, Jean et Jonathan, qui ont su animer et ont rendu très agréables ces pluvieuses journées de printemps et ces chaudes journées et soirées d'été. Merci pour les défis endiablés et sorties cailloux ou poissons et pour ces discussions pas toujours évidentes à suivre mais toujours enrichissantes. Pour finir, je tiens à remercier ma famille, mes amis et en particulier mon amie pour leurs soutiens précieux et pour avoir rendu ce séjour en Bretagne encore plus plaisant.

Merci.

# Table des abréviations

- ACV : Analyse du Cycle de Vie
- AEI : Agriculture Ecologiquement Intensive
- AFM : Analyse des Flux Matériels
- ANR : Agence Nationale de la Recherche
- ASAE : AnalySe Agro-Environnementale des systèmes Cultures - Elevages
- CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- CUMA : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole
- EIS : Emergy Index of Sustainability
- EIR : Emergy Investment Ratio
- ELR : Environmental Load Ratio
- EM : Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire
- EYR : Emergy Yield Ratio
- IE : Intensification Ecologique
- IMTA : Integrated Multitrophic Aquaculture
- INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
- IRD : Institut de Recherche et pour le Développement
- ITAVI : Institut Technique de l'AViculture
- MEA : Millenium Ecosystem Assessment
- ONG : Organisation Non Gouvernementale
- ONU : Organisme des Nations Unis
- PISCEnLIT : PISCiculture Ecologiquement InTensive
- PL1 : Pisciculture Lorraine 1
- SMIC : Salaire Minimum Interprofessionnel de Croissance
- TEEB : The Economics of Ecosystems and Biodiversity
- UEV : Unit Emergy Value
- UF : Unité Fonctionnelle
- UMR SAS : Unité Mixte de Recherche Sol, Agro et hydrosystème, Spatialisation
- UPPN : Utilisation de Production Primaire Nette

# Introduction

L'agriculture a aujourd'hui un rôle plus vaste que la seule fonction d'offre de biens alimentaires (Paillard et al., 2010). Les systèmes agricoles façonnent nos paysages et doivent donc s'inscrire dans une logique de développement durable, ils devront en parallèle être en mesure de nourrir 9 milliards de personnes d'ici à 2050 et de nous approvisionner en biocombustibles ou encore en fibres (Bonny, 2011). L'extension importante des surfaces cultivables n'étant plus envisageable, du moins pour les systèmes agricoles terrestres, il nous faut désormais identifier des systèmes innovants ou présentant de fortes potentialités qui soient capables de fournir des quantités plus importantes de produits par unité de surface. Si la pêche, tout comme la chasse il y a bien longtemps, ne permet plus d'augmenter les prélèvements réalisés dans le milieu naturel, l'aquaculture, a quant à elle, encore de larges potentialités de croissance (FAO, 2013a). Le développement de l'aquaculture au cours de ces cinquante dernières années et sous ses différentes formes (mariculture, aquaculture continentale) a été supérieur à la croissance démographique mondiale. Ceci explique pourquoi le poisson constitue aujourd'hui une part importante d'aliments nutritifs et de protéines animales pour une grande part de la population mondiale (FAO, 2013a). Promouvoir une aquaculture durable peut encourager à une gestion plus avisée des écosystèmes (FAO, 2013a) et de la biodiversité, ces derniers participent d'ailleurs à lutter contre le réchauffement climatique (Commission européenne, 2009), et fournissent à l'homme une multitude d'autres services et de biens qu'il est indispensable de préserver.

La pisciculture d'étang est une pratique ancestrale (FAO, 2013a) qui peut répondre à certains défis soulignés précédemment. Elle présente, en effet, bien des avantages du fait de la dissémination sur le territoire des surfaces en eau. Elle permet un approvisionnement local en protéines animales de bonne qualité à un prix modéré ; elle favorise ainsi les circuits courts (Conseil régional des Pays de la Loire, 2013) et crée par ailleurs des emplois ruraux (Pierre et Albigès, 1992). Ces systèmes font part d'un grand potentiel encore sous exploité. En France, pour une surface de plus de 100 000 hectares d'étangs, la production annuelle ne s'élève aujourd'hui qu'à 7 000 tonnes annuelles (SEPB, 2011). Le manque de connaissances techniques, l'impact négatif des oiseaux piscivores, et la faible rentabilité observée a entraîné un désintérêt pour cette pratique, ce qui explique l'abandon progressif des étangs sur le territoire (Adam, 2013).

Le projet PISCEnLIT (PISCiculture EcoLogiquement InTensive) coordonné par l'INRA cherche à mettre en valeur des systèmes de production alimentaires plus efficaces, adaptés à leur territoire et plus respectueux de l'environnement. Ce programme scientifique cherche à identifier des possibilités d'améliorations techniques et organisationnelles pouvant être mises en place sur des systèmes piscicoles d'étangs à travers un travail d'expérimentation et des études de systèmes existants à l'aide d'outils d'analyses écosystémiques. Ce deuxième point constitue la mission qui m'a été confiée par l'Unité Mixte

de Recherche Sol, Agro et hydrosystème, Spatialisation (UMR SAS) à l'INRA. Ce stage de fin d'étude réalisé au sein de l'équipe AnalySe Agro-Environnementale des systèmes Cultures – Elevages (ASAE), spécialisée dans l'utilisation d'outils d'analyses environnementales, aura pour objectif de comprendre **comment l'utilisation combinée de l'Analyse de Cycle de Vie\* (ACV) et de l'Emergy\* permet d'évaluer le niveau d'intensification écologique d'un système de production aquacole et de relier les résultats obtenus aux notions de services écosystémiques\***.

La complexité des méthodes utilisées, l'importante quantité des données récoltées et des résultats à interpréter m'amènent à scinder mon analyse en deux rapports distincts. Ce premier document est centré sur l'analyse écosystémique et la comparaison détaillée des exploitations aquacoles lorraines pour lesquelles j'ai réalisé des enquêtes. Le rapport de synthèse qui accompagne mon mémoire présente quant à lui de manière synthétique la démarche suivie et propose une analyse comparée d'exploitations piscicoles indonésiennes et françaises.

L'utilisation d'outils innovants et la sélection de méthodes d'analyses adaptées réalisée dans le cadre de ce travail, contribueront à faire avancer la recherche dans le domaine de l'évaluation environnementale des systèmes de productions agricoles et permettront d'élargir le champ de discussion en proposant de nouveaux types de résultats. C'est pourquoi, il convient dans le premier chapitre de faire un état de l'art des connaissances scientifiques relatives à ce sujet, puis de présenter les spécificités de la méthodologie retenue pour cette étude avant d'en exposer les résultats et enfin de discuter des conclusions et aboutissements de cette étude.

# Contexte et problématique

## I. Comment guider l'intensification écologique ?

### A. Définition et enjeux de l'agriculture écologiquement intensive

#### *Agriculture Intensive*

L'agriculture intensive s'est développée pour répondre aux problématiques alimentaires précédemment évoquées. Au cours des dernières années, ce choix a souvent été remis en question en raison des retombées défavorables<sup>1</sup> générées par l'utilisation inappropriée ou excédentaire d'intrants. On estime par exemple qu'en aquaculture, pas moins de 70% de l'azote apportée par les protéines de l'aliment est rejetée par les poissons carnassiers ou par les crustacés (Cirad, 2013) sous la forme d'ammoniaque ensuite transformé en nitrate, molécule qui peut engendrer un développement excessif d'algues aboutissant à une eutrophisation du milieu. Cependant, il s'agit là d'un type particulier d'agriculture intensive, car l'agriculture ne peut se définir comme intensive qu'en rapport au niveau d'exploitation d'un ou de plusieurs facteurs de production. Bonny (2011) cite J.C. Tirel qui expliquait en 1987 qu'« *un facteur est exploité de façon intensive lorsqu'on combine à une quantité donnée de ce facteur des doses importantes d'autres facteurs* ». Ainsi on retrouve de l'agriculture intensive en main d'œuvre en Inde et en Afrique, intensive en machinisme en Argentine ou encore intensive en intrants chimique, machinisme et en capitaux en France (Griffon, 2013). De la même manière, les systèmes aquacoles en circuits recirculés correspondent à de l'aquaculture intensive en machinisme et main d'œuvre et la pisciculture intensive d'étangs à de l'aquaculture intensive en intrants alimentaires. Les facteurs de productions dont on peut choisir d'intensifier l'utilisation ne sont pas seulement le foncier, le travail et le capital, d'autres éléments interviennent et sont nécessaires à la production :

- L'énergie qui comprend à la fois celle injectée directement sous forme de carburant ou d'électricité, l'énergie solaire utile aux processus de photosynthèse et l'énergie indirecte nécessaire à la fabrication d'intrants.
- Le savoir ou plus généralement, les connaissances scientifiques et traditionnelles ainsi que les informations tirées d'observations et d'expérimentations. Ces données concernent à la fois les spécificités agronomiques des territoires, les espèces considérées et leurs besoins, mais aussi le suivi des productions dans le temps.
- Les fonctionnalités naturelles des écosystèmes qui correspondent à un ensemble de biens et de services rendus par les écosystèmes, comme les fonctions écologiques d'alimentation animale ou encore de recyclage des nutriments (Bonny, 2011).

L'utilisation intensive d'un ou de plusieurs de ces facteurs de productions répond donc à un type d'intensification particulier. Ainsi, l'agriculture intensive peut se définir d'une manière globale comme

---

<sup>1</sup> Eutrophisation des milieux, effets de serre, érosion des sols etc.

« une agriculture qui utilise d'avantage de facteurs de production par unité de surface. Plus une agriculture est intensive, plus la production par hectare est élevée » (Commission de terminologie, 1993).

### ***Agriculture écologiquement intensive***

L'agriculture écologiquement intensive (AEI) est une agriculture qui priorise l'utilisation et la valorisation des fonctionnalités naturelles des écosystèmes mais aussi de l'information et du savoir à celle des intrants habituels et notamment chimiques (Bonny, 2011). L'AEI a été introduite par Conway en 1994 sous le terme de « révolution doublement verte » en faisant référence à la nécessité « *d'accroître la production par une hausse des rendements à l'hectare, avec des coûts beaucoup plus bas [...], en utilisant au maximum les ressources locales, sans atteindre l'environnement, sur une base soutenable.* » (Griffon, 2013). Cette nouvelle notion qui a émergé en France à l'occasion du Grenelle Environnement est en fait imprégnée des principes de l'agroécologie qui exprime « *l'inscription de l'agronomie dans la science écologique* » (Griffon, 2013). L'intensification écologique des systèmes agricoles est « *un processus qui accroît l'augmentation des rendements tout en réduisant l'empreinte écologique de l'agriculture* » (Bonny 2011). Elle permet ainsi de réconcilier les paradigmes actuels de l'agriculture qui sont de produire plus et de respecter mieux (Griffon, 2013). L'AEI n'a pas pour vocation de réinventer l'agriculture mais plutôt de comprendre qu'« *on ne commande à la nature qu'en lui obéissant* » comme l'explique F. Bacon (Griffon, 2013). L'intensification écologique cherche donc à utiliser des ressources et processus naturels en prenant garde à ne pas les dégrader dans le but d'élever le niveau de production par hectare (Bonny, 2011).

Une forme d'intensification écologique en aquaculture est l'Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) (Cirad, 2013), elle repose sur la polyculture, la reconstitution de réseaux trophiques ou sur les propriétés épuratrices des végétaux aquatiques et tente de valoriser l'ensemble des services rendus par les espèces exploitées. Un exemple d'IMTA est l'association de cultures de moules et d'algues à des élevages intensifs de poissons omnivores. Cette combinaison permet à la fois de filtrer les matières organiques et inorganiques mais aussi d'augmenter les rendements en redistribuant comme aliment aux poissons le gain en biomasse des algues. Ce système semble bien répondre aux principes de l'AEI puisqu'il cherche à valoriser les fonctionnalités naturelles de la biodiversité et à bénéficier des synergies entre espèces. Cependant, l'intensification écologique ne doit pas se limiter à l'amplification des seules fonctionnalités écologiques de l'environnement mais plutôt s'étendre à la valorisation d'un ensemble plus vaste de biens et services rendus par les écosystèmes appelés services écosystémiques. Leur exploitation suppose de nombreuses connaissances sur le fonctionnement des agroécosystèmes et des informations sur leur état ainsi que sur les mécanismes mis en œuvre (Bonny, 2011). L'élaboration d'une démarche d'intensification écologique et ses potentialités d'application sont donc dépendantes des perceptions et connaissances qu'ont les acteurs de cet ensemble de services qu'il conviendra d'identifier.

## B. Apports des services écosystémiques

### *Historique et définition du MEA*

L'homme a toujours porté un intérêt particulier à l'écologie. Déjà au sein des premières sociétés primitives, il était nécessaire de bien connaître son environnement afin de survivre. Bien que la dépendance à l'environnement semble être aujourd'hui moins directement corrélée à la survie humaine, principalement grâce au progrès technologique, il serait tout à fait inconcevable d'imaginer en être pour autant totalement affranchis. En effet, nous sommes bel et bien toujours dépendants de l'approvisionnement en air, en eau, indirectement en nourriture, ainsi qu'en beaucoup d'autres services que nous rend l'environnement. C'est ainsi qu'Odum dans les années 50 (Odum, 2005) définit pour la première fois la notion de service écosystémique. Westman (1977) parle quant à lui, de services de la nature, en expliquant l'intérêt de pouvoir comparer la valeur d'un système naturel à l'état sauvage à la valeur des biens qui pourront en être extraits. Il s'inscrit ainsi dans la mouvance de la communauté scientifique portée sur le sujet. En effet, dans les années 70, l'objectif devient de classer, répertorier mais surtout de chercher à estimer la valeur de ces services. Plus récemment, la recherche ne s'est plus focalisée sur la seule capacité qu'ont les écosystèmes à répondre aux besoins humains mais plus généralement sur les bénéfices et le bien être que tirent les sociétés humaines de ces services (De Groot et al., 2002).

En l'an 2000, le secrétaire général des Nations Unies a demandé une évaluation des écosystèmes pour le millénaire (EM ou MEA en anglais pour Millennium Ecosystem Assessment) dans son rapport à l'assemblée générale de l'ONU. L'objectif était ainsi « *d'évaluer les conséquences de l'évolution des écosystèmes sur le bien-être de l'homme et d'établir la base scientifique des actions requises pour un renforcement de la conservation des écosystèmes, de leur exploitation de manière durable et de leurs contributions au bien être de l'homme* » (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a). Les services écosystémiques sont dès lors définis comme les bénéfices que les populations tirent des écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a) et qui tendent à contribuer au bien-être humain. A partir de 2005, le MEA propose notamment 5 rapports de synthèse dont un consacré aux zones humides et à l'eau intitulé « *Ecosystems and human well-being : Wetlands and water* (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). Ce dernier présente une typologie des 17 services<sup>1</sup> propres aux zones humides classées en 4 grandes catégories :

- Les services d'approvisionnements sont des produits directement obtenus des écosystèmes (nourriture, ressource génétique)
- Les services de régulation sont les bénéfices tirés des processus de régulation écosystémique incluant le contrôle du climat et la pollinisation
- Les services de support sont des services nécessaires à la production de l'ensemble des autres services comme les processus de cycles des nutriments ou de l'eau.

---

<sup>1</sup> Cf. Annexe 1.

- Les services culturels font référence aux bénéfiques récréatifs et spirituels que procurent les écosystèmes (Zhang et al., 2010).

La diversité des services répertoriés par le MEA exprime la notion de bien-être humain à travers une définition plus large que le seul bien-être matériel ou physique, les services écosystémiques contribuent aussi à la sécurité des hommes (service de protection contre les incendies, tempêtes et crues) à la résilience des écosystèmes (stockage des pollutions et dépollution) à la santé humaine (approvisionnement en ressources médicales) et aux relations sociales (apprentissage d'un savoir-faire) (Aubin et al., 2009a).

Dans la partie précédente nous avons expliqué l'intérêt d'optimiser les fonctions écologiques des écosystèmes, ces dernières correspondent à un nombre limité de services écosystémiques définis dans les catégories support et régulation. En outre, les services d'approvisionnement (en nourriture, en matériel génétique) ainsi que les services culturels (source d'inspiration ou de loisir) intègrent un ensemble plus large de biens et de services qu'il est également possible et intéressant de valoriser et d'amplifier. Cette notion d'amplification qui est décrite dans le cadre de l'intensification écologique à deux conséquences. Elle implique d'une part, que la contribution des services écosystémiques au bien être humain peut évoluer sur une échelle d'intensification et passer d'un niveau initial insatisfaisant à un niveau final souhaitable, mais elle implique aussi et surtout qu'il est à la fois possible et nécessaire de quantifier et donc d'évaluer les bénéfiques tirés d'un service écosystémique par l'être humain afin d'en connaître ses utilisations et leurs évolutions.

### ***L'évaluation des services écosystémiques***

De nombreux groupes académiques et ONG cherchent à comprendre et à relever les challenges mis en évidence par le MEA. Par exemple, le Natural Capital Project développe des outils de modélisation et de cartographie des services écosystémiques et de la biodiversité (Natural Capital Project, 2013). Un autre exemple, le World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, et le Meridian Institute ont développé une approche qui vise à identifier les rôles des services écosystémiques dans l'activité économique d'une entreprise (Zhang et al., 2010). Alors que la contribution des écosystèmes au développement économique a historiquement été négligée, c'est paradoxalement l'évaluation monétaire qui s'est démocratisée et est devenue aujourd'hui la méthode la plus employée pour évaluer les bénéfiques tirés des écosystèmes. Comme l'explique The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (Sukhdev, 2010) « *le manquement à représenter les valeurs économiques entières des écosystèmes et de la biodiversité a joué un rôle important dans leur perte et dégradation* ». En effet, la reconnaissance de cette valeur suffit parfois à assurer une conservation et une utilisation viable. Dans ce contexte, l'évaluation économique peut constituer un outil puissant pour placer certains écosystèmes dans les programmes de conservation des pouvoirs publics.

On distingue deux types de méthodes d'évaluation économique, les « indirectes », qui infèrent la valeur d'un bien environnemental à partir du contexte marchand et les « directes », qui visent à questionner des individus sur la valeur qu'ils accorderaient au bien considéré. La différence entre ces deux méthodes porte principalement sur les méthodes d'enquête utilisées et n'interfère pas avec la méthodologie globale d'évaluation (Amigues et Chevassus-au-Louis, 2011), cette dernière varie sensiblement d'un organisme à l'autre.

Costanza et al. (1997) sont parmi les premiers à publier les estimations des valeurs globales annuelles de 17 services écosystémiques appliquées à 16 macro écosystèmes. Les systèmes dulçaquicoles, qui sont reconnus comme étant dans de plus mauvaises conditions que les systèmes forestiers, côtiers ou encore que les prairies (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b), ont fait l'objet d'une étude toute particulière. Le chapitre 20 du MEA (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005), qui est consacré aux eaux intérieures, reprend les estimations monétaires des services écosystémiques fournis par ces zones humides de Costanza et al. (1997). Ce document nous indique que le service de production de poisson se classe seulement en quatrième position (374 dollars par hectare et par an) derrière les services liés à la régulation hydraulique (464\$/ha/an), au tourisme (492 \$/ha/an) et à l'attractivité des paysages (881\$/ha/an). Ceci laisse à présager des potentiels conflits d'utilisation des aquaécosystèmes\* dans un objectif d'intensification des systèmes de production aquacoles.

La quantification des bénéfices marchands et non marchands tirés des services écosystémiques à travers l'évaluation monétaire est une étape obligatoire pour la mise en œuvre de politiques publiques de conservations ou de restauration d'écosystèmes. La préservation des services écosystémiques, notamment ceux liés aux zones humides, est essentielle pour les populations qui en dépendent puisqu'en plus de contribuer au bien être humain, ceux-ci participent à la réduction de la pauvreté (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a) et au développement économique de certains territoires. Utiliser une approche systémique pour évaluer les agricultures écologiquement intensives qui cherchent à mieux exploiter ces mêmes services apparaît donc comme indispensable. L'identification de systèmes durables, écologiques, plus productifs et équitables ne pourra donc voir le jour (Griffon, 2013) qu'à l'aide d'outils d'analyse environnementale appropriés, proposant une grande diversité d'indicateurs et permettant d'examiner la situation aussi bien à une échelle globale que locale (Wilfart et al., 2013).

### **C. L'Analyse environnementale : cas particulier de ACV et de l'EMERGY**

#### ***Origine et objectifs du diagnostic environnemental***

L'évaluation environnementale a connu au XXème siècle un intérêt grandissant. Aujourd'hui, l'intégration du questionnement environnemental aux décisions économiques, industrielles et individuelles est essentielle. L'analyse environnementale permet d'évaluer les performances de systèmes de production et leur niveau de pression sur l'environnement (Wilfart et al., 2012a), elle met en évidence

les étapes les plus impactantes d'un process de production (Ewoukem, 2012) et permet ainsi d'identifier les rouages et les points critiques d'un système sur lesquels il est possible d'agir. L'évaluation environnementale peut être source de revenus dans le cadre de certification environnementale (Jolliet et al., 2010) ou d'économie si elle est utilisée lors d'une optimisation d'un process industriel et des ressources<sup>1</sup> qui y sont consacrées.

Les premières évaluations environnementales apportaient souvent une réponse unifactorielle (Ex : consommation énergétique, émissions CO<sub>2</sub>). Elles se limitaient d'une part à l'analyse statique de l'influence des facteurs du milieu sur les performances de production et d'autre part à l'étude de l'impact du rejet des sites de production sur le milieu naturel environnant. Les résultats qui en étaient issus ne permettaient pas de représenter fidèlement les processus en jeu, c'est pourquoi il a fallu migrer vers une approche plus globale et dynamique (Aubin et Van Der Werf, 2009). Pour y parvenir, des outils d'aides à la décision utilisant des approches systémiques ont été développés. Ils s'appuient sur des arguments scientifiques, permettent dans un premier temps, de déterminer des priorités d'actions en proposant des indicateurs pertinents et dans un deuxième temps d'évaluer les coûts ainsi que les contraintes qu'elles impliquent (Aubin, 2013). Ces outils de management environnemental sont aujourd'hui nombreux et complémentaires; Analyse de Cycle de Vie, Analyse des Flux Matériels (AFM), bilan énergétique, Exergy, Emergy, appropriation humaine de la productivité primaire nette, etc. (Zhang et al., 2010).

Les limites individuelles de ces outils encouragent à une utilisation combinée de ces derniers. (Pizzigallo et al., 2008). L'analyse de cycle de vie et l'analyse Emergy sont deux approches multicritères qui permettent à la fois d'analyser les sources d'impacts d'un produit, de concevoir et comparer l'efficacité de plusieurs systèmes de production et d'établir un choix entre plusieurs produits comparables (Aubin 2013 ; Wilfart et al., 2012a). Leur utilisation conjointe fait l'objet d'un nombre grandissant de publications et amène à une analyse plus complète des flux intervenants dans le système. Ce sont deux méthodes qui ont été retenues dans le projet PISCEnLIT pour évaluer le profil environnemental des systèmes aquacoles. L'analyse de cycle de vie fait l'inventaire de l'ensemble des émissions et extractions réalisées au cours des étapes du cycle de vie d'un produit, d'un service ou d'un système et évalue son impact environnemental en relation à une fonction particulière (Jolliet et al., 2010). L'évaluation Emergy est une méthode basée sur les lois de la thermodynamique qui permet d'exprimer et de quantifier les ressources non monétaires (ressources naturelles telles que le soleil, la pluie, le vent), les ressources monétaires, les services et les produits intervenant dans un système de production sous la forme d'une unité commune basée sur l'énergie solaire (Bastianoni et al., 2001).

Pizzigallo et al. (2008) déclarent que si l'ACV ne permet pas de comptabiliser les bénéfices tirés des services écosystémiques, l'analyse Emergy, basée sur les lois de la thermodynamique, est en mesure

---

<sup>1</sup> Ressources humaines, monétaires et matérielles

d'estimer la contribution des produits et services écosystémiques au processus de production. Zhang et al. (2010) expliquent que cette méthode qui rend compte de la valeur émergétique accumulée dans chaque intrant permet aussi de comptabiliser des services comme l'apport en énergie solaire, en énergie éolienne, ou en eau de pluie. Là où l'ACV comptabilise surtout les intrants issus de la technosphère\* et qui sont donc principalement d'origine non renouvelable (véhicules, infrastructures, énergies fossiles etc.), l'Emergy permet d'apporter une évaluation de l'utilisation d'intrants renouvelables correspondant à certains services écosystémiques d'approvisionnement et de supports. L'ACV serait par contre en mesure de considérer indirectement des services de régulation par l'intermédiaire du calcul des émissions polluantes (Zhang et al., 2010). En effet, les indicateurs d'impacts proposés par l'ACV mesurent la capacité d'un système à endommager son environnement à travers plusieurs types d'effets spécifiques ou de pollutions (eutrophisation, acidification, changement climatique, etc.). A l'opposé, certains services écosystémiques mettent naturellement en œuvre des processus écologiques de traitement des pollutions émises (régulation du climat local, participation aux cycles naturels des nutriments, etc.). En d'autres termes, en mesurant les émissions polluantes issues d'un système défini, on évalue sa capacité à réguler le niveau des molécules polluantes considérées ; on estime donc indirectement les niveaux d'exploitations des services écosystémiques en charge du traitement de ces pollutions. D'autre part, l'utilisation de l'ACV et plus particulièrement de certains indicateurs d'impacts endpoints<sup>1</sup> (Ex. : Santé humaine, dommages causés aux écosystèmes) permettrait d'évaluer de manière globale l'utilisation des services écosystémiques (Zhang et al., 2010). Pour comprendre ceci, rappelons d'abord que les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que les populations tirent des écosystèmes en termes de bien être humain. La bonne qualité des écosystèmes est un facteur essentiel au bien être humain, endommager ce facteur aura donc pour conséquence de diminuer la quantité et/ou la qualité des services écosystémiques fournis par l'environnement. Mesurer les dommages causés aux écosystèmes à l'aide d'indicateurs ACV reviendrait finalement à quantifier la diminution des services écosystémiques.

### ***L'ACV et Emergy : Application aux systèmes aquacoles***

Dans un premier temps réservé à l'industrie et au thème spécifique de l'emballage, les analyses de cycle de vie ont ensuite été généralisées à un ensemble plus vaste de systèmes de production, et notamment aux produits agricoles (Joliet et al., 2010). La fonction, ou l'Unité Fonctionnelle\*(UF), devient alors souvent une unité pondérale de production, une unité de surface des terres et eaux utilisés, une unité de gain économique (Aubin et al., 2009b) mais elle peut aussi se référer à un taux protéique ou énergétique (Aubin, 2013).

Les systèmes aquacoles sont de plus en plus analysés à l'aide de l'ACV et Emergy. Ces systèmes se prêtent bien à l'exercice puisque l'aquaculture a un rôle d'interface entre la nature et l'économie humaine et combine l'utilisation d'intrants d'origine naturelle et économique dans le but d'obtenir des produits

---

<sup>1</sup> Infra : Cf. infra, p. 24 - Joliet et al., 2010

aquatiques (Zhang et al., 2011). L'essentiel des analyses Emergy de productions agricoles s'avère d'ailleurs être centré sur des systèmes aquacoles (Wilfart et al., 2012a). Malgré des publications croissantes ayant pour thème l'analyse du cycle de vie de systèmes aquacoles, le nombre d'espèces rapportées s'élève à 16 et demeure donc assez limité (Aubin, 2013). Les papiers sont prioritairement orientés sur des espèces ayant un poids économique important sur le marché des produits aquatiques (Ex : salmonidés 45% des références) et non pas sur les systèmes et espèces les plus exploitées<sup>1</sup> (Aubin, 2013).

Wilfart et al. (2013) ont comparé des systèmes de production aquacoles extensifs et intensifs à l'aide d'une approche mixte ACV-Emergy. Cette étude a mis en évidence qu'à production de poissons égale, les systèmes en étangs (extensifs) analysés exploitaient plus d'intrants d'origine naturelle ce qui indique qu'ils sont plus autonomes par rapport au système économique environnant. Les auteurs ont aussi montré que les systèmes extensifs étudiés exploitaient une part plus importante d'intrants d'origine renouvelable et que par conséquent, ils utilisaient en priorité les biens et services fournis par l'environnement. Ces systèmes faisaient également preuve d'une plus grande résilience aux contraintes économiques (Brown et Ulgiatti, 2004). Les systèmes en circuits recirculés sont intensifs en machinisme et en équipements (système de pompes, d'aérations, de filtration), ces matériels qui leur permettent de réduire les impacts de la ferme<sup>2</sup> sont très énergivores. L'utilisation de ces équipements pénalise les systèmes en circuits recirculés dans leur bilan environnemental puisqu'ils se caractérisent finalement par une faible efficacité énergétique (Aubin, 2013). L'analyse de cycle de vie semble également adaptée pour diagnostiquer des systèmes intégrés faibles consommateurs d'intrants, comme les systèmes multitrophiques camerounais. Ces systèmes semblent avoir des impacts plus importants que des monocultures intensives de truite en France ou que des polycultures de carpes au Brésil en raison de l'utilisation de lisier de porc pour la fertilisation des étangs (Ewoukem et al., 2012). Dans un autre registre d'étude et suite à l'engouement des consommateurs pour les produits biologiques, l'analyse Emergy a aussi été utilisée pour discriminer des productions biologiques et des productions conventionnelles de crevettes (Lima et al., 2012). Cette étude a fait ressortir des résultats en faveur de l'agriculture biologique qui semble utiliser plus d'intrants renouvelables naturels et disponibles sur le terrain. Castellini et al. (2006) sont arrivés aux mêmes conclusions sur la comparaison d'élevages avicoles biologiques et traditionnels, malgré des résultats plus contrastés.

Des ACV portant sur la comparaison de systèmes de production issus de l'aquaculture et de la pêche ont permis d'identifier le facteur nourriture comme une source majeure d'impacts en terme de changement climatique (Aubin, 2013), en particulier dans les systèmes les plus intensifs. Zhang et al. (2010) sont arrivés à des conclusions similaires en montrant que la principale différence entre trois différents systèmes aquacoles<sup>3</sup> était la contribution de l'aliment au flux total d'emergy. Sur la base d'une

---

<sup>1</sup> Seulement 3 références concernant la production de cyprinidés et tilapias en étang.

<sup>2</sup> Notamment l'utilisation en eau ou l'eutrophisation

<sup>3</sup> Système en cage, en étang intensif et en étang semi extensif

étude comparée de deux systèmes ayant pour seule différence l'origine protéique de l'aliment (végétale vs. animale), Boissy et al. (2011) ont ajouté qu'il était important d'orienter la recherche sur le développement d'aliments pauvres en protéines animales d'origine halieutique. Leur étude démontrait en effet que l'utilisation d'un aliment dont l'origine protéique est végétale diminuait de 74% les impacts en termes d'Utilisation de Production Primaire Nette<sup>1</sup> (UPPN) par rapport à un aliment standard.

Les analyses ACV et Emergy cherchent ainsi à analyser point par point chaque système et contribuent de cette manière à identifier les actions prioritaires à mener pour aller vers des systèmes qui utilisent moins de produits chimiques, plus de ressources renouvelables, qui font un meilleur usage des services écosystémiques sans nuire à leur régénération et qui pourront donc répondre aux enjeux de l'intensification écologique.

## II. Projet PISCEnLIT

### A. Présentation générale

L'appel à projets Systerra financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) promeut des programmes de recherches qui sauront, dans un contexte de hausse des prix de l'énergie, de changement climatique et de croissance démographique importante, redéfinir l'intensification des modes de productions agricoles (Systerra, 2013). Le projet PISCEnLIT (2010-2013), coordonné par l'UMR SAS de l'INRA, implique un grand nombre d'instituts techniques et de centres de recherches<sup>2</sup> et propose de définir les conditions d'une intensification écologique des productions aquacoles.

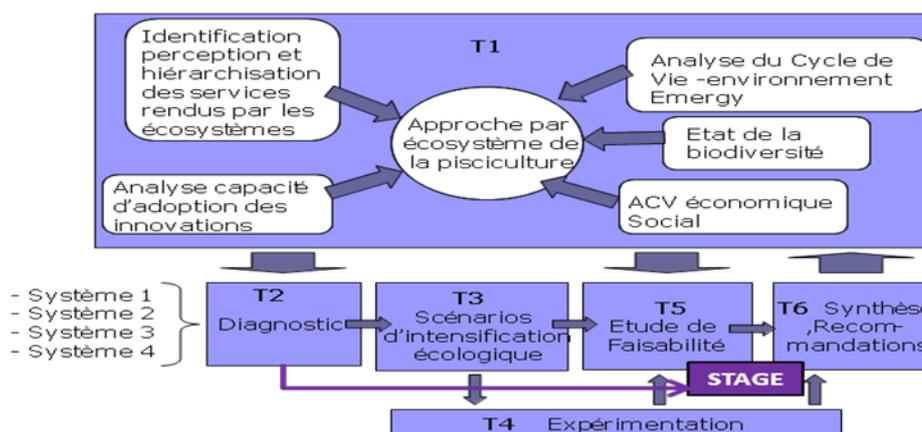


Figure 1 : Organisation du programme PISCEnLIT (Aubin et al., 2009a)

Le programme scientifique PISCEnLIT se structure en 6 tâches (Figure 1). Dans un premier temps, un travail d'enquête mené sur les terrains d'études que sont la France (LORRAINE, NORMANDIE et BRENNÉ) le Brésil (CHAPECO et ITAJAI) et l'Indonésie (JAVA OUEST, et SUMATRA) a permis d'une part de recueillir des données sur la biodiversité locale et sur la perception des services écosystémiques et d'autre part de réaliser des inventaires préalables aux analyses environnementales

<sup>1</sup> Infra : Cf. infra, p. 24 - Aubin et Van der Werf, 2009

<sup>2</sup> Cf. Annexe 2.

(ACV et Emergy). La confrontation des diagnostics par terrain ont permis d'établir des *scénarii* d'intensification écologique dont les principes majeurs sont l'utilisation des services écosystémiques des étangs<sup>1</sup> et la combinaison de systèmes d'élevages extensifs et intensifs en polyculture notamment pour une valorisation des niveaux trophiques de l'écosystème.

Outre les produits classiques de valorisation d'un tel projet, l'ensemble de ces démarches permettra d'offrir un guide méthodologique sur l'intensification écologique en aquaculture accompagné de recommandations quant à l'orientation des politiques publiques concernant le développement de l'aquaculture et d'un outil informatique de diagnostic de l'intensification écologique (Aubin et al., 2009a).

## **B. Caractère novateur du projet**

L'ambition du projet PISCENLIT est de contribuer au développement de la pisciculture en améliorant l'efficacité et la productivité des systèmes existants à travers l'utilisation de leviers écologiques<sup>2</sup> et de permettre une meilleure insertion territoriale des fermes aquacoles au sein des aquaécosystèmes\* (PISCENLIT, 2013). L'intensification écologique de ces systèmes qui est un objectif articulant des dimensions technique, biologiques, sociales, économiques, organisationnelles et politiques (Aubin et al., 2009a) est traitée ici avec une approche interdisciplinaire qui permet d'englober la complexité de l'analyse écosystémique. Celle dernière permettra d'explorer les possibles innovations techniques et organisationnelles à plusieurs échelles<sup>3</sup> (Aubin et al., 2009a),

Ma mission dans le cadre de ce stage s'inscrit sur la troisième et dernière année de ce projet et à cheval sur les étapes 2, 5 et 6 (Figure 1), elle consiste en la réalisation du diagnostic des exploitations aquacoles et de la comparaison des systèmes Brésiliens, Indonésiens et Français et à l'étude de cas des systèmes d'étangs lorrains. Ce travail a pour vocation d'étendre la diversité des espèces piscicoles et des services écosystémiques étudiés, de comparer des systèmes à vocation alimentaire à des systèmes à usage plus récréatif et d'analyser des productions placées sur un continuum d'intensification. La LORRAINE a été choisie pour cette étude parce que c'est une région dans laquelle l'aquaculture est ancrée traditionnellement depuis le X<sup>ème</sup> siècle du fait de son éloignement de la mer (FLAC, 2013). Par ailleurs, grâce à ses 1 100 tonnes produites, elle est aujourd'hui placée troisième région française productrice de poissons d'étangs. Ses 7 000 ha de plans d'eau présentent une grande variété de productions piscicoles d'étangs et une large gamme de pratiques et modes de conduites qu'il conviendra d'identifier.

---

<sup>1</sup> Valorisation des vases et des intrants naturels ainsi que de leur pouvoir épurateur

<sup>2</sup> Dépendance aux intrants, respect des ressources en eau et halieutiques, diminutions des émissions polluante, etc.

<sup>3</sup> Exploitation, organisations professionnelles et systèmes de régulation

# Méthodologie retenue

Ce chapitre du rapport se décompose en cinq parties. Dans la première, les systèmes d'étangs qui font l'objet de mon analyse sont d'abord décrits par leur fonctionnement général et commun puis ils sont individualisés sur la base de leurs caractéristiques. La partie deux présente ensuite les enquêtes dont nous utiliserons les résultats, leurs caractéristiques et leurs vocations. Les parties trois et quatre décrivent successivement les outils et la méthodologie de l'analyse multicritères conduite dans le cadre de cette étude. Enfin, la dernière partie répertorie les étapes et outils utilisés pour la mise en évidence d'un lien entre l'évaluation des services écosystémiques, l'analyse de cycle de vie et l'Emergy.

## I. Description des systèmes d'étangs lorrains

### A. Fonctionnement général d'un étang :

Les étangs qui sont membres de la grande famille des zones humides sont des plans d'eau d'origine artificielle de taille intermédiaire entre le lac et la mare et sont généralement à vocation piscicole (Touchart, 2007). Les élevages de ce type ont été instaurés en France à partir du haut Moyen Âge, la plupart des étangs visités en LORRAINE ont quant eux été creusés entre le Xème et XIVème siècle par des moines dans un but alimentaire. La vocation des étangs tend à évoluer puisque les enquêtes menées en LORRAINE ont montré que la plupart des exploitants d'étangs rencontrés avaient aujourd'hui une ou plusieurs autres activités en aquaculture (production d'écrevisse, salmoniculture), plus généralement en agriculture (céréales, fraises) ou encore dans d'autres secteurs d'activités (tourisme, restauration, etc.) (Tableau 1). Cette diversification des activités est menée en réponse aux nombreux aléas (climatiques, fluctuation des cours des matières premières) qui affectent la production afin de multiplier les sources de revenus et ainsi d'améliorer la résilience de l'exploitation, c'est une première caractéristique des exploitations lorraines. La polyculture est pratiquée sur l'ensemble des exploitations. Le principe de la polyculture est basée sur « l'association dans un même biotope de plusieurs espèces animales n'entrant pas en compétition et utilisant des niches écologiques différentes ». (Billard, 1980). L'association de carpe (*Cyprinus carpio*), gardon (*Rutilus rutilus*), rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), tanche (*Tinca tinca*) et brochet (*Esox lucius*) est bien connue en France et semble être pratiquée en LORRAINE (Tableau 1). Cette association exploite à la fois le benthos (carpe et tanche), et le pélagos (gardon et rotengle) (Schlumberger et Bouretz, 2002). Le brochet, le sandre (*Sander lucioperca*), ou la perche (*Perca fluviatilis*) sont trois carnassiers qui se nourrissent des autres poissons mais également de larves, de vers ou de crustacés.

L'exploitation des étangs pour la production piscicole se déroule en quatre phases (Banas, 1997): **Le remplissage** peut être réalisé à partir des remontées d'eau de source ou de pompage. Il est en général opéré à partir des eaux de pluie comme c'est le cas pour l'ensemble des étangs lorrains, et il a lieu à la fin de l'automne.

Tableau 1 : Caractéristiques zootechniques des exploitations étudiées

Code enquêté	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6
<b>Activités</b>	Fraise, céréales, et pisciculture d'étang	Pisciculture d'étang salmoniculture et céréales sur les étangs pendant les assecs	Pisciculture d'étang	Pisciculture d'étang et éclosion exploitée par le conseil général de Moselle.	Aide aux personnes en situation de handicap, pisciculture d'étang et transformation, tourisme.	Pisciculture d'étang
<b>Espèces élevées</b>	Gardons, tanches, sandres, carpes, écrevisses	Carpes, brochets, gardons, tanches	Gardons, tanches, brochets, sandres, perches	Carpes, gardons, brochets, perches, tanches, sandres	Carpes, brochets, gardons, tanches,	Brochets, gardons, tanches, carpes
<b>Production (tonnes/an)</b>	1	13,3	44	13,3	24	28,5
<b>Taille de l'exploitation (ha)</b>	83	104	350	1600	405	190
<b>Surface en eau (ha)</b>	1,9	98,5	98	34	386	39,5
<b>Rendement (tonne/ha d'eau/an)</b>	0,53	0,14	0,45	0,37	0,6	0,72
<b>Nombre d'ETP/an</b>	0,21	0,29	3,69	6,46	1,51	2
<b>Destination</b>	70 % repeuplement 30 % consommation	60 % repeuplement 40 % consommation	97 % repeuplement 3% consommation	Information non disponible	90 % repeuplement 10 % consommation	80% repeuplement 20% consommation
<b>Empoisonnement</b>	3% achetés 97% reproduction naturelle	100% reproduction naturelle	20% achetés 80% reproduction naturelle	Information non disponible	50% achetés 50% reproduction naturelle	90% achetés 10% reproduction naturelle
<b>Quantité et type d'aliment/an</b>	2200 kg de son de blé (70%) et de grains entiers de blé (30%)	0 kg	5500 kg d'orges	446 kg d'orges	300 kg de poussières d'aliments pour lapin	1000 kg d'aliments composés
<b>Fréquence des curages</b>	1/10 ans	1/10 ans	1/10 ans	1/5 ans	1/10 ans	Pas de curage

**La phase de production** débute au printemps avec la colonisation du milieu par le phytoplancton et le zooplancton. Cette biomasse remplit des fonctions écologiques et notamment trophiques puisqu'elle sert à alimenter les alevins introduits par la suite. La production de plancton peut être améliorée à l'aide d'amendements sous forme de lisiers ou de fertilisants chimiques. Seul un exploitant rencontré répand du fumier, les autres affirment bénéficier indirectement des surplus d'engrais apportés sur les cultures voisines et lixiviés par l'eau de pluie et déclarent donc ne pas avoir besoin de fertiliser leurs étangs. Les alevins introduits peuvent être achetés ou être issus de reproduction naturelle. En LORRAINE, mise à part pour la carpe et la tanche dont la fraie ne suffit pas toujours à rempoissonner les étangs, la majorité des alevins proviennent de reproduction naturelle. Les espèces élevées sont d'ailleurs très similaires, le gardon est produit par l'ensemble des pisciculteurs à plus de 55 tonnes par an au total, il est suivi par la carpe avec 47,5 tonnes puis par la tanche et le brochet avec respectivement 9,5 et 8 tonnes (données d'enquêtes). Pendant la phase de production les animaux peuvent être nourris à base d'aliments composés industriels ou de céréales. Les exploitants rencontrés préféraient ce deuxième choix du fait du moindre coût que représentent les céréales (souvent de l'orge) par rapport à des aliments industriels. Un seul des pisciculteurs enquêté a fait le choix de ne pas apporter d'aliment à ses étangs, les autres consomment en moyenne 9,5kg/ha/an.

**La phase de vidange** débute vers la fin de l'été ou au début de l'automne et a notamment pour objectif de faciliter la pêche qui aura lieu un peu plus tard entre fin octobre et début février. La vidange des étangs peut être partielle ou totale selon leur taille et en fonction des infrastructures et du personnel à disposition pour la pêche. Cette dernière dure en moyenne quelques jours et peut être réalisée grâce à l'installation d'une pêcherie ou plus traditionnellement par la technique de la pêche au filet. Cette dernière nécessite l'intervention de plus de main d'œuvre et donne lieu à des rassemblements de familles, des habitants du village ou parfois même de touristes.

**La phase d'assec** termine le cycle de production. Elle a une fonction sanitaire puisqu'elle permet de limiter la prolifération des pathogènes. Elle est parfois assimilée à une vidange totale temporaire des étangs mais constitue plutôt une période plus longue de « jachère ». Les exploitations qui font l'objet de mes enquêtes sont de tailles assez variables (83 ha à 1600 ha), elles mobilisent des étangs d'une taille moyenne de 197 ha qui ne permet pas d'envisager des assecs. Seuls les plus petits peuvent y être soumis et peuvent faire l'objet d'un nettoyage et/ou d'un curage. Cela permet de détruire la biomasse microbienne, les insectes et autres nuisibles et de restructurer les sols. L'assec d'un étang offre aussi la possibilité au pisciculteur de renforcer les berges et les digues et éventuellement de recreuser l'étang s'il a été partiellement comblé. En réalité, la moitié des pisciculteurs disent réaliser des assecs totaux tous les 5 ans alors que l'autre moitié le fait annuellement. Par ailleurs, 5 pisciculteurs sur 6 disent réaliser un nettoyage de leurs étangs tous les 10-15 ans et seulement un d'entre eux a indiqué qu'il chaulait à cette occasion le fond de l'étang.

Ces 4 phases définissent l'ordre chronologique dans lequel travaillent les pisciculteurs, les durées de chacune de ces phases peuvent varier. C'est, par exemple, particulièrement le cas en LORRAINE pour la phase de production qui peut durer entre 7 mois et presque 4 ans. En effet, corollairement à la vitesse de croissance des animaux, à la disponibilité du matériel, mais aussi au climat, la production peut être rallongée. Il faut aussi ajouter qu'un cycle de production dans sa totalité comporte entre 2 et 3 étapes. La première étape correspond à la production d'alevins à l'aide de vésicules résorbées ou de géniteurs, elle se déroule dans ce que l'on appelle des étangs de pose. Les poissons qui sont pêchés atteignent en théorie un poids de 50g et sont appelés des « feuilles ». Suit l'étape de pré-grossissement qui a lieu dans des étangs d'empoissonnage où les feuilles deviennent alors des « pannots » et sont pêchés à environ 250-350g en principe (Peltier et Kollen, 2005). Enfin la dernière étape que l'on peut appeler phase de grossissement consiste à produire des poissons de 1 à 2,5 kg dans des étangs de pêche réglée puis à les extraire en vue d'une commercialisation (Peltier et Kollen, 2005). Pour chaque étape, il est nécessaire que les phases précédentes soient réalisées. Ainsi, certains pisciculteurs préfèrent donc recourir à seulement deux phases, fusionnant ainsi les étapes une et deux ou deux et trois. L'ensemble de ces étapes constituent un cycle de production qui dure en LORRAINE entre 2 et 6 ans.

#### **B. Spécificités des exploitations étudiées :**

Les exploitations étudiées se caractérisent par quelques critères dont les valeurs sont communiquées ci-dessous et dans le tableau 1. Les piscicultures sont donc présentées succinctement mais ne sont ni nommées ni localisées pour des raisons de confidentialité. Une codification des piscicultures lorraines par les lettres « PL » est donc proposée pour désigner ces exploitations.

**PL 1 :** Exploitation d'une taille de 83 ha produisant des fraises, des céréales, et 1 tonne de poisson comprenant gardons, tanches, sandres (*Stizostedion lucioperca*), carpes, d'écrevisses (*Astacus astacus*) et des alevins (0,46 ; 0,07 ; 0,02 ; 0,10 ; 0,07 et 0,24 tonnes par an, respectivement) sur une surface en eaux inférieure à 2 ha. Les animaux sont majoritairement issus de la reproduction naturelle, ils sont alimentés à base de déchets de céréales produits sur l'exploitation et sont vendus à 70 % pour le repeuplement au terme d'un cycle de production de 3 ans.

**PL2 :** Pisciculture d'étang familiale produisant 13.3 tonnes de carpes, brochets, gardons, tanches et d'alevins (5,5 ; 1,0 ; 4,0 ; 2,0 ; 0,8 tonnes par an, respectivement) sur une surface de 104 ha. Les cycles de production durent en moyenne 3 ans. Les alevins proviennent en totalité de la reproduction naturelle et les produits sont stockés et commercialisés par une salmoniculture appartenant au propriétaire.

**PL3 :** L'exploitant est un pisciculteur professionnel qui exploite 350 ha en location et en propriété et qui réalise de la prestation de services auprès d'autres propriétaires. Il produit 44 tonnes de carpes, gardons, tanches, brochets, sandres et perches (*Perca fluviatilis*) (17,68 ; 17,68 ; 4,42 ; 3,53 ; 0,44 et 0,44 tonnes

par an, respectivement) qui sont valorisés quasi-exclusivement sur le marché du repeuplement. Les poissons proviennent de l'extérieur pour 20 % d'entre eux. Ils sont alimentés dans leurs premières phases et sont vendus à terme d'un cycle de 3 ans.

**PL4 :** La pisciculture qui s'étend sur une surface de 1600 ha est exploitée par le conseil général de Moselle. La surface analysée correspond à seulement trois étangs sur un total de 11, celle-ci produit 13,3 tonnes de carpes, gardons et brochets, perches, tanches, sandres et d'autres espèces non spécifiées (2,77 ; 8,88 ; 0,65 ; 0,04 ; 0,43 ; 0,34 ; 0,15 tonnes par an, respectivement). Les poissons sont alimentés dans leurs plus jeunes stades et sont commercialisés au bout de 6 ans maximum pour les spécimens vendus en fin de cycle.

**PL5 :** L'exploitation piscicole fait partie des activités d'une structure d'aide aux personnes en situation de handicap qui propose aussi un accueil touristique, une activité de restauration et de transformation alimentaire. La surface en eaux est de 405 ha sur lesquels l'exploitant produit 24 tonnes de carpes, brochets, gardons et tanches (13,50 ; 0,80 ; 9,00 ; 0,65 tonnes par an, respectivement) dont la moitié provient initialement de reproduction naturelle. Les animaux sont alimentés anecdotiquement à partir de poussières d'aliments utilisés pour d'autres élevages. Les cycles de productions sont plus courts (2 ans) et valorisent 90% de la production sur le marché du repeuplement.

**PL6 :** La pisciculture est familiale et professionnelle, elle exploite 190 ha d'étangs et produit chaque année 28,5 tonnes de brochets, gardons, tanches, et carpes (2,50 ; 16,00 ; 2,00 ; 8,00 tonnes par an, respectivement). Les alevins proviennent à 90% de l'extérieur de la pisciculture et sont nourris à différents stades de croissances avec de l'aliment composé industriel. L'exploitant vend majoritairement (80%) sa production à des propriétaires d'étangs ou des sociétés de pêche pour le repeuplement de leurs étangs.

## **II. Enquêtes**

### **A. Enquêtes sur la perception des services rendus**

Préalablement à mon stage et suite à un échantillonnage stratifié, 211 pisciculteurs et 140 parties prenantes ont été interrogés sur l'ensemble des territoires Brésiliens, Indonésiens et Français lors d'entretiens en face à face d'une durée de quelques heures (Belhamiti et al., 2011). Le questionnaire comprenait des questions ouvertes ayant pour but de dévoiler les perceptions des acteurs des services écosystémiques et des fonctions rendues par les écosystèmes d'étangs. Ce questionnaire comprenait également une annexe comportant la liste des services écosystémiques rendus par les zones humides. A l'aide de cette liste, l'enquêté devait sélectionner dix services sur un total de vingt-huit qu'il jugeait être plus importants puis les hiérarchiser par ordre de priorité avec des notes allant de un (primordial) à dix

(sans importance). Les services n'ayant pas été appréciés se voyaient alors attribuer la note de 0. Pour faciliter la compréhension, ces scores ont ensuite été reclassés dans l'ordre inverse<sup>1</sup>.

## **B. Enquêtes en Lorraine**

### ***Echantillonnage, et choix des exploitations***

Suite à un premier travail d'enquête réalisé en LORRAINE par une précédente stagiaire, il a été considéré que les données récoltées ne nous permettaient pas de tirer des généralités sur les pratiques d'élevages aquacoles conduites dans cette région et ne permettaient donc pas de proposer des typologies d'exploitations et d'exploitants. Peu d'entretiens avaient pu être conduits auprès des pisciculteurs lorrains et une partie des exploitants rencontrés ne répondaient pas tout à fait au cadre d'étude<sup>2</sup>. Mes enquêtes avaient quant à elles pour objectif principal de récolter des données précises d'inventaire nécessaires aux ACV et à l'Emergy.

Sur la base d'un recensement des acteurs de la filière pisciculture d'étang en LORRAINE également effectué dans le cadre du projet PISCEnLIT, une dizaine de professionnels susceptibles de répondre aux enjeux de cette nouvelle vague d'enquêtes a été choisie conjointement avec nos collègues de l'Université de Lorraine. La sélection des exploitants s'est opérée en rapport à leurs activités. Les salmoniculteurs et astaciculteurs\* ont ainsi été écartés et n'ont été conservés que dix pisciculteurs d'étangs produisant majoritairement du poisson.

### ***Enquêtes menées sur le terrain***

Sur les dix pisciculteurs sélectionnés au départ, il a été possible de planifier des entretiens pour huit d'entre eux et d'en rencontrer seulement six en raison des contraintes et des disponibilités de chacun. Mon déplacement à NANCY a duré une semaine, j'ai pu y mener des entrevues d'une durée d'une heure et demie en moyenne pour partie sur le lieu d'exploitation et pour le reste au domicile de l'exploitant. Mon collègue de NANCY a pu réaliser un entretien supplémentaire dont il m'a transmis les résultats. L'enregistrement des entretiens a été fait de manière manuscrite puis électronique.

La qualité et la quantité des données variant en fonction des entretiens et des exploitations, il m'a fallu mener des compléments d'enquêtes par téléphone auprès de l'ensemble des pisciculteurs interrogés. Ces prises de contacts ont duré en moyenne quarante minutes et ont permis de compléter les données récoltées sur le terrain. L'exploitation PL7 n'a pas pu être étudiée, du fait de la pauvreté des informations réunies lors de l'entretien.

### ***Nature et visée des enquêtes***

Ces enquêtes sont de nature quantitative et sont directives, elles doivent permettre de réaliser des diagnostics biotechniques des exploitations, de construire des typologies et sont la base de travail servant aux analyses environnementales menées postérieurement. Pour répondre à ces trois objectifs, il est

---

<sup>1</sup> Un score de 10 désigne désormais un service primordial et un score de 1 qualifie un service de peu utile.

<sup>2</sup> Ceux-ci avaient des activités multiples ou un fonctionnement particulier

nécessaire de récolter des données concernant le système de production qui est défini ici comme étant la ferme aquacole. Préalablement aux enquêtes, il convient de rédiger une fiche d'inventaire qui permettra de répertorier de manière exhaustive les informations qu'il est possible de récolter sur le terrain. Cette fiche ne se substitue en aucun cas à un questionnaire mais fait plutôt office de guide qu'il est indispensable d'adapter à chaque entretien. La fiche contient donc des questions quantitatives et qualitatives sur les surfaces mobilisées, les types de structures en place, la chronologie des cycles de production, des pratiques caractéristiques comme l'apport d'aliment ou la fertilisation, etc. Cette fiche a aussi et surtout pour vocation de quantifier à la fois les flux de produits et d'énergie (eau, aliment, alevins, alimentation, main d'œuvre, infrastructure, énergie, équipement, consommables, etc.), les émissions (boues, rejets, etc.) et bien évidemment les productions.

A partir de plusieurs modèles de questionnaires ayant déjà été utilisés dans le cadre du projet PISCEnLIT, j'ai synthétisé un nouveau modèle de fiche d'inventaire de cycle de vie qui reprend les informations précédemment décrites. Cette fiche se décompose en onze parties faisant référence aux informations concernant :

- Les caractéristiques générales de la ferme
- Les systèmes de production
- Les volumes de production
- Les intrants
- L'aliment
- Les bâtiments et infrastructures
- Les équipements
- La main d'œuvre
- L'activité touristique de l'exploitation
- L'activité de transformation de poisson

Cette nouvelle fiche d'inventaire a la particularité de subdiviser le système de production global en sous-systèmes de productions, cette précision offre donc la possibilité de répertorier plusieurs itinéraires techniques conduits au sein d'une même exploitation. Ces sous-systèmes peuvent correspondre à des phases du cycle de production ou alors simplement à diverses activités de l'exploitant<sup>1</sup>.

### **III. Outils d'analyse environnementale**

Le choix de l'outil de traitement des données a été déterminé en aval des enquêtes. Celles-ci ont fait apparaître une hétérogénéité des données à plusieurs niveaux : variabilité des pratiques qui est directement liée à la variabilité des objectifs de production et des structures, mais aussi variabilité dans la disponibilité des données. Pour ces raisons, il fallait choisir un outil permettant d'exploiter un maximum de ces enquêtes de manière uniforme, il a donc été décidé d'utiliser l'outil PISC'n'TOOL. Cet outil informatique fonctionne sous Excel, il est construit en trois volets. Le premier est consacré aux bases de données, il comporte des données d'inventaires prédéfinies obtenues lors de projets scientifiques précédents, un deuxième est réservé aux étapes calculatoires, et un dernier est destiné aux utilisateurs

---

<sup>1</sup> Par exemple la production de poisson et de crustacés

pour la réalisation des inventaires et de la description du système. Cet outil a été conçu dans le cadre du projet pour réaliser des analyses multidimensionnelles (notamment ACV et Emergy) de manière simplifiée sur des exploitations aquacoles. PISC'n'TOOL est peu demandeur en informations et permet ainsi de traiter avec un cadre commun l'ensemble des enquêtes. Ceci a pour conséquence de réduire le biais des résultats dû à la méthode d'analyse. Basé sur le cadre conceptuel de l'ACV, cet outil permet d'éditer une série d'indicateurs comprenant à la fois performances environnementales mais aussi zootechniques, économiques et sociales.

Cet outil, est actuellement au stade expérimental, il paraissait donc intéressant de l'utiliser afin de contribuer à son développement. Cela permettra une valorisation scientifique dans un avenir proche. En soumettant au logiciel un nombre important de *scénarii*, j'ai ainsi pu tester les différentes options relatives à son fonctionnement, mais aussi vérifier certains inventaires prédéfinis de l'outil.

Cet outil de recherche permet d'envisager la comparaison de systèmes de productions très différents. Il est en effet possible d'implémenter des données concernant des systèmes d'étang, des systèmes en circuits recirculés, des systèmes marins ou encore sur barrage. Afin d'être modulable aux particularités des trois terrains d'études, PISC'n'TOOL comprend également une interface adaptée aux systèmes intégrés, ainsi qu'un module offrant la possibilité de définir la durée des cycles de production.

## IV. Méthodes d'analyses multicritères

### A. Méthodologie de l'ACV

L'analyse du cycle de vie est une méthode normalisée (ISO14040-14043) pour établir des diagnostics environnementaux de produits ou de services en relation à une fonction particulière tout en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Cette méthode d'agrégation de connaissances se construit en 4 phases successives :

#### ▪ Phase 1 : Définition du champ d'étude, des objectifs et des limites du système

Cette première étape, principalement descriptive permet d'installer le cadre conceptuel de l'étude. Il s'agit de définir la ou les problématiques, les acteurs visés, et le champ de l'étude. L'objectif principal de notre étude, est d'évaluer les potentialités d'intensification écologique de plusieurs exploitations piscicoles lorraines par l'intermédiaire d'une analyse environnementale utilisant l'ACV et l'Emergy. A l'échelle de l'exploitation, il sera possible de commenter la variabilité des impacts environnementaux en lien avec les types de productions ou encore avec les choix de gestion technique. Il s'agira donc de faire force de proposition et de recommandations techniques ou organisationnelles auprès des professionnels de la filière mais aussi de la communauté scientifique.

La phase 1 a aussi pour but d'analyser et de définir la fonction du système étudié sur la base de laquelle des *scénarii* sont comparés, en d'autres termes, l'unité fonctionnelle (Joliet et al., 2010). Le système est défini en partant de la fonction par l'ensemble des processus\* unitaires et éléments

nécessaires à la réalisation de cette fonction. Les processus sont reliés entre eux par des flux de produits et par des flux élémentaires<sup>1</sup> (Joliet et al., 2010). Le choix des limites du système détermine donc quels sont les flux et processus comptabilisés dans l'étude. Le système représenté sur la figure 2 est ici évalué de l'arrivée de l'alevin sur l'exploitation jusqu'à la livraison du poisson au client. Les processus relatifs à la conservation, consommation, puis au traitement des déchets qui en résultent ne sont pas pris en compte. Le choix de l'unité fonctionnelle est quant à lui laissé libre à l'utilisateur, puisque PISC'n'TOOL calcule l'ensemble des impacts relativement à six unités fonctionnelles jugées pertinentes dans le cadre d'une analyse du cycle de vie de systèmes de productions aquacoles : par tonne de poisson produite, par mètre cube d'eau traversant le système, par hectare utilisé sur la ferme, par unité de travail à temps plein, par 1000 dollars de poissons produits et par 1000 dollars de productions toutes confondues (autres élevages et cultures de la ferme).

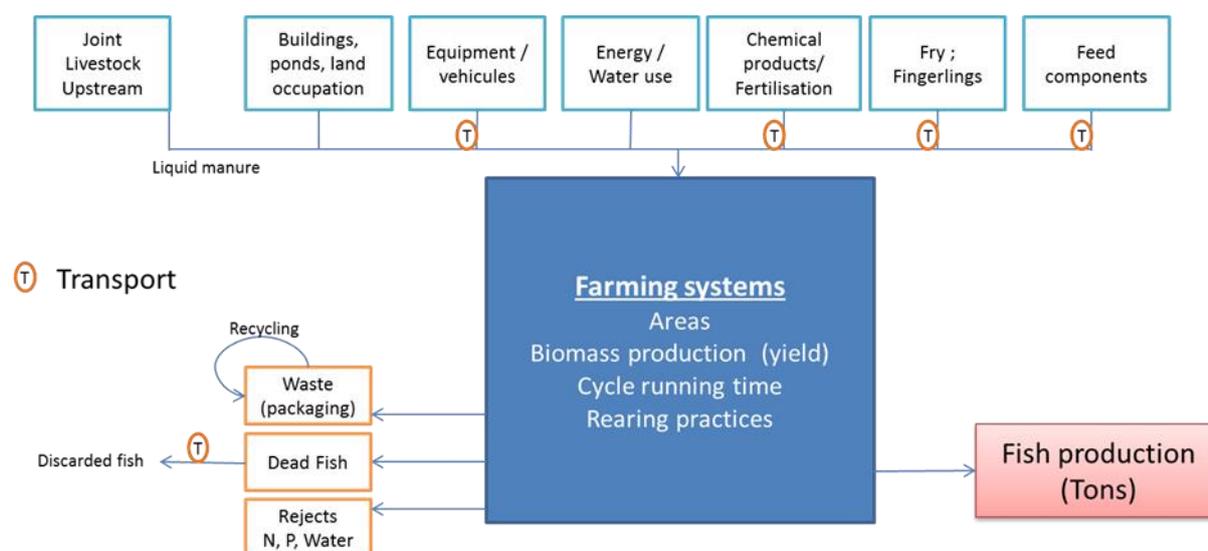


Figure 2 : Limites du système de production de poissons (Wilfart et al., 2012b)

#### ▪ Phase 2 : Inventaire des extractions et des émissions du système

La deuxième phase de l'ACV consiste à quantifier les différents flux (extractions et émissions) de matière (occupation du sol, intrants, équipements, etc.), d'énergie (combustible, énergie solaire, eau etc.), et de polluants qui traversent le système, au travers d'un inventaire et à partir d'informations provenant d'enquêtes de terrain pour une année de référence (Joliet et al., 2010). En pratique, ces données qui semblent aisément quantifiables, peuvent en réalité faire l'objet de plusieurs approximations. C'est, par exemple, le cas pour l'utilisation d'intrants ou pour les volumes de productions récoltés qui varient tous deux grandement d'une année sur l'autre et qui relèvent généralement d'une logique de gestion pluriannuelle. C'est pourquoi, il a été nécessaire d'une part, d'émettre des hypothèses pour combler les informations manquantes et d'autre part, de réaliser certains calculs afin de rendre compatibles les données d'enquête à l'interface de PISC'n'TOOL.

<sup>1</sup> Ressources et énergies extraites et émissions inhérentes

Sous PISC'n'TOOL, dans le volet réservé à l'inventaire, il est en premier lieu demandé de caractériser l'exploitation en précisant le lieu, le type de système de production, la durée d'un cycle, et quelques choix techniques (assec, curage, etc.). L'interface propose ensuite pour les équipements, les infrastructures, l'énergie et les autres intrants, de choisir les processus correspondant parmi des listes déroulantes, de préciser des informations quant à leur quantité, provenance ou encore par rapport à leur utilisation. Les volumes de productions doivent être décrits dans le détail, espèce par espèce, en précisant bien les entrées d'alevins. Puis, deux onglets propres aux aliments et aux productions annexes (animales et végétales) sont ensuite disponibles. En dernier lieu, l'utilisateur peut entrer des informations concernant la main d'œuvre et quelques aspects financiers. L'ensemble des processus disponibles sont répertoriés dans le volet base de données de PISC'n'TOOL. Ils proviennent d'autres bases de données (Ecoinvent v2.2 et bases de données propres à l'UMR SAS), d'études précédemment établies sur le sujet et sont obtenus pour la plupart suite à des simulations d'impact sur le logiciel ACV SimaPro ®. La phase d'inventaire a d'ailleurs donné lieu à la création d'un nouveau processus correspondant aux impacts environnementaux causés par la production d'un alevin issu de reproduction naturelle. Les processus d'alevins qui étaient disponibles jusqu'alors dans la base de données de PISC'n'TOOL étaient calculés pour des alevins nés en éclosérie alors que les fermes piscicoles visitées dans le cadre des enquêtes renouvellent majoritairement leur cheptel à partir de la reproduction naturelle ayant cours au sein des étangs. Les impacts environnementaux de ces deux types d'alevins diffèrent du fait de l'utilisation de nombreux intrants pour la production des alevins en éclosérie, notamment en raison du fonctionnement des infrastructures, alors qu'*a contrario* la production naturelle n'exige aucune intervention ou intrant supplémentaire.

La représentation du système de production dans PISC'n'TOOL a également posé question. Deux approches ont été imaginées, une première que l'on appellera approche par phase et une deuxième qui sera l'approche par cycle. L'approche par phase consiste à analyser séparément les différentes phases temporelles (et spatiales) du cycle de production. Elles sont généralement au nombre de trois, l'alevinage correspond à la première phase et consiste en la production d'alevins à l'aide de géniteurs ou à partir de vésicules résorbées, suit la phase de pré-grossissement puis de grossissement généralement conduite en polyculture. Ces trois étapes du processus de production n'ont pas les mêmes impacts environnementaux car elles ne mobilisent ni les mêmes surfaces, ni nécessairement les mêmes intrants et équipements et donc pas la même énergie (humaine, solaire, etc.) et ne produisent pas le même type de biens.. La méthode par cycle permet quant à elle de calculer les impacts environnementaux du système d'exploitation sur la globalité du cycle. C'est cette dernière qui sera adoptée pour l'analyse globale.

- **Phase 3 : Choix des indicateurs et évaluation des impacts**

Le but de cette troisième étape est de relier les données d'inventaires précédemment obtenues aux dommages environnementaux causés par les substances inventoriées (Joliet et al., 2010). Pour répondre

aux spécificités de la problématique de l'étude et du système étudié, il est nécessaire de choisir des indicateurs d'impacts pertinents capables d'évaluer la capacité du système à endommager son environnement. Ce choix décrit une pondération indirecte des polluants par rapport à leur potentiel à causer un ou plusieurs impacts environnementaux sur l'écosystème analysé. Les flux de substances polluantes sont donc agrégés sous la forme d'indicateurs intermédiaires (midpoint indicator) correspondant à une catégorie de problèmes ou à un effet spécifique (eutrophisation, changement climatique, utilisation de sol, etc...) (Joliet et al., 2010). Les impacts sont alors exprimés en poids d'équivalent de molécule (exemple : kg-éq-CO<sub>2</sub> pour le changement climatique ; Aubin et Van der Werf, 2009). Puis les impacts peuvent être éventuellement calculés sous la forme d'indicateurs de dommages (endpoint indicators) qui sont des catégories plus larges considérant les dommages réalisés sur différents sujets à protéger (santé humaine, environnement biotique naturel, etc.).

Les émissions et consommations sont agrégées dans PISC'n'TOOL sous la forme d'indicateurs intermédiaires définis dans le cadre de la méthode CML 2 Baseline 2001 (version 2,04) et d'indicateurs de dommages conformément à la méthode Recipe endpoint H Eur/A. Le descriptif des indicateurs conservés pour l'analyse est disponible dans le tableau 2.

Les résultats sont ensuite recalculés relativement au résultat le plus mauvais pour chaque indicateur d'impact. Pour ce faire, la note de 100 est attribuée à l'impact le moins favorable, les autres scores sont ensuite recalculés proportionnellement à la valeur attribuée au score qui a obtenu la note de 100. Ainsi, les valeurs les plus basses correspondent à celles qui représentent des faibles impacts environnementaux alors que les valeurs les plus hautes représentent des forts impacts.

L'ensemble des indicateurs décrits ci-dessus évalue non seulement les impacts environnementaux globaux de l'exploitation mais aussi ceux de chaque poste de contribution. Un poste de contribution peut se définir comme un processus intervenant dans la fabrication du produit. Pour faciliter l'interprétation des résultats certains d'entre eux ont été agrégés, au final les postes de contributions restant sont :

- Le fonctionnement de la ferme : comporte les impacts relatifs à l'utilisation d'énergie, d'eau par la ferme et les rejets générés par les animaux, mais aussi le décompte de tous les transports (aliments, équipements, alevins, etc.) et tout ce qui est propre aux impacts générés directement par l'élevage.
- Les équipements et infrastructures : correspond aux impacts de construction des bâtiments, structures extérieures, véhicules et autres équipements et à leurs utilisations respectives.
- Les produits chimiques : rend compte des émissions polluantes émanant de la fabrication et de l'utilisation de produits chimiques.
- L'aliment : se rapporte aux impacts causés par la fabrication et la distribution d'aliments.

- Les amendements : fait état des dégradations environnementales en lien avec la fabrication et l'utilisation de produits fertilisants (lisiers ou produits phytosanitaires).
- Les alevins : comptabilise les impacts liés à la fabrication et à l'introduction d'alevins.

Tableau 2 : Indicateurs d'impacts utilisés dans l'analyse (Méthode CML 2 Baseline 2001 version 2.04)

Indicateurs	Unité	Descriptif
Acidification	kg éq. SO <sub>2</sub>	Estime les dommages sur les écosystèmes causés par les changements d'acidité des milieux réceptionnant les polluants.
Eutrophisation	kg éq. PO <sub>4</sub>	Concerne les impacts sur les écosystèmes aquatiques et terrestres dus à un sur-enrichissement en azote et phosphore. (Aubin et Van der Werf, 2009) traduit par une prolifération d'algues et un appauvrissement du milieu en oxygène.
Changement climatique	kg éq. CO <sub>2</sub>	Evalue la production de gaz à effet de serre (principalement CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et NO <sub>2</sub> ) par le système. (Aubin et Van der Werf, 2009).
Dépendance en eau	m <sup>3</sup>	Mesure le volume d'eau qui traverse le système pour quantifier sa dépendance à cette ressource.
Occupation du sol	m <sup>2</sup> /an	Quantifie la perte temporaire de surface terrestre pour d'autres utilisations que celle de l'agriculture.
Demande cumulée en énergie	MJ	Regroupe l'ensemble des ressources énergétiques utilisées (fuel, chauffage, électricité, gaz, etc.) (Aubin et Van der Werf, 2009).
Utilisation de production primaire nette	kg C	Représente le niveau trophique évalué à partir de la quantité de carbone issue de la production primaire (obtenue par photosynthèse) utilisée par l'élevage. (Aubin et Van der Werf, 2009). Un haut UPPN signifie un haut niveau trophique.
Santé humaine	Années perdues en bonne santé	Evalue les dommages des polluants émis par le système sur la santé humaine en termes de réduction de l'espérance de vie en bonne santé.
Qualité des écosystèmes	Espèces disparues ou en voie d'extinction/an	Combine les impacts sur les écosystèmes de l'éco toxicologie aquatique terrestre, de l'eutrophisation et de l'acidification terrestre ainsi que de l'utilisation des sols en un indicateur plus global qui évalue l'impact global de ces différentes pollutions sur la qualité des écosystèmes.

#### ▪ Phase 4 : Interprétation des résultats

Cette dernière étape qui sera traitée dans la partie discussion de ce rapport permet d'identifier les points clés, les faiblesses, les possibilités d'améliorations du système étudié (Prudhomme, 2010). L'analyse comparée de scénarii alternatifs permet de classer des systèmes de production les uns par rapport aux autres et d'envisager pour chacun des innovations techniques ou organisationnelles permettant de réduire leurs impacts environnementaux. Enfin, cette phase d'interprétation doit faire l'objet d'une remise en contexte par rapport au cadre socio-économique du territoire et au choix de l'unité

fonctionnelle. Les résultats seront interprétés sans prendre en compte l'incertitude provenant des enquêtes, des modèles de calculs et des approximations réalisées. Les conclusions que nous pourrions tirer de cette étude seront donc à prendre avec un certain recul.

## **B. Méthodologie de l'Emergy**

L'Emergy est une méthode d'analyse environnementale quantitative basée sur les principes de la thermodynamique qui permet de mesurer l'ensemble des besoins en énergie pour obtenir un produit. (Wilfart et al., 2012a). Cette méthode cherche à exprimer l'intégralité de l'énergie qui a été précédemment requise pour générer un produit ou un service (Odum, 2005), elle comptabilise pour cela à la fois les ressources monétaires et non monétaires (Tableau 3) sous la forme d'une unité commune; le « solar emjoule » ou SeJ. L'énergie solaire est l'intrant énergétique majoritaire sur terre (Wilfart et al., 2012a), les flux des autres sources sont donc agrégés sous la forme d'emergy qui se définit comme l'énergie solaire disponible utilisée de manière directe ou indirecte pour la production d'un service ou d'un produit. Chaque produit et chaque bien se caractérise par l'accumulation des flux énergétique qui ont permis sa réalisation, cette valeur est appelée transformité et s'exprime en sej/Joule. La transformité d'un produit, représentée par le symbole «  $\tau$  », est plus précisément le ratio de son emergy solaire (« Y ») sur l'énergie qu'il contient (représentée par la lettre « E ») (Wilfart et al., 2012a). L'évolution de la méthode permet d'exprimer ce rapport dans d'autres unités (massique, monétaire) on parle alors plus généralement d'UEV (Unit Emergy Value).

De la même manière que pour l'ACV, la méthode Emergy se réalise en une succession d'étapes. La première consiste à produire une représentation graphique du système sous la forme d'un diagramme énergétique. Les symboles utilisés dans ce diagramme répondent à une codification précise développée par Odum (1996). Ce diagramme permet de hiérarchiser les différents flux d'énergie traversant le système et de distinguer les flux issus de la nature (I) à gauche et les intrants provenant de l'activité humaine (F) en haut, ces derniers étant subdivisés entre matériaux (M) et services (S). Ces deux types de flux comprennent une partie renouvelable (R) et une partie non renouvelable (N) (Tableau 3). Le diagramme énergétique n'est pas représenté dans PISC'n'TOOL mais est assez similaire à celui de la figure 3

Subséquent à cette schématisation du système, les différents flux représentés sur le diagramme énergétique sont organisés et inventoriés dans des tableaux d'évaluation qui permettront par la suite de calculer les indicateurs Emergy. Sous PISC'n'TOOL, la méthode Emergy reprend l'inventaire établi lors de la saisie des données et affecte à chaque donnée d'entrée des valeurs d'UEV et de renouvelabilité. En effet, chaque processus présent dans la base comprend les données Emergy (UEV, renouvelabilité, source) qui ont été calculées pour l'occasion ou qui sont issues de différentes études. Certains processus spécifiques de l'Emergy (monnaie, travail, soleil, vent, pluie) ne font pas partie des catégories choisies par l'utilisateur mais sont présents dans une autre base de données et utilisés automatiquement par les onglets calculatoires. Ces derniers cumulent toutes les UEV et calculent les

indicateurs en sortie. Ces indicateurs caractérisent les systèmes par leur efficacité et par l'origine des sources d'énergies qu'ils utilisent, ceux proposés par PISC'n'TOOL et utilisés dans le cadre de cette analyse sont décrits dans le tableau 4.

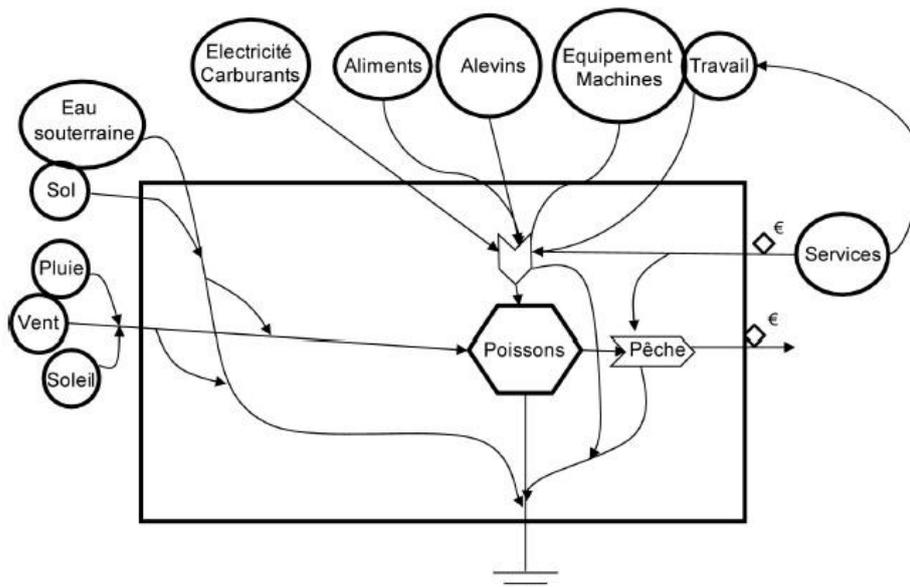


Figure 3 : Représentation des flux énergétiques d'une production de poissons en étang (Wilfart et al., 2012a)

Tableau 3 : Classification des flux Energy utilisés dans les études environnementales (Wilfart et al., 2012a)

Intrants et Services	Description
<b>I : Contribution de la nature</b>	<b>Ressources locales, gratuites R + N</b>
R : Ressources renouvelables provenant de la nature	Soleil, pluie, vent, marée (%R <sub>R</sub> = 100%)
N : Ressources non renouvelables provenant de la nature	Ressources à renouvellement lent (ex. sol, biodiversité, eaux des nappes), %R <sub>N</sub> = 0%
<b>F : Ressource économique</b>	<b>Ressources payantes, F = M + S</b>
<b>M : Matériaux</b>	$M = M_R + M_N$
M <sub>R</sub> : Matériaux et énergie renouvelables	Part renouvelable du matériel (%R <sub>M</sub> )
M <sub>N</sub> : Matériaux et énergie non renouvelables	Part non-renouvelable du matériel (100 - %R <sub>M</sub> )
<b>S : Services</b>	<b>S = S<sub>R</sub> + S<sub>N</sub></b>
S <sub>R</sub> : Services renouvelables	Part renouvelable des services (%R <sub>S</sub> )
S <sub>N</sub> : Services non renouvelables	Part non renouvelable des services (100 - %R <sub>S</sub> )
<b>Y : Energy totale</b>	<b>Y = I + F</b>

Tableau 4 : Indicateurs Emergy d'après Wilfart et al., 2012a

Indicateurs	Expression	Descriptif
Transformité/UEV	Y/E	La transformité d'un produit qualifie la capacité du système qui le génère à créer de l'énergie.
Taux de charge environnementale (ELR)	$\frac{(N + F)}{R}$	Représente le stress qu'exerce le système sur son environnement (Wilfart et al., 2012a).
Pourcentage d'Emergy renouvelable (% Renouvelabilité)	$100 \times \frac{(R+M_R+S_R)}{Y}$	Mesure le degré d'emergy renouvelable par rapport à l'emergy totale transitant dans le système (Wilfart et al., 2012a).
Rendement Emergy (EYR)	Y/F	Représente la capacité d'un système à exploiter et à rendre disponibles les ressources locales en investissant à plus large échelle, au-delà de ses frontières (Wilfart et al., 2012a).
Rendement d'investissement Emergy (EIR)	F/I	Evalue le fait qu'un processus utilise bien ou non l'énergie renouvelable disponible (Wilfart et al., 2012a).
Index Emergy de durabilité (EIS)	EYR/ELR	Mesure agrégée du rendement d'investissement emergy et de la charge environnementale en tant que fonction de durabilité d'un processus donné (Wilfart et al., 2012a).

Un score relatif important pour un indicateur ACV désigne un impact important, par conséquent plus la valeur de l'indicateur est grande moins le système est performant par rapport à cet indicateur. Afin que l'ensemble résultats relatifs des indicateurs ACV et Emergy évoluent dans le même sens et pour faciliter la lecture graphique, certains indicateurs Emergy ont dû être transformés de la manière suivante :

- Le pourcentage d'emergy renouvelable devient % d'emergy non renouvelable :  $1 - \% \text{ d'emergy renouvelable}$
- Le rendement emergy et l'index emergy de durabilité sont remplacés par leurs inverses respectifs :  $1/\text{EYR}$  et  $1/\text{EIS}$

Enfin, la comparaison des résultats et de l'évolution de ces indicateurs entre les différents systèmes étudiés est au cœur de la discussion développée dans la dernière étape.

## V. Corrélation entre services écosystémiques, ACV et Emergy

L'étude bibliographique a permis de démontrer l'intérêt et les enjeux que représente l'évaluation des services écosystémiques, notamment dans le cadre de l'intensification écologique. Il a aussi été souligné que la communauté scientifique portée sur le thème de l'évaluation environnementale n'avait pas encore découvert d'outils d'analyses environnementales qui soient en mesure d'évaluer l'utilisation de ces services. L'ACV et l'Emergy, dont on a décrit le fonctionnement plus tôt dans ce rapport, semblent être en mesure d'intégrer l'évaluation d'une partie de ces services. Cependant, la recherche bibliographique sur le sujet ne permet pas de définir exactement quels services définis par le MEA peuvent être appréciés à l'aide de ces deux outils. La démarche proposée ci-dessous s'intéresse à ce dernier point.

Pour un certain nombre de systèmes de production évalués dans le cadre du projet PISCEnLIT, il a été possible de recueillir la perception qu'avaient les pisciculteurs rencontrés des services écosystémiques fournis par l'environnement et de quantifier et hiérarchiser leur importance. Nous avons donc à disposition d'une part des informations quantitatives concernant les niveaux et la diversité des impacts environnementaux mesurés à l'aides des indicateurs ACV, et de l'autre, des scores permettant d'évaluer le niveau d'importance qu'attribuent les pisciculteurs rencontrés à une liste de services écosystémique. L'objectif de ce chapitre, est donc d'expliquer comment mettre en évidence par une approche statistique des corrélations entre ces différentes informations. Pour ce faire, une approche par analyse multivariée teste les corrélations statistiques qui peuvent exister entre ces deux types de données. L'hypothèse de départ est qu'il existe probablement des liens entre certains indicateurs et certains services. Dans les parties suivantes, sont expliqués successivement les types de données à disposition, la méthode statistique employée et les outils informatiques utilisés.

### **A. Données utilisées**

Pour un ensemble de raisons liées aux difficultés rencontrées sur le terrain (problème de traduction, contrainte de temps, technicité du vocabulaire employé) et à l'organisation générale du projet (étalement des enquêtes sur trois ans) il n'a pas été possible de réaliser un bilan individuel par pisciculteur associant diagnostic biotechnique et perceptions des services écosystémiques rendus par les étangs aquacoles. Par conséquent, pour les terrains Brésiliens et Indonésiens où certaines enquêtes ont été réalisées par groupe de pisciculteurs, il a été difficile d'associer ces différentes données. Par contre, en LORRAINE et en BRENNNE, il a été possible de trouver en tout 29 individus pour lesquels, d'une part les deux questionnaires avaient été menés à bien, et d'autre part pour lesquels les enquêtes avaient permis de collecter des données suffisamment nombreuses et fiables pour qu'elles soient exploitables.

Les 29 individus sont répartis entre 4 pisciculteurs lorrains interrogés lors de mes enquêtes (PL2, PL3, PL4 et PL5) et 25 pisciculteurs brennoux répartis en 3 classes (Loch, 2011) :

- Grosses productions : Grs. P1 à Grs. P4
- Grands propriétaires : Grd. P1 à Grd. P5
- Petits propriétaires : PP1 à PP16

C'est donc sur ces exploitations que seront comparées résultats ACV, Emergy et perceptions des services écosystémiques. Les impacts environnementaux causés par les systèmes de production des pisciculteurs Brennoux ont été calculés à l'aide de SimaPro par une précédente stagiaire suite aux enquêtes qu'elle avait pu mener dans cette région. Ses résultats ne comprenant pas d'analyse Emergy, les calculs des flux et des transformités sur ces données ont donc été réalisés plus tard pendant mon stage.

Les résultats ACV et Emergy des pisciculteurs lorrains proviennent quant à eux des simulations d'impacts réalisées à l'aide de PISC'n'TOOL.

## B. Méthode statistique

### *Matrice des corrélations*

La matrice de corrélation permet de tester les corrélations entre plusieurs variables deux à deux. Le coefficient de corrélation de Pearson détermine dans quelle mesure les valeurs de deux variables sont proportionnelles les unes aux autres. La significativité des corrélations testées peut être mesurée en comparant la valeur du coefficient de corrélation entre deux variables à une valeur seuil définie dans la table du coefficient de corrélation. Avec une probabilité alpha choisie de 5 % et un degré de liberté de 27 (29 individus - 2), la valeur de corrélation seuil au-delà de laquelle une corrélation peut être jugée comme significative est 0,3494 (Schwartz, 1996). Les variables considérées sont ici au nombre de 43 ; les scores d'importance attribués aux 28 services écosystémiques, les résultats ACV pour 7 indicateurs midpoints<sup>1</sup> et 2 indicateurs endpoints<sup>2</sup> et les résultats Emergy pour 6 indicateurs Emergy<sup>3</sup>.

Ces données sont organisées sous forme d'un tableau où les individus figurent en lignes et les variables en colonnes. Les corrélations entre l'ensemble de ces variables ont été testées à l'aide de l'outil statistique R (v.3.0.1).

### *Analyse en composante principale*

Les analyses statistiques multivariées permettent de ne pas choisir à priori la variable intéressante et d'avoir une vue d'ensemble des sujets décrits. Ces statistiques décrivent les relations entre variables (liées et opposées) et peuvent comparer ces dernières du point de vue de leur contribution à la différenciation des sujets. L'Analyse en Composante Principale\* (ACP) qui fait partie de ce type de statistiques a pour but de décrire les nuages de points et de rechercher les composantes de la variation. Elle constitue pour cette étude, une autre méthode qui permet de décrire les corrélations entre plusieurs variables, et qui plus est, de fournir des résultats graphiques.

C'est pourquoi le tableau de données précédemment décrit a fait l'objet de plusieurs ACP toujours à l'aide de l'outil R et cette fois du module FactoMineR qui offre la possibilité de réaliser des analyses multivariées. Les données sont automatiquement centrées et normalisées, les corrélations entre les variables ne sont donc pas exactement les mêmes que celles proposées dans la matrice des corrélations. Pour que suffisamment d'informations soient représentées sur les plans factoriels décrits sur les cercles de corrélations, il est généralement conseillé d'avoir 10 à 20 fois plus de lignes (d'individus) que de colonnes (de variables). Dans notre cas, nous avons 29 individus et 43 variables, nous avons donc seulement considéré pour chaque ACP entre 3 (14 fois plus d'individus) et au maximum 4 (10 fois plus d'individus) variables à la fois. Les variables ont été codées et débutent par la lettre « A » qui signifie indicateurs ACV, « S » pour services écosystémiques et « E » pour Emergy.

---

<sup>1</sup> Acidification, eutrophisation, changement climatique, occupation du sol, demande totale en énergie, dépendance en eau et utilisation de production primaire nette

<sup>2</sup> Santé humaine et qualité des écosystèmes

<sup>3</sup> Transformité, % de renouvelabilité, ELR, EIR, EYR, EIS

# Résultats

## I. Résultats d'enquêtes

### A. Enquêtes de perception

L'étude menée en amont de mon stage par Belhamiti et al. (2011) a permis de répertorier les perceptions des services écosystémiques d'un grand nombre de pisciculteurs. Les services ont été triés pour mon analyse en fonction de leur occurrence de citation et de leur ordre de hiérarchisation par les pisciculteurs (Tableau 5). J'ai par ailleurs calculé un score global basé sur la multiplication de l'occurrence d'un service et de son score total de perception. Ce score global permet de mettre en évidence trois classes de services :

- Services ayant un score compris entre 0 et 100 (10 services écosystémiques sur 28)
- Services ayant un score compris entre 100 et 500 (9 services écosystémiques sur 28)
- Services ayant un score supérieur à 500 (9 services écosystémiques sur 28)

Un seul service n'a été noté par aucun des pisciculteurs étudiés, il s'agit du service de production de fibres. Les services notés le plus souvent sont les services de chasse et pêche et de maintien de la biodiversité qui ont une occurrence de 23 (sur 29). Les services ayant le plus haut score sont dans l'ordre : le service de chasse et pêche, le service de production de poissons et crustacés et le service de maintien de la biodiversité avec respectivement des scores de 4071 ; 3564 et 3542.

Belhamiti et al. (2011) ont quant à eux produit pour chaque terrain d'enquête, des classes de pisciculteurs et parties prenantes partageant les perceptions qu'ils ont des services rendus par les écosystèmes. Pour la région LORRAINE, cette étude a par exemple mis en évidence les 4 classes suivantes :

- Classe 1 : « Perception producteurs aménageurs » caractérisée par des services d'approvisionnement et de régulation
- Classe 2 : « Perception territoriale » orientée autour des services de régulation et de support
- Classe 3 : « Patrimoniale et loisirs » principalement centrée sur les services culturels
- Classe 4 : « Perception producteurs multidimensionnels » qui regroupe services culturels, d'approvisionnement et de support

**Tableau 5 : Hiérarchisation des 4 catégories de services écosystémiques en fonction de leurs perceptions et occurrences de citations**

Catégorie de service	Approvisionnement							
Services écosystémiques	Production de poissons/crustacés	Production de végétaux alimentaires	Réservoir d'eau douce utilisable pour l'irrigation	Production de fibres	Production de combustible et d'énergie	Ressources ornementales	Ressources médicales et vétérinaires	Apport de fertilisants pour l'agriculture
Score de perception	162	21	50	0	3	14	2	13
Occurrence	22	3	10	0	1	3	1	3
Occurrence × Score	3564	63	500	0	3	42	2	39

Catégorie de service	Régulation					
Services écosystémiques	Régulation du climat local	Régulation hydrologique	Protection contre les incendies	Stockage des pollutions et dépollution	Maintien de la biodiversité	Régulation des maladies humaines
Score de perception	11	72	36	11	154	14
Occurrence	2	12	8	3	23	2
Occurrence × Score	22	864	288	33	3542	28

Catégorie de service	Culturel							
Services écosystémiques	Lien avec la religion, la culture locale, les traditions	Source d'inspiration, valeur sentimentale	Apprentissage d'un savoir-faire	Sensibilisation à l'environnement	Chasse et pêche	Tourisme et écotourisme	Loisirs	Paysage et attractivité
Score de perception	46	44	47	89	177	34	62	34
Occurrence	9	10	9	17	23	8	15	9
Occurrence × Score	414	440	423	1513	4071	272	930	306

Catégorie de service	Support					
Services écosystémiques	Production de plancton	Zones de refuge et de nidification des oiseaux migrateurs	Zone de frayères et de reproduction pour les animaux et végétaux aquatiques	Participation aux cycles naturels des nutriments	Formation et entretien des sols	Maintien des zones humides
Score de perception	33	136	93	25	10	116
Occurrence	6	22	16	6	3	17
Occurrence × Score	198	2992	1488	150	30	1972

**Légende**

	0 < Score < 100
	100 < Score < 500
	Score > 500

## B. Typologie des exploitations Lorraines

Les figures 4 et 5 montrent que les pisciculteurs peuvent être classés en trois groupes sur les critères du rendement du nombre d'ETP et de la quantité d'aliment utilisée. Le choix a été fait de séparer les individus sur ces critères puisqu'ils permettent de donner des premières indications sur le niveau d'intensification mis en œuvre sur l'exploitation et sur le niveau d'investissement humain dans la production.

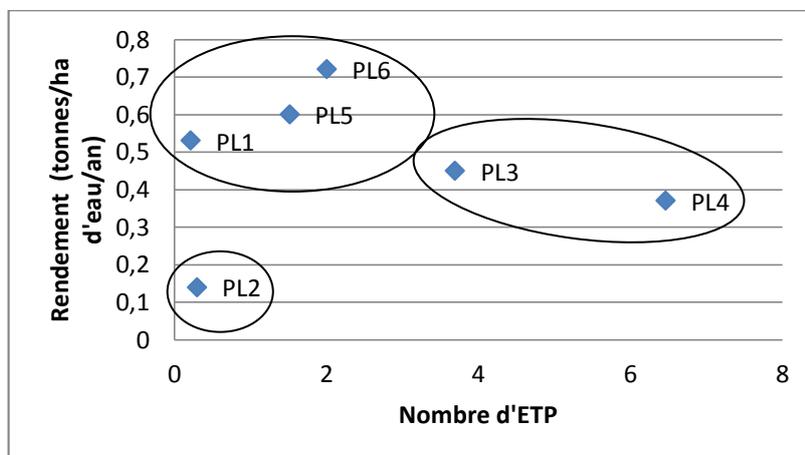


Figure 4 : Représentation en nuage de points des exploitations étudiées sur les critères du rendement et du nombre d'ETP

Il est possible de distinguer un premier groupe composé de PL1, PL5 et PL6. Ces exploitations ont des surfaces en eaux très différentes ; 1,9 ha, 39,5ha et 386 ha respectivement pour PL1, PL6 et PL5. Elles sont caractérisées par les plus forts rendements (en moyenne 0,6 tonnes/ha d'eau/an) et sont peu intensive en main d'œuvre (Tableau 1). PL5 et PL6 consomment respectivement 0,01kg et 0,04kg d'aliments par tonne de poisson produite et par an, en revanche PL1 fait part d'une faible efficacité à ce niveau puisqu'il consomme 5 fois plus d'aliments par tonne de poisson produite que PL6.

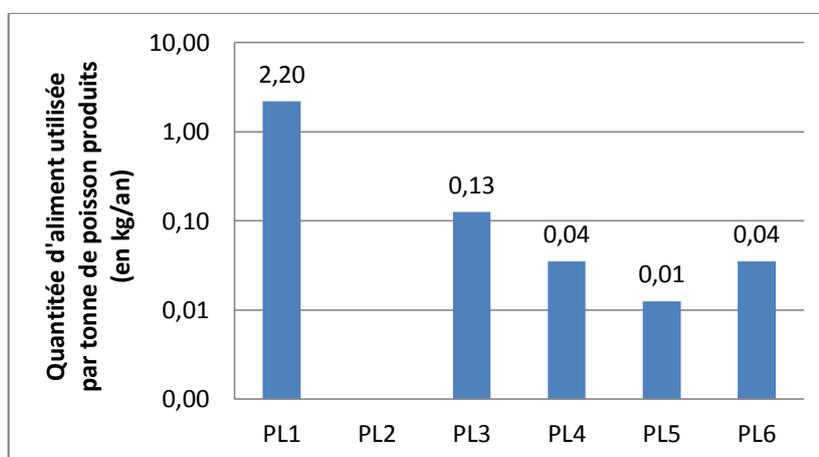


Figure 5 : Représentation en histogramme de la quantité d'aliments utilisée pour une production ramenée à une tonne de poisson produits pour les six exploitations étudiées

PL3 et PL4 se caractérisent par des rendements un peu moins élevés et une main d'œuvre plus abondante. Ces deux structures qui mobilisent plus de 3 ETP, ne sont effectivement pas des

exploitations familiales comme peuvent l'être PL6 ou PL1 mais bien deux exploitations professionnelles. PL3 utilise par contre 3 fois plus d'aliment que PL4 pour une production identique. PL4 est représentée par seulement 3 étangs alors que l'exploitation en comporte 11. La consommation totale d'aliment sur ces étangs est de 15 tonnes et il est probable que le rendement soit à peu près similaire sur l'ensemble des étangs. Cela signifie que PL4 pourrait donc bien se retrouver à une consommation d'aliment proche de celle de PL3 si nous avions pu récolter plus de données sur cette exploitation. On peut d'ailleurs noter que ces deux exploitations se rejoignent aussi sur le choix de l'orge pour nourrir leurs poissons.

Enfin, PL2 est la seule pisciculture qui pratique un faible rendement d'élevage, mobilise peu de personnel, et n'utilise pas d'aliment, le pisciculteur exploite une surface en eau relativement grande (98,5 ha) sa structure pourrait donc être qualifiée d'extensive.

## **II. Résultats d'analyses environnementales**

### **A. Résultats ACV**

La contribution des éléments du système à chacune des catégories d'impact a été estimée par tonne de poisson produite pour les six exploitations étudiées (Figure 6). Les émissions de molécules acidifiantes sont situées entre 1,3 (PL5) et 29,4 kg éq. SO<sub>2</sub> (PL1) et avec une moyenne autour de 8 kg éq. SO<sub>2</sub>. Le fonctionnement de la ferme est le principal contributeur à l'acidification des milieux (54-74%) pour tous les systèmes excepté pour PL2 où ce poste ne contribue qu'à 19% des impacts. Les alevins sont les éléments les plus impactant pour PL2 (71%) alors qu'ils ne représentent qu'entre 2 et 32 % des impacts d'acidification pour les autres structures.

L'eutrophisation potentielle des fermes étudiées est négative (-6,8 à -101,2 kg éq. PO<sub>4</sub>) pour toutes les exploitations exceptée PL1 (+32,7 kg éq. PO<sub>4</sub>). Aussi bien pour les impacts négatifs que positifs, le fonctionnement de la ferme est le principal contributeur (82% des impacts positifs et 98% des impacts négatifs). L'aliment et les alevins apparaissent très faiblement (0 à 5,5 kg éq. PO<sub>4</sub>) en tant que deuxième et troisième éléments contribuant à cet impact potentiel.

Les exploitations contribuent au réchauffement climatique en dégageant entre 309 et 2324 kg éq. CO<sub>2</sub>. Pour cet indicateur, PL6 génère un impact plus de deux fois supérieure à celui de PL2 et PL5 (3350 kg éq. CO<sub>2</sub> vs. 6409 kg éq. CO<sub>2</sub>). Le fonctionnement de la ferme qu'il inclut est responsable d'au moins 39% des émissions pour PL1, PL3, PL4, PL5, PL6. Les équipements et infrastructures participent entre 22 et 39% des impacts pour PL1, PL2, PL4 et PL5, alors qu'ils ne représentent que 8% en moyenne pour PL3 et PL6. Pour PL6 et PL2, les alevins ont un poids non négligeable (27 et 54%, respectivement) dans l'émission de gaz à effet de serre.

La demande totale en énergie de PL1 est relativement haute (67546 MJ) par rapport aux autres exploitations (moyenne de 12186 MJ). Le fonctionnement de la ferme comprend l'utilisation d'énergie pour la production, celle-ci représente seulement 13% du total d'énergie consommée pour PL2 contre plus de 70% pour les autres piscicultures. Les postes de contribution secondaires sont les alevins puis les équipements et infrastructures (respectivement 2 à 58% et 5 à 28%).

L'utilisation de production de primaire nette est directement liée à l'utilisation d'aliment et d'alevins, ces deux éléments constituent donc respectivement en moyenne 48% (16 à 86%) et 52 % (14 à 100%) des impacts. Pour PL2, PL4 et PL6 les alevins sont le processus le plus impactant alors que pour PL1, PL3 et PL5 il s'agit de l'aliment. PL6 présente des impacts supérieurs (+112 kg C) à PL1 pour cet indicateur, cette exploitation affiche d'ailleurs des impacts plus de 3 fois supérieurs à ceux de PL2, PL3, PL5 et PL6.

Les piscicultures PL1, PL2, PL3, PL4 et PL6 exploitent un volume d'eau compris entre 78702 et 219985 m<sup>3</sup> alors que PL5 nécessite un volume d'eau bien supérieur évalué à 953717 m<sup>3</sup>. Cet indicateur évalue indirectement pour les systèmes d'étangs la surface d'eau mobilisée, PL5 est donc l'exploitation qui utilise le plus de surface à production égale. Le fonctionnement de la ferme est responsable d'en moyenne 91% de l'utilisation de l'eau, la contribution des alevins occupe les pourcentages restants.

La même analyse a été faite en rapportant les résultats à deux autres unités fonctionnelles : l'occupation d'un hectare d'exploitation, et la genèse d'un Salaire Minimum Interprofessionnel de Croissance (SMIC). Un comparatif des profils relatifs par exploitation, selon les 3 UF, est donc disponible (Figure 7). Les surfaces occupées par les trois radars donnent des premiers indices sur les profils environnementaux de ces six exploitations. Ils mettent en évidence que le profil qui était le plus défavorable pour une tonne de poisson sur l'analyse précédente (PL1) est le même quel que soit l'unité fonctionnelle choisie. De même, pour le profil qui semblait avoir les impacts les plus réduits (PL5), peu importe l'unité fonctionnelle, la méthode semble indiquer qu'il est le système le moins impactant. On observe également sur la figure 7 que même si les tendances de profils restent les mêmes qualitativement, le choix de l'unité fonctionnelle a une influence quantitative sur le niveau d'impact de tous les indicateurs (excepté l'occupation du sol). Les impacts en termes d'eutrophisation évoluent par exemple en moyenne de 25 % entre les unités fonctionnelles mais sont soit tous plutôt élevés soit tous plutôt faibles. En outre, le profil calculé par hectare est très sensible à l'utilisation du sol. En effet, pour ce type de profil, cet indicateur affiche en moyenne des scores relatifs à 92%.

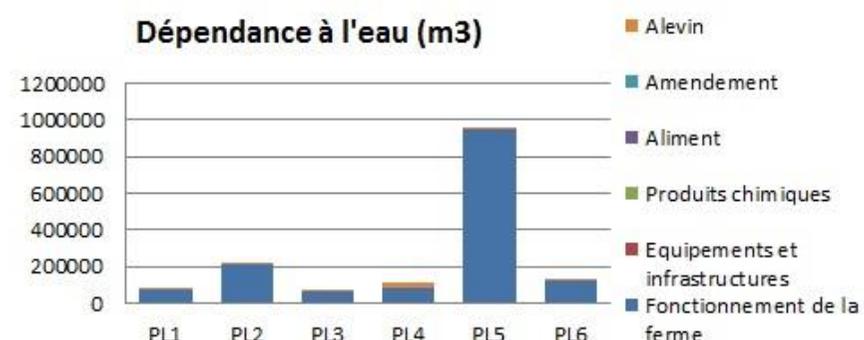
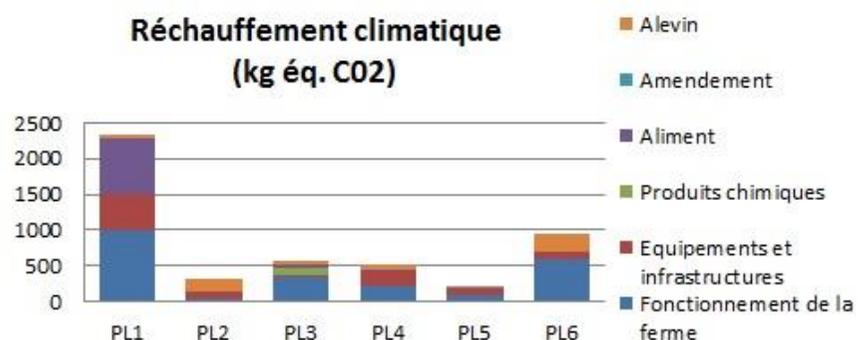
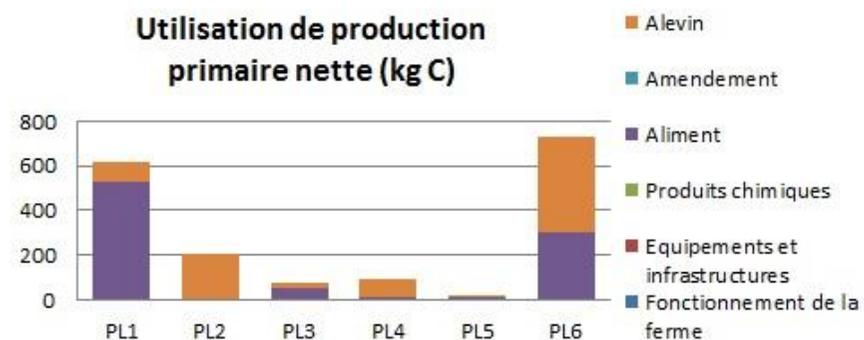
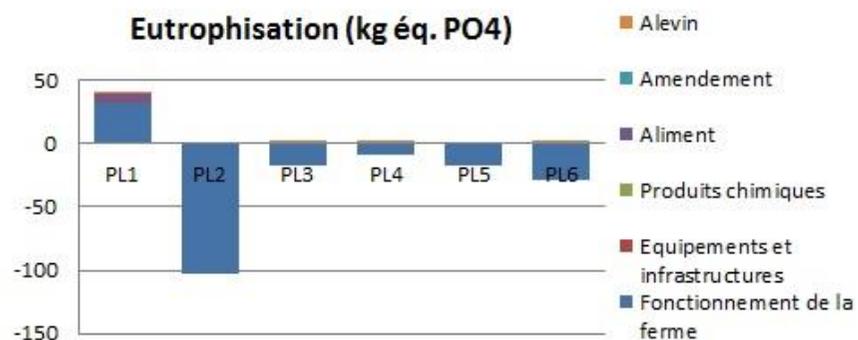
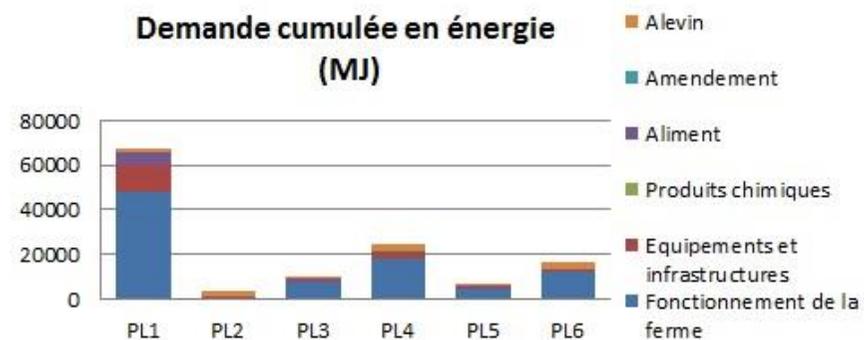
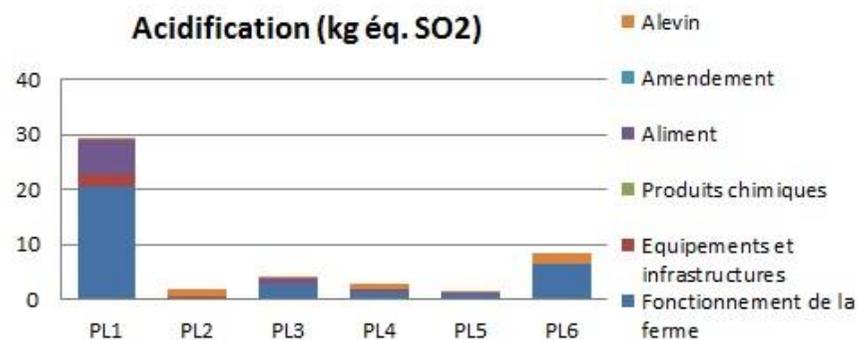
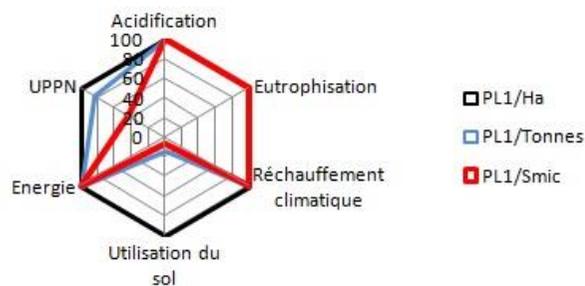
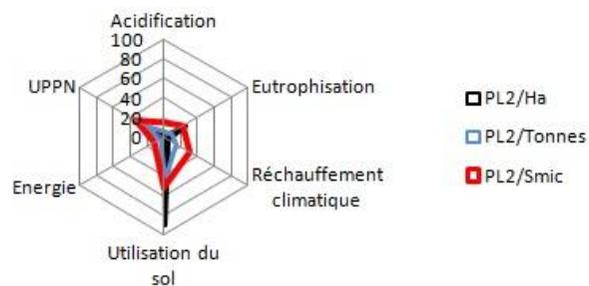


Figure 6 : Indicateurs d'impacts ACV d'acidification, d'eutrophisation, de réchauffement climatique, de demande totale en énergie, d'utilisation de production primaire nette et de dépendance en eau des six systèmes d'étangs étudiés par tonne de poisson

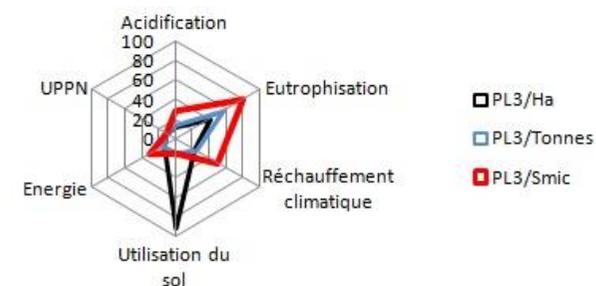
### Profil relatif de PL1 selon l'unité fonctionnelle



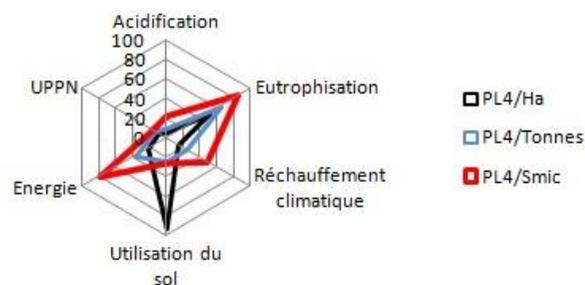
### Profil relatif PL2 selon l'unité fonctionnelle



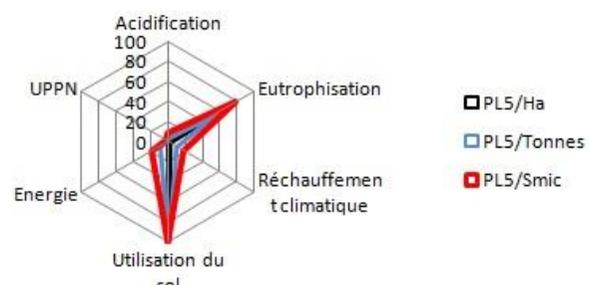
### Profil relatif de PL3 selon l'unité fonctionnelle



### Profil relatif de PL4 selon l'unité fonctionnelle



### Profil relatif de PL5 selon l'unité fonctionnelle



### Profil relatif de PL6 selon l'unité fonctionnelle

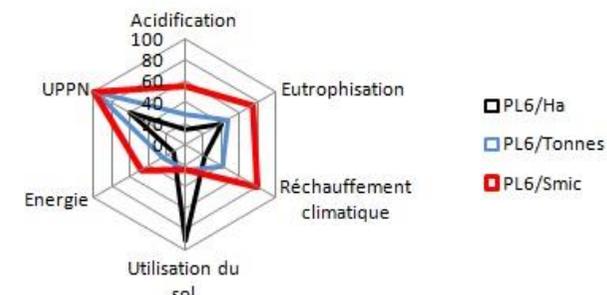


Figure 7 : Comparaison des profils ACV des six exploitations étudiées en pourcentage relatif au plus élevé pour 3 unités fonctionnelles différentes ; la tonne de poisson produite, l'hectare utilisé, le SMIC généré

## B. Résultats EMERGY

Le tableau 6 présente les résultats par indicateurs d'impacts Emergy des six exploitations étudiées

Tableau 6 : Résultats en valeur absolue des indicateurs d'impacts Emergy pour les six exploitations étudiées

Indicateur d'impacts	Unités	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6
Transformité	SeJ/J	$1,2 \times 10^7$	$6,1 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	$7,1 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$
Taux de charge environnementale (ELR)		5,67	0,78	1,34	0,85	0,29	1,29
% Renouvelabilité		15,0	56,1	42,7	55,7	77,4	43,7
Rendement Emergy (EYR)		1,07	2,06	1,59	2,21	4,13	1,60
Rendement d'investissement Emergy (EIR)		5,65	0,74	1,33	0,84	0,28	1,28
Index Emergy de durabilité (EIS)		0,19	2,63	1,18	3,47	14,16	1,24

Par joule d'énergie produite, le système PL1 est le système le moins efficace sur le plan émergétique, il requiert en moyenne 2,3 fois plus d'emergy que les autres exploitations. PL4, du fait de sa faible transformité est donc la pisciculture qui nécessite le moins d'emergy pour produire une unité de produit.

Les systèmes d'étangs analysés ont des charges environnementales (ELR) comprises entre 0,29 (PL5) et 5,65 (PL1). Les exploitations PL2, PL3, PL4, PL5 et PL6 présentent des ELR compris entre 0,29 et 1,34 ce qui indique un faible impact à long terme sur l'environnement, alors que PL1 génère un stress sur l'environnement 4 fois plus grand que PL6 ou PL 3.

Les exploitations utilisent en moyenne 48,4 % d'emergy provenant de ressources d'origines renouvelables, cela souligne donc une certaine résilience face à un stress économique. L'exploitation PL1 est celle qui en utilise le moins (15 %) alors que PL5 utilise en très grande partie (77%) de l'emergy renouvelable.

Les résultats en termes de rendement emergy (EYR) signalent que PL2, PL4 et PL5 ont une contribution modérée à l'économie locale (EYR compris entre 2 et 5) alors que PL1, PL3 et PL6 présentent de plus forte dépendances vis-à-vis des ressources économiques (EYR compris entre 1,07 et 1,60). Le rendement d'investissement emergy (EIR) précise qu'en proportion PL1 est le système qui utilise le moins les ressources naturelles disponibles sur le site et que les autres systèmes exploitent entre 4 (pour PL6 et PL3) et 19 (pour PL5) fois plus de ressources naturelles.

L'index emergy de durabilité (EIS) désigne l'activité de PL5 comme la plus durable sur le plan émergétique. PL1 a l'EIS le plus faible, avec une valeur qui représente seulement 1,4 % de la valeur de PL5 pour cet indicateur. PL2 et PL4 sont les deux exploitations qui après PL5 sont affichées comme les plus durables sur le plan émergétique, elles ont un EIS égal à 19 et 25 % de celui de PL5. Enfin PL3 et PL6 sont classées à niveau quasi égal derrière PL2 pour cet indicateur.

### III. Résultats de l'analyse statistique

#### A. Corrélations entre services écosystémiques

L'analyse statistique a d'abord mis en évidence des corrélations entre services écosystémiques perçus (Figure 10). Celles-ci peuvent être positives (Ex. : corrélation entre le « maintien de la biodiversité » et le « maintien des zones humides ») ou négatives (Ex. : corrélation entre la « protection contre les incendies et le « maintien de la biodiversité »). Des corrélations positives indiquent que les scores de ces services (occurrence de citation  $\times$  score de perception) évoluent proportionnellement dans le même sens, c'est-à-dire que quand un service est fortement perçu, l'autre l'est également. Les corrélations négatives indiquent quant à elles que les services sont perçus de façon antagonistes, quand l'un est perçu comme important l'autre est souvent perçu comme peu utile. Ces corrélations sont également triées en fonction de la force de la corrélation de la manière suivante :

- Les corrélations sont considérées comme statistiquement significatives avec un risque d'erreur de 5% si le coefficient de corrélation dépasse la valeur seuil  $r = 0,3494$
- Les corrélations sont considérées comme fortement significatives dès lors que le coefficient de corrélation dépasse la valeur de 0,43.

La figure 10 présente l'ensemble des corrélations qui interviennent entre les services écosystémiques dont le score est supérieur à 100. Les autres services ont un score faible ce qui signifie qu'ils ont été considérés comme peu importants par les pisciculteurs et/ou ont été peu cités. Les corrélations qui existent avec ces services ont donc de fortes chances d'être fortuites et de ne pas avoir de réelle signification. Cette figure affiche des corrélations entre, 7 services culturels, 5 services de support, 3 services de régulation et 2 services d'approvisionnement, 8 d'entre elles sont positives et les 6 restantes sont négatives.

#### B. Corrélations entre indicateurs d'impacts environnementaux

L'utilisation de la matrice de corrélation a fait ressortir des corrélations entre les résultats des indicateurs d'impact ACV, de même entre les résultats des indicateurs Emergy ; d'autres corrélations ont également été identifiées entre les résultats des indicateurs de ces deux méthodes. L'annexe 3 présente en trois tableaux, les parties de la matrice des corrélations consacrées à ces variables. Ils font apparaître en bleu les corrélations statistiquement significatives avec un risque d'erreur de 5 % : et un d.d.l. de 27 (29 individus -2) :

- 8 corrélations significatives (toutes positives) liant 8 indicateurs testés sur 9 pour l'ACV
- 10 corrélations significatives (4 positives et 6 négatives) liant 5 indicateurs testés sur 6 pour l'Emergy
- 22 corrélations significatives (10 positives et 12 négatives) liant un total de 13 indicateurs sur 15 pour l'ACV-Emergy

#### C. Corrélations entre services écosystémiques et indicateurs ACV et Emergy

Le troisième type de résultats qu'a fourni l'analyse statistique concerne les corrélations significatives qu'il est possible d'observer entre les perceptions des services écosystémiques des 29 pisciculteurs

interrogés et les résultats des indicateurs d'impacts ACV et Emergy des piscicultures analysées. Celles-ci concernent peu de services (13 sur un total de 28) et bon nombre d'indicateurs d'impacts (12 sur 16). Par soucis de lisibilité, les indicateurs ne faisant l'objet d'aucune corrélation n'ont pas été représentés dans les résultats (Tableau 7). On peut cependant constater qu'au moins un service de chaque catégorie est concerné par une corrélation. Ces dernières peuvent être positives ou négatives et concernent à la fois des services ayant un score global (occurrence  $\times$  score de perception) assez faible (5 corrélations pour des services dont le score est inférieur à 100) et des services présentant un score important (25 corrélations pour des services dont le score est supérieur à 100).

L'analyse en composante principale\* permet de représenter graphiquement plusieurs corrélations à la fois. La figure 8 présente un exemple de liens qui existent entre services écosystémiques (« production de poisson » et « maintien des zones humides ») et indicateurs d'impacts ACV (« eutrophisation » et « qualité des écosystèmes »). Les deux dimensions représentées sur ce cercle des corrélations représentent 62% de l'information, ce qui est assez suffisant pour pouvoir tirer des conclusions. Sur ce graphique, les variables « eutrophisation », « production de poisson » et « maintien des zones humides » sont bien représentées car leurs vecteurs sont proches du cercle. L'orthogonalité des vecteurs « maintien des zones humides » et « écosystèmes » indique que ces variables sont très peu corrélées, *a contrario*, le fait que les vecteurs « eutrophisation » et « production de poisson » aient la même direction et soient proches révèle une corrélation positive entre ces deux variables.

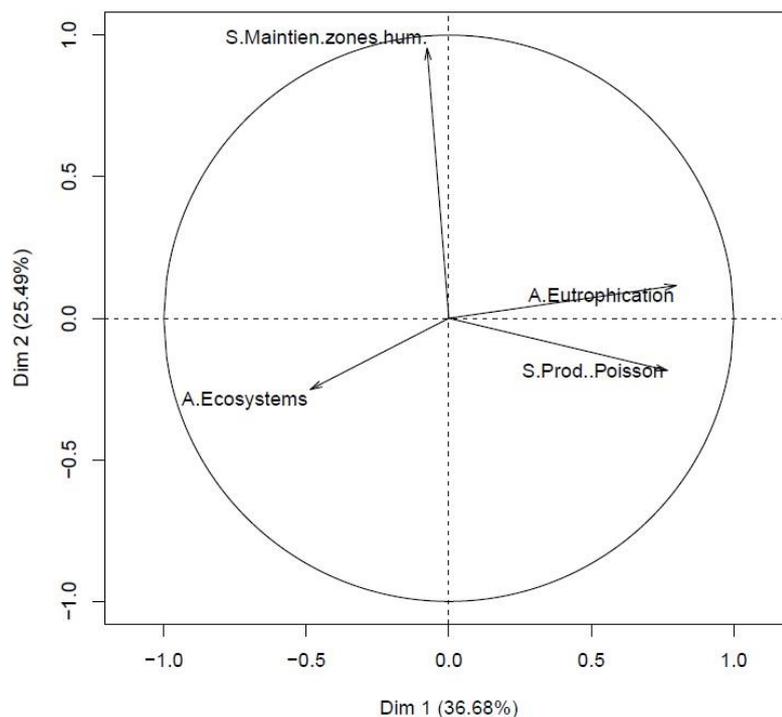


Figure 8 : Cercle des corrélations issues d'une ACP sur les services écosystémiques de maintien des zones humides et de production de poissons et sur les indicateurs d'impacts ACV « eutrophisation » et « qualité des écosystèmes »

Tableau 7 : Corrélation entre les perceptions de 27 services écosystémiques et les indicateurs d'impacts ACV acidification, demande totale en énergie, changement climatique, occupation du sol, dépendance à l'eau, écosystèmes et santé humaine

				Indicateurs d'impacts ACV						Indicateurs d'impacts Energy					
Services écosystémiques		Score de perception	Occurrence	Occurrence × Score	Eutrophisation	Changement climatique	Occupation du sol	Dépendance à l'eau	Qualité des écosystèmes	Santé humaine	EIR	EIS	ELR	EYR	% de Renouvelabilité
Approvisionnement	Production de poissons/crustacés	162	22	3564	0,38	0,12	-0,18	-0,15	-0,11	-0,10	0,42	-0,42	0,42	-0,54	-0,59
	Production de végétaux alimentaires	21	3	63	-0,09	-0,11	-0,30	-0,14	-0,08	-0,09	-0,02	-0,1	-0,02	-0,08	-0,06
	Réservoir d'eau douce utilisable pour l'irrigation	50	10	500	-0,14	-0,32	0,12	0,40	-0,11	-0,08	-0,24	0,34	-0,24	0,32	0,36
	Production de combustible et d'énergie	3	1	3	-0,17	-0,11	-0,21	-0,09	-0,05	-0,06	-0,09	-0,02	-0,09	0,03	0,09
	Ressources ornementales	14	3	42	0,15	0,11	0,03	-0,04	-0,08	-0,09	0,1	-0,17	0,1	-0,21	-0,25
	Ressources médicales et vétérinaires	2	1	2	0,04	0,46	0,20	0,01	-0,05	-0,06	-0,05	-0,08	-0,05	-0,07	-0,03
	Apport de fertilisants pour l'agriculture	13	3	39	-0,04	-0,05	-0,11	-0,10	-0,07	-0,08	-0,1	-0,05	-0,1	0	0,06
Régulation	Régulation du climat local	11	2	22	-0,01	-0,05	-0,12	-0,01	-0,05	-0,04	-0,12	-0,02	-0,12	0,02	0,14
	Régulation hydrologique	72	12	864	0,09	0,17	0,48	0,48	-0,15	-0,12	-0,16	0,22	-0,16	0,15	0,16
	Protection contre les incendies	36	8	288	0,19	0,08	0,43	0,42	-0,12	-0,10	-0,18	0,29	-0,18	0,25	0,24
	Stockage des pollutions et dépollution	11	3	33	0,24	0,15	-0,08	-0,03	0,52	0,49	0	-0,04	0	-0,04	0
	Maintien de la biodiversité	154	23	3542	0,01	-0,04	0,07	0,22	0,01	0,03	-0,05	0,1	-0,06	0,01	-0,1
	Régulation des maladies humaines	14	2	28	-0,09	0,26	0,00	-0,05	-0,07	-0,08	-0,1	-0,07	-0,1	-0,03	0,04

**Légende**

	0 < Score < 100		Corrélation significative
	100 < Score < 500		Corrélation significative sur un service avec un fort score
	Score > 500		

				Indicateurs d'impacts ACV							Indicateurs d'impacts Emergy				
Services écosystémiques		Score de perception	Occurrence	Occurrence x Score	Eutrophisation	Changement climatique	Occupation du sol	Dépendance à l'eau	Qualité des écosystèmes	Santé humaine	EIR	EIS	ELR	EYR	% de Renouvelabilité
Culturel	Lien avec la religion, la culture locale, les traditions	46	9	414	-0,15	0,01	-0,16	-0,10	0,00	0,00	0,27	-0,13	0,28	-0,15	-0,19
	Source d'inspiration, valeur sentimentale	44	10	440	-0,26	-0,22	0,06	-0,08	-0,08	-0,07	-0,25	0,25	-0,25	0,35	0,36
	Apprentissage d'un savoir-faire	47	9	423	-0,03	0,14	-0,29	-0,16	0,09	0,11	0,41	-0,11	0,41	-0,17	-0,25
	Sensibilisation à l'environnement	89	17	1513	0,03	0,04	0,08	0,02	0,04	0,05	-0,16	0,04	-0,16	0,00	-0,05
	Chasse et pêche	177	23	4071	0,23	0,01	-0,18	-0,39	-0,46	-0,49	0,20	-0,23	0,21	-0,17	-0,19
	Tourisme et écotourisme	34	8	272	0,02	-0,17	-0,18	-0,14	-0,03	-0,03	-0,14	-0,18	-0,14	-0,14	-0,02
	Loisirs	62	15	930	0,01	-0,14	-0,12	-0,22	-0,22	-0,24	-0,17	0,11	-0,17	0,19	0,15
	Paysage et attractivité	34	9	306	-0,29	-0,13	-0,02	-0,07	-0,15	-0,15	-0,19	0,31	-0,19	0,37	0,28
Support	Production de plancton	33	6	198	-0,08	-0,17	-0,24	0,01	0,83	0,84	-0,03	-0,04	-0,03	-0,10	-0,05
	Zones de refuge et de nidification des oiseaux migrateurs	136	22	2992	0,17	0,10	-0,05	-0,20	0,15	0,13	-0,25	-0,19	-0,25	-0,10	0,11
	Zone de frayères et de reproduction pour les animaux et végétaux aquatiques	93	16	1488	0,11	0,13	0,02	-0,05	0,22	0,19	-0,02	-0,06	-0,02	-0,07	-0,08
	Participation aux cycles naturels des nutriments	25	6	150	-0,04	0,00	0,23	0,54	0,53	0,54	-0,07	0,40	-0,07	0,28	0,22
	Formation et entretien des sols	10	3	30	-0,17	-0,17	-0,32	-0,10	0,41	0,39	-0,02	-0,05	-0,03	-0,06	-0,03
	Maintien des zones humides	116	17	1972	0,02	-0,11	0,08	0,04	-0,01	-0,02	-0,13	-0,11	-0,13	-0,11	-0,07

### Légende

	0 < Score < 100
	100 < Score < 500
	Score > 500

	Corrélation significative
	Corrélation significative sur un service avec un fort score

# Interprétation des résultats et discussion

## I. Interprétation des résultats d'enquêtes et des typologies

Les premières typologies proposées plus tôt dans ce rapport permettent de distinguer trois groupes d'exploitations :

- PL1, PL5 et PL6 : exploitations à forts rendements et peu intensives en main d'œuvre.
- PL3 et PL4 : exploitations professionnelles rendements intermédiaires, main d'œuvre abondante.
- PL2 : exploitation extensive, faisant un usage peu important de personnel et d'aliment.

Ces typologies soulignent à nouveau le fait qu'il n'existe pas qu'une seule stratégie de management mais une multitude. PL5 et PL6 privilégient par exemple le suivi de leur cheptel afin d'adapter au mieux la quantité d'aliment distribuée. PL6 choisie de minimiser la main d'œuvre, afin de pouvoir dégager un revenu plus important. PL5 emploie un nombre conséquent de personnes, mais aucun salarié n'est affilié à temps plein à l'activité de production piscicole. Au contraire, la plupart des employés sont polyvalents et interviennent également sur d'autres activités de la structure (restauration, transformation). PL3 et PL4 sont deux structures professionnelles qui emploient des salariés à mi-temps ou à temps plein. Ces exploitations font donc un usage plus intensif de main d'œuvre. PL4, qui est structure dirigée par le Conseil Général de Moselle, n'a pas d'objectifs de production ni de rentabilité aussi poussés que les autres exploitations. Elle a donc la possibilité d'employer un nombre plus important de personnes. PL1 possède les plus petites surfaces en eau. Par ailleurs il produit son propre aliment à bas coût, il peut donc se permettre d'intensifier ce facteur de production afin améliorer ses rendements. Enfin, PL2, dont le propriétaire et exploitant est une personne retraitée, adopte une logique extensive demandant peu d'investissement financiers et fait donc un usage limité de l'ensemble de ces facteurs de production.

La typologie réalisée est basée sur un nombre limité de facteurs et d'individus. Elle n'est donc pas complètement représentative de la situation en LORRAINE. En revanche, elle donne quelques indices concernant les possibilités de choix de gestions techniques réalisés en LORRAINE. Par ailleurs, les éléments caractéristiques dont nous avons discuté ne nous donnent aucune information sur les performances environnementales de ces exploitations, il est donc nécessaire de compléter cette analyse avec une évaluation environnementale de ces six piscicultures.

## II. Interprétation des performances environnementales

### A. Analyse de cycle de vie

#### *Etudes des postes de contribution*

L'analyse du cycle de vie des systèmes d'étangs a montré que sur les 6 indicateurs analysés, 4 éléments contribuaient particulièrement aux impacts potentiels relevés :

- Le fonctionnement de la ferme
- La production d'alevins
- La production des équipements et infrastructures
- La production de l'aliment

#### Le fonctionnement de la ferme

Sur des systèmes peu consommateurs en intrants, le fonctionnement de la ferme représente généralement une part importante des impacts générés. Pour 5 indicateurs sur 6, il s'agit effectivement de l'élément qui contribue le plus aux émissions et aux impacts évalués. Le fonctionnement de la ferme comprend l'utilisation d'énergie (carburant, électricité, gaz) qui pèse en moyenne pour 89% des impacts du fonctionnement de la ferme en termes d'acidification des milieux, de réchauffement climatique et de demande en énergie. La combustion d'énergie fossile génère effectivement des molécules acidifiantes et des gaz à effet de serre. Les faibles valeurs d'impact de l'indicateur d'eutrophisation sont également liées au fonctionnement de la ferme mais pas aux mêmes processus. Comparé à des productions de Tilapia (Production d'*Oreochromis niloticus* en étang ; Pelletier & Tyedmers, 2010) et d'une combinaison de Tilapia-Clarias (Production de Tilapia et *Clarias gariepinus* en étang ; Ewoukem et al., 2012) les polycultures lorraines ont des impacts potentiels bien plus faibles pour l'indicateur d'eutrophisation (46 ; 292 et -21,4 kg éq. PO<sub>4</sub>, respectivement). La densité d'élevage, les animaux présents et le volume d'eau conditionnent la quantité de phosphates et d'azote émis dans l'étang. Par contre, les pollutions eutrophisantes totales émises par des étangs extensifs dans le milieu environnant, sont surtout dues aux affluents et aux mécanismes physiques (sédimentation, décantation de matière organique, etc.) et biologiques (production de plancton) liés au processus de rétention d'eau dans les bassins. C'est bien pourquoi la relation entre la densité d'élevage et les émissions de phosphates et d'azote dans le milieu, ne semble pas linéaire sur les systèmes étudiés. PL2 et PL6, qui sont les plus favorables vis-à-vis de l'eutrophisation du milieu sont en effet respectivement, les piscicultures avec la plus faible et la plus forte densité d'élevage. Les impacts en termes d'eutrophisation sont plutôt liés aux mécanismes de stockage de l'azote et des phosphates dans les vases et aux processus d'épuration par les macrophytes. Banas et al. (2002), avaient mis en évidence que pendant la phase de production, l'eau en sortie d'étang contenait moins de phosphates (18,1 kg) qu'en entrée (30,2 kg). Par ailleurs l'extraction des boues lors de la vidange et lors des curages, la fixation du phosphore par le plancton (Schlumberger, 1998) et la présence de cultures annexes sont d'autres phénomènes qui permettent au système d'exporter du phosphore ou de l'azote. PL2 qui produit des céréales sur les assècs de ses étangs est d'ailleurs le système qui épure le plus milieux en molécules eutrophisantes. En revanche, ce dernier utilise de l'engrais

pour ces cultures de manière non quantifiée (et non comptabilisée ici), il n'est donc pas impossible que son bilan en terme d'eutrophisation des systèmes soit finalement moins favorable.

#### L'achat et l'utilisation d'équipements et d'infrastructures

Ces éléments ont un poids environnemental moindre par rapport au fonctionnement de la ferme. Pour autant, on constate que ce poste contribue différemment aux impacts totaux de chaque pisciculture. Il concoure, par exemple, à 7 et 39 % des émissions de gaz à effet de serre pour PL3 et PL4 alors que ces deux exploitations ont des résultats voisins sur l'indicateur de réchauffement climatique (respectivement 561 et 520 kg éq. CO<sub>2</sub>). Ce résultat révèle un meilleur amortissement du matériel et une plus haute efficacité de leur utilisation pour PL3. Les émissions de gaz à effet de serre de ces deux systèmes sont d'ailleurs plus de 22 fois plus faibles que celles générées par des productions de porcs (15,9 tonnes éq. CO<sub>2</sub> ; Basset Mens et Van Der Werf, 2005) ou de poulets (12,0 tonnes éq. CO<sub>2</sub> ; Williams et al., 2006). Plus généralement avec une émission moyenne de 812 kg éq. CO<sub>2</sub> sur les 6 exploitations, les systèmes d'étangs lorrains contribuent moins au réchauffement climatique, par tonne de poisson produite, que des productions de Tilapia (26,5 tonnes éq. CO<sub>2</sub> ; Pelletier et Tyedmers, 2010) ou de Saumon (32,1 tonnes éq. CO<sub>2</sub> ; Boissy et al., 2011). On constate aussi que pour PL6 et PL3 qui sont deux exploitations professionnelles utilisant une quantité importante de matériel, le deuxième élément contribuant le plus au réchauffement climatique est la production d'alevins et non pas le matériel.

#### La production d'alevins

La différence majeure qui permet de distinguer les exploitations par rapport à la contribution des alevins aux impacts de la ferme est la valorisation de la reproduction naturelle contre l'approvisionnement issu d'écloserie en juvéniles. Les indicateurs d'acidification, de réchauffement climatique et d'utilisation de production primaire pour lesquels nous avons pu constater une forte contribution des alevins, mettent en évidence que les systèmes comme PL1, qui priorisent la reproduction naturelle (97% des entrées d'alevins) affiche un impact lié aux alevins plus faible que des systèmes comme PL6 qui au contraire s'approvisionnent quasi-exclusivement à partir de sources externes (90% des alevins achetés).

#### La production d'aliment

Cet élément est souvent reconnu pour son influence sur les impacts générés par les systèmes aquacoles (Aubin et al., 2009b). Pour cette étude, l'aliment a surtout contribué aux impacts de PL1 où il représente en fonction des indicateurs jusqu'à 86 % des impacts. Pour les autres exploitations, on ne constate pas de différences majeures entre des systèmes qui ne font pas l'usage d'aliment et ceux qui en utilisent en petite quantité. En revanche, le choix de l'aliment semble avoir une incidence notable sur le bilan d'utilisation de production primaire nette. PL6 utilise des aliments composés industriels, contenant des farines et des huiles de poissons. Pour une quantité d'aliment distribuée 2 fois inférieure à celle PL1, PL6 consomme 112 kg de carbone supplémentaire/tonne de poisson. L'utilisation pour l'alimentation, de

produits végétaux et notamment de céréales (PL1), contribue donc à réduire les impacts du système en termes d'UPPN. Boissy et al (2011) mettent par contre en évidence que ces types de régimes alimentaires ont tendances à augmenter les impacts utilisation du sol, eutrophisation du milieu et écotoxicité terrestre. Rappelons par ailleurs que la base de l'alimentation dans les grands étangs de polyculture est la production de biomasse via la photosynthèse et les nutriments apportés par les cours d'eau (bassins versants).

### ***Discussion autour du choix de l'unité fonctionnelle***

La comparaison des profils environnementaux par unité fonctionnelle a mis en évidence l'importance de ce choix initial. Les profils ont des formes similaires et les résultats par indicateurs ne changent pas le classement des fermes. Cela témoigne d'une certaine robustesse de l'ACV selon l'UF. En revanche, les résultats en valeur absolue varient eux assez sensiblement. Le système de PL1 émettra par exemple 29, 13 et 4 kg éq. SO<sub>2</sub> respectivement par tonne de poisson produite, par ha d'exploitation mobilisé et par SMIC généré. Ces impacts ont des dimensions différentes et ne produisent pas les mêmes effets sur l'environnement. Il faut donc être vigilant à bien choisir une unité fonctionnelle adaptée au cadre de l'étude (Organisation internationale de la standardisation, 2006) lors des premières étapes de l'ACV et éviter de sélectionner les valeurs d'impacts potentiels qui semblent les plus favorables suite à l'obtention des résultats. Le choix de ces trois unités fonctionnelles semblait intéressant dans la mesure où même si les étangs sont des systèmes de productions agricoles (UF : tonne de poisson), leur rôle est aussi d'intervenir dans la gestion des territoires et leur vocation paysagère semble importante (UF : ha). En outre, pour sauvegarder cette activité, les systèmes doivent être rémunérateurs et capables de générer de l'emploi (UF : SMIC). L'analyse des résultats selon ces trois unités fonctionnelles semble donc justifiée et pertinente pour l'évaluation environnementale de productions aquacoles d'étangs.

## **B. Analyse Emergy**

### ***Comparaison des systèmes lorrains***

S'il ne semble pas possible de composer instinctivement des groupes à partir des résultats ACV, l'analyse Emergy permet de dessiner trois types de profils environnementaux qu'il convient d'analyser séparément :

- PL2, PL3, PL4 et PL6

Ces systèmes sont d'abord caractérisés par un faible impact à long terme sur l'environnement. Ils utilisent entre 44 et 77% de ressources renouvelables et révèlent donc une certaine résilience notamment face à un stress économique. PL3 et PL6 sont relativement bien équipés en machineries, véhicules ou autres matériels, ils sont par exemple les seuls à posséder des camions<sup>1</sup>. Ces deux exploitants sont relativement techniques, leur rendement emergy (EYR) proche de 1 montre donc qu'ils présentent une dépendance vis-à-vis des ressources économiques. La charge environnementale (ELR) de ces deux

---

<sup>1</sup> Deux poids lourds sont aussi présents sur l'exploitation PL4 mais du fait de la répartition par unité de surface du matériel, cette exploitation possède en pratique 0.06 camion.

exploitations est inférieure à 2 et indique que ces exploitations parviennent à limiter leurs stress environnementaux. On peut émettre l'hypothèse que cela provient d'une utilisation optimale et d'un amortissement des équipements présents sur la ferme. PL2 et PL4 qui cumulent les plus fortes valeurs de ce groupe sur l'EYR et plus faible sur l'ELR ont quant à eux des logiques très extensives. PL2 n'utilise quasiment pas de matériel sur ses étangs et PL4 au regard des surfaces exploitées n'en n'utilise presque pas non plus. Leur EYR inférieur à 2 confirme d'ailleurs qu'ils n'ont qu'une contribution modérée à l'économie locale.

- PL5 :

Les résultats des indicateurs Emergy de cette exploitation sont similaires à ceux du groupe PL2-PL3-PL4-PL6 mais avec des valeurs d'impacts plus faibles (ELR et EIR plus faible et % renouvelabilité, EYR et EIS plus fort). PL5 a effectivement l'index emergy de durabilité le plus élevé ce qui est dû en partie au fait que son EYR soit particulièrement haut. Un haut EYR indique que le système utilise avec efficacité l'emergy investie. En observant plus en détail les caractéristiques de PL5, on peut par exemple s'apercevoir que l'emergy dépensée en travail humain, traduite par le nombre d'ETP mobilisées et le niveau de qualification des personnes, est 2 fois inférieure à celle de PL3 pour des surfaces d'un même ordre de grandeur et une production 1,8 fois inférieure. Cela signifie que l'emergy dépensée en travail humain n'est pas tout à fait proportionnelle aux gains de productions et qu'il convient d'optimiser ce facteur de production. Cette exploitation a une contribution très modérée à l'économie locale en raison de l'usage peu important de ressources manufacturées. A titre d'exemple, la moitié des alevins introduits provient d'achats alors que l'autre moitié est issue de la reproduction naturelle. En outre, PL5 exploite plus durablement son environnement (ELR = 0,3) que les autres exploitations puisqu'il valorise bien certains services écologiques comme la pluie, le vent ou le soleil, du fait de la très grande surface en eau à disposition. Ces derniers constituent la part renouvelable des ressources gratuites qui sont mis à sa disposition par les écosystèmes, leur bonne exploitation pourrait expliquer un ELR particulièrement bas.

- PL1

Bien que PL1 soit installée sur une exploitation de 83 ha, la surface en étangs est seulement de 1,8 ha. Le pisciculteur adopte donc une démarche qui est relativement plus intensive que ses collègues dans la mesure où il utilise proportionnellement plus d'équipements et d'intrants par unité de surface. Son système engendre un stress environnemental modéré et utilise 85% de ressources d'origine non renouvelable. Cette exploitation utilise 5,7 fois plus d'intrants achetés que d'intrants fournis gratuitement par l'environnement, ce qui s'explique par la forte quantité d'aliments utilisée par rapport aux volumes de poisson produits. Sous le seul angle de cette analyse, on pourrait considérer que ce système n'exploite pas durablement les écosystèmes environnants. Il est cependant nécessaire de rappeler que le tracteur ou certaines infrastructures comptabilisées dans cette analyse sont également mises à profit pour la production de fraises et de céréales, productions qui totalisent tout de même 70 % de son chiffre d'affaire.

Le classement des piscicultures, sur la base de la transformité des poissons qui en sont issus, est différent du classement établi à partir des résultats des autres indicateurs (Figure 9). En effet, même si PL1 est à nouveau l'exploitant ayant la plus forte valeur, le reste du classement est différent. PL5 qui semblait avoir les impacts les plus faibles, se caractérise ici comme le deuxième système qui transforme le moins efficacement l'énergie. La pluie, le vent et l'énergie solaire sont les trois sources majeures d'apport en energy. L'exposition de grandes surfaces, au soleil, au vent et à la pluie engendre donc une augmentation importante de l'energy entrante dans le système. On peut constater que PL5 a une transformité légèrement supérieure à PL6 du fait de la proportion plus importante d'energy provenant de la pluie ( $+4,72 \times 10^{17}$  sej), du vent ( $+1,49 \times 10^{16}$  sej) et de l'ensoleillement direct ( $+1,22 \times 10^{16}$  sej), ce système est donc moins efficient sur le plan émergétique. S'il est possible de contrôler l'apport d'intrants manufacturés, il est impossible de contrôler, sur des étangs, l'approvisionnement en ces trois sources d'énergie. Par conséquent, plus un cycle de production sera long, plus celui-ci utilisera une quantité importante d'energy provenant de la pluie, du vent et du soleil. Nous aurions donc pu présumer, que les exploitations ayant des cycles de production assez longs recevraient un flux émergétique plus important, qui de ce fait, contribuerait à augmenter la transformité du bien issu du système. Il semble que ce ne soit pas le cas puisque PL3, dont les cycles de production sont les plus longs (36 mois), fait partie des deux exploitations dont le poisson a la plus basse transformité. Au final, le système le moins efficace en termes d'énergie utilisée semble être PL4, sûrement en raison de l'allocation du matériel réalisée sur la base de la surface d'étangs prise en compte, allocation qu'il conviendrait peut être d'ajuster.

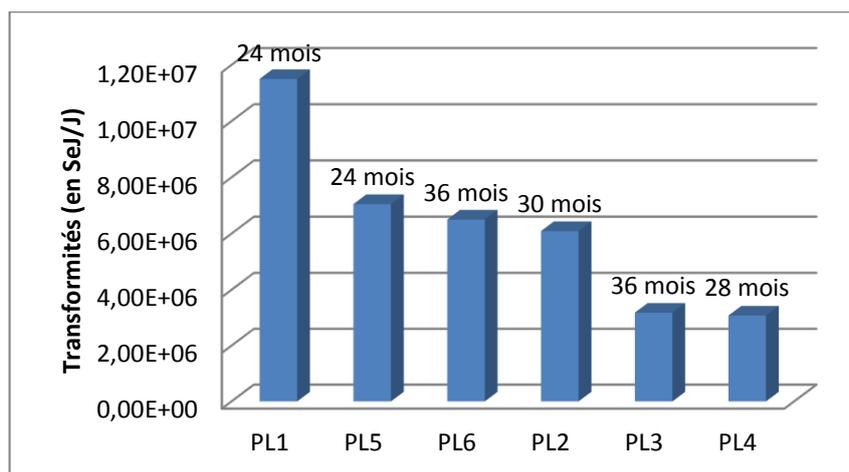


Figure 9 : Classement des six exploitations étudiées selon leur transformité avec indication de la durée d'un cycle de production

### C. Analyse mixte ACV et Emergy

#### *Comparaison avec la littérature*

Wilfart et al. (2013) ont également analysé les impacts environnementaux et les flux d'energy de deux systèmes d'étangs lorrains. PF1 correspond à une exploitation extensive (98 ha) produisant 35 tonnes de poissons par an nourris avec des céréales. L'exploitation de PF2 a quant à elle été caractérisée comme semi-extensive du fait de la petite surface exploitée (12 ha) et de l'utilisation intensive d'aliment

par rapport à la production<sup>1</sup>. Les résultats des indicateurs Emergey et ACV correspondant à ces deux systèmes figurent dans le tableau 8.

**Tableau 8 : Valeurs des indicateurs d'impacts ACV et Emergey de PF1 et PF2 d'après Wilfart et al., (2013) et des six exploitations lorraines étudiées.**

<b>Indicateur d'impacts Emergey</b>	<b>PF1</b>	<b>PF2</b>	<b>PL1</b>	<b>PL2</b>	<b>PL3</b>	<b>PL4</b>	<b>PL5</b>	<b>PL6</b>
<b>Transformité (sej/j)</b>	5,5×10 <sup>6</sup>	8,7×10 <sup>6</sup>	1,2×10 <sup>7</sup>	6,1×10 <sup>6</sup>	3,2×10 <sup>6</sup>	2,9×10 <sup>6</sup>	7,1×10 <sup>6</sup>	6,5×10 <sup>6</sup>
<b>Taux de charge environnementale (ELR)</b>	2,94	7,48	5,67	0,78	1,34	0,85	0,29	1,29
<b>% Renouvelabilité</b>	2,5×10 <sup>1</sup>	1,2×10 <sup>1</sup>	1,5×10 <sup>1</sup>	5,6×10 <sup>1</sup>	4,3×10 <sup>1</sup>	5,6×10 <sup>1</sup>	7,7×10 <sup>1</sup>	4,4×10 <sup>1</sup>
<b>Rendement Emergey (EYR)</b>	1,25	1,16	1,07	2,06	1,59	2,21	4,13	1,60
<b>Rendement d'investissement Emergey (EIR)</b>	2,92	4,82	5,65	0,77	1,33	0,84	0,28	1,28
<b>Index Emergey de durabilité (EIS)</b>	0,4	0,15	0,19	2,63	1,18	3,47	1,4×10 <sup>1</sup>	1,24
<b>Acidification (kg éq. SO<sub>2</sub>/tonne de poisson)</b>	5×10 <sup>1</sup>	1,1×10 <sup>1</sup>	2,9×10 <sup>1</sup>	1,8	4,0	2,8	1,3	8,4
<b>Eutrophisation (kg éq. PO<sub>4</sub>/tonne de poisson)</b>	2,4×10 <sup>1</sup>	1,6×10 <sup>1</sup>	3,9×10 <sup>1</sup>	-1,0×10 <sup>2</sup>	-1,5×10 <sup>1</sup>	-6,8	-1,5×10 <sup>1</sup>	-2,7×10 <sup>1</sup>
<b>Réchauffement climatique (kg éq. CO<sub>2</sub>/ tonne de poisson)</b>	8,6×10 <sup>3</sup>	1,4×10 <sup>3</sup>	2,3×10 <sup>3</sup>	3,1×10 <sup>2</sup>	5,6×10 <sup>2</sup>	5,2×10 <sup>2</sup>	2,1×10 <sup>2</sup>	9,5×10 <sup>2</sup>
<b>Dépendance en eau (m<sup>3</sup>/ tonne de poisson)</b>	4,1×10 <sup>4</sup>	7,5×10 <sup>3</sup>	8,9×10 <sup>4</sup>	2,1×10 <sup>5</sup>	7,9×10 <sup>4</sup>	1,1×10 <sup>5</sup>	9,5×10 <sup>5</sup>	1,2×10 <sup>5</sup>
<b>Demande totale en énergie (MJ/ tonne de poisson)</b>	1,7×10 <sup>5</sup>	1,2×10 <sup>5</sup>	6,8×10 <sup>4</sup>	3,4×10 <sup>3</sup>	1,0×10 <sup>4</sup>	2,4×10 <sup>4</sup>	6,4×10 <sup>3</sup>	1,7×10 <sup>4</sup>
<b>Utilisation de production primaire nette (kg de C/ tonne de poisson)</b>	7,4×10 <sup>2</sup>	3,33×10 <sup>2</sup>	6,2×10 <sup>2</sup>	2,1×10 <sup>2</sup>	7,5×10 <sup>1</sup>	9,8×10 <sup>1</sup>	1,9×10 <sup>1</sup>	7,3×10 <sup>2</sup>

L'analyse des indicateurs Emergey indique que PF1 a des valeurs qui sont systématiquement plus faibles que PL2, PL3, PL4, PL5 et PL6 (exceptés EIS et EYR, rapports pour lesquels une valeur haute est plus favorable d'un point de vue environnemental) et toujours plus fortes que celles de PL1 (excepté EIS et EYR pour les mêmes raisons). Cette exploitation est décrite par les auteurs comme la plus durable des trois systèmes comparés dans l'article. Cependant, son EYR (1,25) est considéré comme bas par rapport à d'autres études sur des systèmes semi extensifs qui proposaient des valeurs situées entre 2,19 et 3,95 pour cet indicateur. D'un autre côté, la moitié des indicateurs (renouvelabilité, ELR et 1/EIS) du système PF2 renseignent des valeurs plus hautes que celles de PL1. La production de PL1 est donc réellement dépendante en ressources non renouvelables et affiche un caractère peu durable. Les résultats ACV nous indiquent que les 6 piscicultures étudiées ici sont jusqu'à 35 fois moins exigeantes en énergie que l'exploitation la moins demandeuse en énergie de l'article de Wilfart et al. (2013). En ce qui concerne l'acidification et le réchauffement climatique, le bilan est un peu plus contrasté. PF1 reste plus impactant que l'ensemble des exploitations en raison de l'importance consommation de carburants et PF2 se place entre PL1 et le groupe PL2 à PL6. Les résultats de l'indicateur d'eutrophisation de PL1 sont par contre supérieurs à ceux de PF1 et PF2. Cela semble indiquer que les petites surfaces en étangs parviennent

<sup>1</sup> Environ 4 tonnes comprenant des céréales et de l'aliment industriel composé pour 3.3 tonnes de carpes produites

moins bien à épurer ces molécules ni même à stabiliser les concentrations de ces nutriments dans le milieu alors même que le flux d'eau dans les étangs de PL1 est supérieur à celui de ces deux systèmes. Rappelons tout de même, que nous avons calculés dans PISC'n'TOOL des bilans de masse et que c'est sur ces résultats et non pas sur des analyses d'eau, qu'ont été calculés les indicateurs d'impacts. Il est donc nécessaire de relativiser ces conclusions. Enfin l'UPPN de PF1 est quasiment équivalente à celle de PL6 (respectivement 744 et 730 kg C) et c'est l'aliment qui est ici le principal contributeur.

### ***Critiques de la démarche***

Les propositions d'actions qui peuvent être issues de ces diagnostics sont généralement des propositions basées sur la viabilité à long terme alors que la logique économique de l'exploitant ou des décisionnaires s'appuie prioritairement sur la recherche de bénéfices à court terme (Zhang et al., 2011). Les conclusions tirées dans ce rapport peuvent ensuite se heurter aux limites inhérentes aux méthodes d'évaluation mises en œuvre et à l'outil choisi. En effet, les résultats de cette étude proviennent d'un outil en cours de développement. Celui-ci semble également sous-estimer certains impacts (Eutrophisation très faible). Au demeurant, la méthode de calcul des impacts ACV et Emergey de PISC'n'TOOL apparaît être relativement robuste puisqu'en utilisant deux méthodes d'implémentation des données différentes, on s'aperçoit que les résultats sont analogues si ce n'est identiques. D'autre part, les indicateurs sélectionnés sont parfois redondants (dépendance en eau et utilisation du sol). Il aurait peut-être été intéressant d'ajouter des indicateurs relatifs à l'utilisation de la main d'œuvre ou à l'utilisation des ressources économiques investies dans le système. Une autre limite de l'ACV et de l'Emergey repose dans l'absence de valeurs références des indicateurs, qui permettrait de qualifier les externalités négatives et positives engendrées par les systèmes analysés. Il nous est donc seulement possible de vérifier la véracité de nos conclusions au regard de comparaisons avec la littérature comme nous avons pu le faire précédemment. Une des forces de la méthode d'analyse proposée réside par contre dans l'utilisation combinée de l'ACV et de l'Emergey. Celle-ci fournit une vision plus large des effets d'un système sur son environnement. Cette démarche permet de comprendre comment le système s'y intègre et quel rôle joue ce dernier dans l'approvisionnement en ressources renouvelables (Wilfart et al., 2013). Une meilleure estimation des biens et services rendus par les territoires nous permettra d'adapter le cadre méthodologique de l'analyse environnementale à l'évaluation de systèmes territoriaux multifonctionnels (Loiseau et al., 2012). Enfin, l'utilisation des systèmes d'informations géographiques pour la réalisation d'inventaires spatialisés pourrait apporter de nouveaux éléments de réflexion pertinents dans le diagnostic environnemental et l'identification d'orientations d'aménagement plus respectueuses de l'environnement (Loiseau et al., 2012).

### **III. Interprétation des résultats de l'analyse statistique**

L'analyse statistique a mis en évidence trois types de liaison ; des corrélations entre services écosystémiques, des corrélations entre indicateurs ACV et enfin des corrélations entre indicateurs ACV et services écosystémiques.

#### **A. Liens entre les perceptions des services écosystémiques**

Les résultats des enquêtes de perceptions nous avaient permis de remarquer que les services jugés les plus importants sont les services culturels puis les services de support, les services de régulation et en dernier lieu les services de production (Tableau 5). Certains liens qui existent entre ces services sont facilement interprétables, on peut par exemple comprendre aisément que les services « zones de refuges et de nidification » et « zone de frayère et de reproduction », qui se réfèrent à des fonctions écologiques proches, soient perçus de la même manière. La figure 10 fait aussi apparaître des corrélations plus inattendues qui présentent une scission des perceptions entre les fonctions de régulation des étangs (régulation hydrologique, protection contre les incendies), leurs usages récréatifs (loisirs, chasse et pêche, paysage) et leurs fonctions de production de poissons. La corrélation négative qui existe entre le service « zone de frayère et de reproduction » et le service « Religion, culture et tradition » et la corrélation positive qui existe entre « maintien de la biodiversité » et « maintien des zones humides » laisse penser que les services de support et les services de régulation seraient à priori perçus comme une catégorie commune et plus large qui rempliraient des fonctions écologiques dont l'homme ne serait pas directement bénéficiaire. Ce résultat appuierait l'hypothèse précédente de clivage entre les trois catégories de services (culturels, production et « services écologiques ») et donnerait du sens à d'autres corrélations qui semblent plus difficilement interprétables<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Corrélation négative entre le service « chasse et pêche » et les deux services « production de plancton » et « cycle naturel des nutriments »

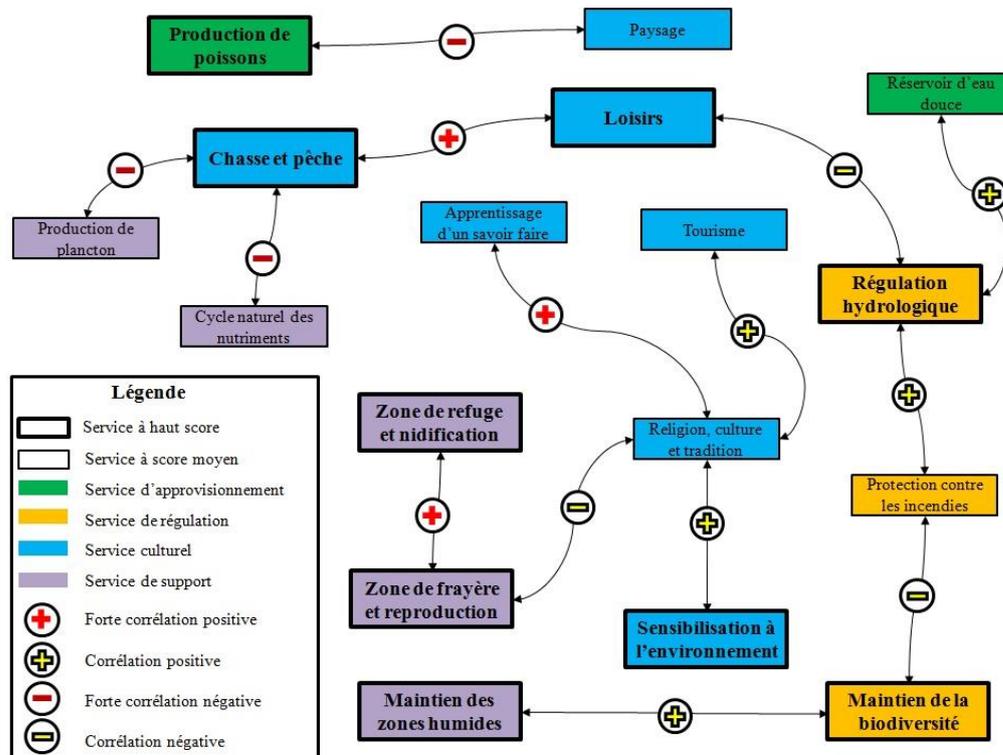


Figure 10 : Représentation des corrélations statistiques entre les perceptions des services écosystémiques rendus par les étangs

## B. Corrélations entre indicateurs d'impacts

L'analyse des corrélations entre indicateurs représente assez peu d'intérêt pour cette étude. Néanmoins, nous avons choisi de commenter quelques résultats qui concernent les corrélations entre indicateurs d'impacts d'une même méthode et certains liens qui existent entre les indicateurs Emergy et ACV.

Les indicateurs Emergy sont très fortement dépendants entre eux (10 corrélations significatives sur 15 testées) alors que pour l'ACV, les corrélations sont plus localisées entre certains indicateurs (3 corrélations concernant l'indicateur d'acidification sur 8 significatives). Les indicateurs de dommages (Santé humaine et Qualité des écosystèmes), qui agrègent tous deux, un grand nombre de données et qui indiquent des impacts plus globaux, se retrouvent également corrélés. Tout comme l'occupation du sol et la dépendance en eau, qui évaluent, sur des systèmes d'étangs, des données assez similaires. On notera ensuite, qu'il existe des liens entre l'évaluation des impacts par ACV et par Emergy (22 corrélations significatives) ce qui signifie qu'un système présentant des caractéristiques défavorables sous l'angle d'une de ces deux analyses environnementales aura de fortes chances de présenter un profil similaire avec l'autre analyse. C'est d'ailleurs ce que nous avons pu observer plus tôt, mais il arrive parfois que ça ne soit pas le cas (Wilfart et al., 2013). D'autre part, on constate que des indicateurs se recourent parfois sur l'évaluation de certains impacts, notamment pour ce qui concerne l'énergie (demande totale en énergie corrélée à 5 indicateurs Emergy sur 6 et réchauffement climatique à 3 indicateurs sur 6). Sur les 22 corrélations significatives entre indicateurs ACV et Emergy, il semble intéressant de remarquer que la transformité qui n'était liée à aucun indicateur Emergy est par contre liée aux impacts potentiels en terme

d'acidification, d'eutrophisation, et d'utilisation de production primaire nette. Cela signifie que les exploitations qui utilisent de manière intensive des énergies fossiles<sup>1</sup> ou de l'aliment<sup>2</sup>, sont parmi les moins efficaces sur le plan énergétique. Ce résultat souligne à nouveau, la nécessité de maîtriser la consommation de ces deux intrants. Enfin, nous pourrions noter, que ce sont en proportion, les systèmes les plus extensifs qui semblent les plus durables (EIS les plus hauts) et les plus résilients face à un stress économique (EYR les plus hauts).

### **C. Corrélations entre les perceptions des services écosystémiques et les résultats d'indicateurs ACV et Emergy**

Les figures 11 et 12 présentent la dernière catégorie de corrélations, c'est-à-dire celles entre les services écosystémiques ayant un score supérieur à 100 et les indicateurs ACV et Emergy liés à ces derniers. En se basant sur des éléments de la littérature, mes observations d'enquêtes et sur des interprétations personnelles, nous expliquerons dans un premier temps les relations observées avec les indicateurs ACV puis dans un deuxième temps avec les indicateurs Emergy

#### ***Liens avec les indicateurs ACV***

L'intensification de la production induit un risque supérieur d'eutrophisation du milieu, il est donc assez logique de voir ces deux éléments corrélés positivement. Les étangs ont un rôle de tampon hydraulique, ils interviennent par exemple dans l'écrêtage des crues et la rétention de l'eau dans le bassin versant (Barbe et al., 2000). La présence de ces zones humides réduit par ailleurs les risques d'incendie par rapport à des écosystèmes de plaines ou de forêt, ces points nous éclairent sur les relations 4, 5 et 6 (corrélations positives respectives entre la dépendance à l'eau et la perception des services réservoir d'eau douce, protection contre les incendies et régulation hydrologique) (Figure 11). Sur des systèmes d'étangs, la dépendance en eau et l'occupation du sol sont directement liées puisque plus une exploitation est utilisatrice de surface, plus elle mobilise un volume d'eau important. Les corrélations qui existent donc entre l'occupation du sol et la perception des services de protection contre les incendies et de régulation hydrologique sont donc aussi valables avec l'indicateur de dépendance en eau.

Les zones humides sont des milieux très productifs en termes de biodiversité et sont en constante évolution. Elles sont particulièrement exposées à différents processus de dégradation d'origines très diverses comme l'atterrissement ou le comblement, et doivent donc faire l'objet d'un entretien régulier (Tournier, 2002). Les propriétaires fonciers qui n'exploitent par leurs étangs mais qui en font un usage plus récréatif (chasse, pêche, loisirs) ne mènent en général pas d'action de conservation (curages, entretiens des ouvrages et des digues) ni de gestion hydraulique (vidanges). Cela provoque une diminution progressive du volume d'eau et à une transformation graduelle de ces surfaces en marais. En outre, certains services écosystémiques culturels comme la pratique de la chasse de pêche sont directement liés à la bonne qualité des écosystèmes. Des environnements pollués ou mal entretenus, ne

---

<sup>1</sup> Produit à haute transformité contribuant à l'acidification des milieux.

<sup>2</sup> Produit entraînant une forte UPPN et transformité, notamment s'il est à base de farines ou d'huiles de poissons.

permettent pas le maintien d'une biodiversité suffisante pour que ces lieux restent attractifs au public. Ces éléments peuvent expliquer pourquoi on retrouve les deux corrélations négatives 7 et 9. L'altération des écosystèmes peut perturber leurs fonctions de régulation du cycle des nutriments, on observe donc une corrélation positive (11) entre ces deux variables.

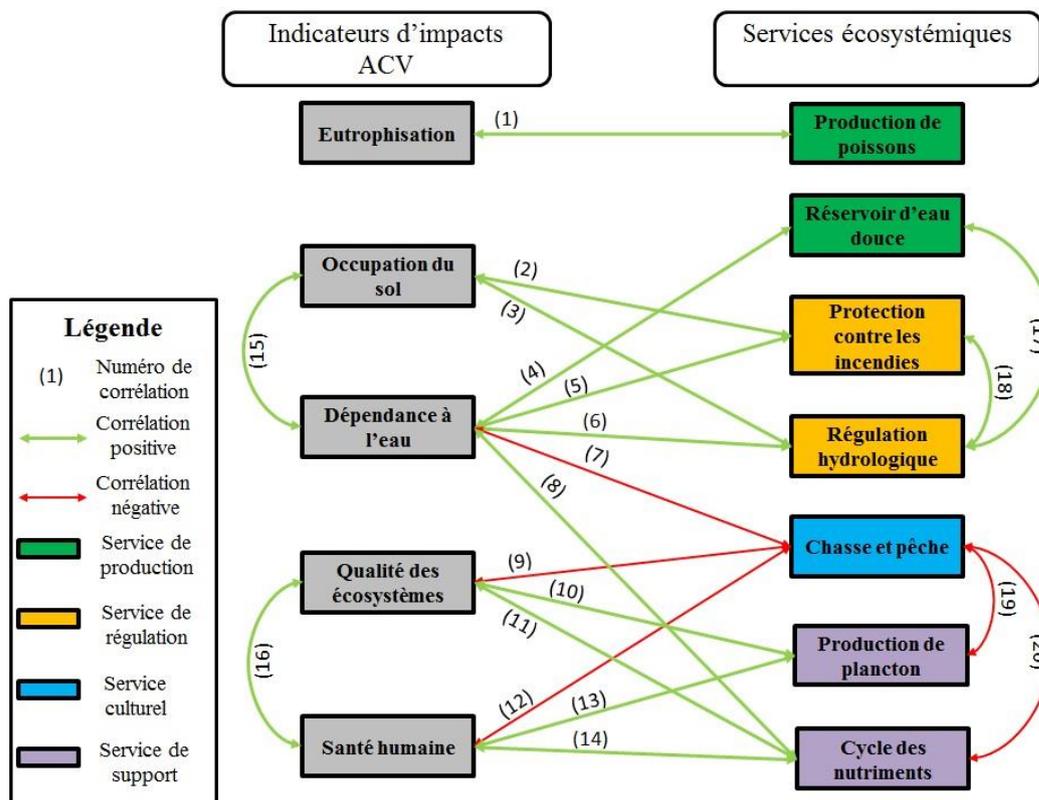


Figure 11 : Représentation des corrélations statistiques entre indicateurs d'impacts ACV et perceptions des services écosystémiques rendus par les étangs

Les indicateurs ACV « santé humaine » et « qualité des écosystèmes » sont fortement corrélés positivement (relation 16). Par ailleurs, le service de chasse et pêche qui est lié à ce dernier indicateur (relation négative 9) est aussi fortement corrélé avec les services de production de plancton et de participation au cycle naturel des nutriments (relations négatives 19 et 20) du fait de l'opposition relevée précédemment entre services écologiques et services culturels. L'ensemble de ces liens contribue à afficher des corrélations indirectes qui n'ont pas vraiment de sens, entre la réduction de l'espérance de vie en bonne santé (indicateur de santé humaine), la pratique de la chasse et de la pêche et la production de plancton au sein des étangs, (relation négative 12, et relations positives 13 et 14). La relation (14) qui lie le rôle des étangs dans le recyclage des nutriments à l'indicateur de santé humaine, aurait pu être explicable si elle avait été positive, puisque l'influence de l'ammoniac et des composés azotés est évaluée dans les impacts mesurés sur la santé humaine.

Les ACP réalisées d'autre part ne permettent pas d'apporter beaucoup plus d'informations du fait du rapport déséquilibré entre le nombre de variables et le nombre d'individus. Cette analyse offre par contre

une autre représentation graphique (Figure 8) qui met en évidence des corrélations entre certaines variables (eutrophisation et production de poissons) mais aussi des absences de corrélations entre des variables comme le service de maintien des zones humides et l'indicateur de dommages aux écosystèmes pour lesquels on pourrait intuitivement établir un lien.

### ***Liens avec les indicateurs Emergy***

Ces dernières corrélations sont plus délicates à interpréter. En effet, étant donné les liens relativement forts qui existent entre les indicateurs Emergy, il devient assez difficile de distinguer les corrélations directes avec les services écosystémiques, des corrélations indirectes. Nous resterons donc prudents sur les conclusions à tirer.

Mes enquêtes en Lorraine et les analyses précédentes ont mis en évidence différents types de gestions possibles pour un étang. Les systèmes qui se veulent les plus productifs font l'usage d'aliment, mobilisent un certain nombre d'équipements et de véhicules et nécessitent des approvisionnements relativement importants en énergies de toutes sortes. L'intensification de la production est donc orientée sur l'intensification d'un nombre limité de facteurs de production (aliment, machinerie). Par conséquent, les exploitations qui cherchent à augmenter leur productivité en se basant sur des intrants manufacturés sont parmi les moins efficaces sur le plan émergétique (Figure 12 : relations négatives 1, 6 et 10 et relations positives 4 et 8)

Certains exploitants font *a contrario* le choix d'une exploitation très extensive qui nécessite peu d'investissements financiers, humains ou matériels pour des raisons économiques ou face à des contraintes de temps. Ce mode d'exploitation affiche de moins bon rendements mais valorise en proportion une part importante de ressources d'origines renouvelables. La figure 12 signale que ces grandes exploitations à fort pourcentage de renouvelabilité sont liées à des pisciculteurs qui prêtent une grande importance au service d'approvisionnement en eau douce (relation positive 2).

Par ailleurs, une gestion extensive fait l'objet d'un suivi moins régulier et permet à l'exploitant de mener une autre activité ou de peu s'investir dans sa pisciculture. Le professionnel interrogé dans le cadre du diagnostic de PL2 est retraité, comme il le déclarait lui-même, les rares interventions réalisées sur ses étangs sont aussi des prétextes pour aller profiter de la tranquillité et du bien être procuré par ces espaces. Ce point pourrait expliquer la relation 3. De la même manière, la corrélation qui existe entre le rendement emergy et le service « paysage et attractivité » suggère que les exploitations qui laissent une place importante à l'emergy d'origine naturelle (fort EYR) sont des systèmes peu anthropisés sur lesquels les pisciculteurs souhaitent bénéficier pleinement des paysages qu'ils constituent.

La corrélation 7 indique que les systèmes caractérisés comme étant les plus durables sur le plan émergétique sont principalement des systèmes sur lesquels les pisciculteurs sont sensibilisés au rôle des

étangs dans le recyclage des nutriments (services de régulation). Ces exploitants valoriseraient donc par leurs pratiques certaines fonctionnalités naturelles des écosystèmes pour la production de biomasse de poisson.

Le service écosystémique « apprentissage d'un savoir-faire » exprime la transmission d'une culture et d'un savoir-faire répertoriant un ensemble de techniques et de pratiques ancestrales liées à l'exploitation d'étangs. Il intègre une question de travail, qui fait l'objet d'une dépense énergétique évaluée dans l'analyse energy dans le calcul des ressources économiques entrant dans le système. Le calcul de l'EIR prend en compte, à la fois le temps de travail et le niveau d'éducation des personnes employées. Un fort EIR signifie qu'un seul, ou que ces deux facteurs ne sont pas utilisés de manière efficace. La corrélation positive numéro 5 indique les exploitants qui prêtent une grande importance au service d'apprentissage d'un savoir-faire sont caractérisés par un fort EIR. Il serait intéressant de savoir si c'est la notion d'apprentissage qui est d'abord perçue par les pisciculteurs dans ce service ou la notion d'employabilité. D'autre part, il serait ensuite intéressant de vérifier si un fort EIR est effectivement dû à un niveau d'éducation disproportionné par rapport aux tâches confiées ou si cela provient d'une main d'œuvre trop importante. La notion d'apprentissage renvoie également à la fonction du système qui peut se concevoir comme la production de poissons et la transmission d'un savoir. Dans ce cas précis, nous pourrions théoriquement mesurer l'énergie investie sur l'apprentissage. Les indicateurs EIR et ELR étant très fortement corrélés (coefficient de corrélation de 1) on retrouve une relation similaire (9) entre le taux de charge environnemental et le service d'apprentissage d'un savoir-faire.

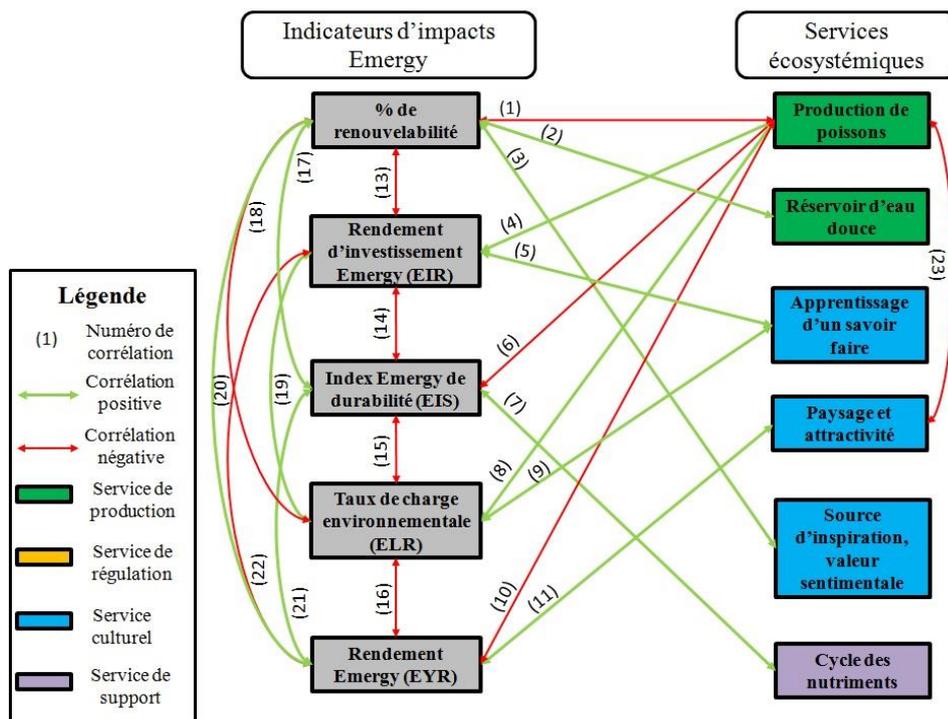


Figure 12 : Représentation des corrélations statistiques entre indicateurs d'impacts Energy et perceptions des services écosystémiques rendus par les étangs

## ***Discussion***

Au vu des résultats précédents, nous pouvons supposer que le classement des services que proposent les pisciculteurs soit lié à la proximité de ces services et leur intensité. Le pisciculteur qui exploitera par exemple une grande étendue d'eau aura plutôt tendance à évaluer favorablement le service écosystémique de réservoir en eau douce. Par conséquent, dès lors qu'il existe des corrélations statistiques entre la perception de ces services par les exploitants et les indicateurs d'impacts des fermes associées, il semble que nous soyons en mesure d'évaluer en partie, le niveau d'approvisionnement par l'environnement de ces services, ou du moins leur niveau d'exploitation par la ferme. Les indicateurs présents dans le tableau 9 font l'objet de liens pertinents avec un ensemble de services dont ils peuvent expliquer l'usage ou les potentialités d'utilisation.

Ainsi et contrairement à ce qu'avance Pizzigallo et al. (2008) l'ACV permet de comptabiliser indirectement certains bénéfices tirés des services écosystémiques tout comme l'Emergy. De plus, ces derniers ne font pas tous partie de la catégorie des services de régulation comme le déclarent Zhang et al. (2010). En outre, l'évaluation monétaire des services écosystémiques de systèmes forestiers basée sur la méthode Emergy proposée par Campbell et Brown (2012) nous conforte dans l'idée qu'il est bien possible de relier le diagnostic biotechnique d'un écosystème aux biens et services que ce dernier fournit à l'homme. Au final même si la combinaison de l'Emergy et de l'ACV permet d'apporter une réponse partielle, l'analyse ne semble tout de même pas en mesure d'évaluer l'utilisation de l'ensemble des produits et services provenant des écosystèmes. Les outils du management et de l'évaluation environnementale se devront donc dans l'avenir d'évoluer vers des approches systémiques multicritères qui soient capable de mieux capturer l'influence des services écosystémiques décrits par le MEA sur un système de production.

Cette première approche statistique a fait ressortir des liens qui existent entre la perception des services écosystémiques et les méthodes d'analyses environnementales que sont l'ACV et l'Emergy. Il est par contre nécessaire de rappeler que cette étude a été conduite sur un faible nombre d'individus. En outre, les services écosystémiques ont été ici analysés à partir de la seule perception des pisciculteurs.

Une deuxième étape serait donc d'inclure également la vision que partagent les parties prenantes des biens et services fournis par l'environnement. Par ailleurs, les indicateurs d'impacts ont été reliés à des perceptions de service écosystémiques et non pas à des évaluations issues du processus complet d'identification et de monétarisation. Si cela avait été le cas, nous aurions pu souligner avec plus de certitude les effets positifs ou négatifs qu'engendrent les systèmes de productions sur les écosystèmes et éventuellement tenter de les évaluer.

Tableau 9 : Tableau résumant les corrélations statistiquement significatives et pertinentes qui existent entre certains indicateurs ACV et certains services écosystémiques.

Indicateurs d'impacts ACV et Emergy	Services écosystémiques	Nature de la corrélation
Eutrophisation	Production de poissons	Positive
Occupation du sol et dépendance à l'eau	Protection contre les incendies Régulation hydrologique	Positive Positive
Dépendance à l'eau	Réservoir d'eau douce Chasse et pêche Participation au cycle naturel des nutriments	Positive Négative Positive
Qualité des écosystèmes	Chasse et pêche Production de plancton Participation au cycle naturel des nutriments	Négative Positive Positive
Renouvelabilité	Production de poissons Réservoir d'eau douce Source d'inspiration et valeur sentimentale	Négative Positive Positive
Rendement d'investissement Emergy et taux de charge environnementale	Production de poissons Emploi et transmission d'un savoir faire	Positive Positive
Rendement Emergy	Production de poissons Paysages et attractivité	Négative Positive
Index Emergy de durabilité	Production de poissons Cycle des nutriments	Négative Positive

#### IV. Pistes d'améliorations des systèmes étudiés

L'utilisation conjointe de l'ACV et de l'Emergy nous permet de proposer des profils environnementaux pour chacune des six piscicultures d'étangs (Figure 13). Le calcul des scores relatifs aux valeurs les plus défavorables n'est possible qu'avec des valeurs positives. Les impacts concernant l'eutrophisation ont donc dû être modifiés sur ces graphiques et sur la figure 7. Chaque exploitation s'est ainsi vue attribuée la valeur absolue de l'impact le plus faible (impact de PL2) c'est-à-dire plus 111 kg d'équivalent phosphates. Cette figure affiche trois catégories de profils que nous avons déjà pu commenter<sup>1</sup> :

- PL1 : système semi intensif très dépendant en ressources non renouvelable générant un stress environnemental modéré, ayant un caractère peu durable selon l'Emergy et émetteur de quantités significatives de molécules polluantes.
- PL3, PL4, PL2 et PL6 : systèmes semi extensif ou extensif présentant une faible charge environnementale, un stress environnemental limité, une certaine neutralité par rapport aux ressources économiques et une bonne ou moyenne efficacité énergétique. Ces exploitations

<sup>1</sup> Cf. Supra p. 48-50

engendrent en moyenne peu d'impacts sur l'environnement, excepté en termes d'UPPN pour PL6.

- PL5 : système semi extensif valorisant bien certaines fonctions écologiques et lui permettant ainsi de faire un usage peu important de ressources payantes. Exploitation qui émet peu de molécules polluantes dans le milieu mais qui est très utilisatrice de surface.

La comparaison réalisée avec la littérature a montré que ces systèmes avaient des impacts environnementaux relativement faibles. Par conséquent, dans un double objectif d'amélioration de la productivité et de maîtrise du stress environnemental causé par les systèmes, il nous est possible d'établir quelques recommandations. Tout d'abord, la maîtrise des premières phases d'élevage semble primordiale du fait de leurs fortes contributions aux impacts plus globaux du cycle. Le suivi de l'élevage et l'adaptation de la ration alimentaire aux besoins physiologiques des animaux sont deux facteurs sur lesquels il est possible de jouer. Une alimentation à base de céréale est moins coûteuse et semble préférable d'un point de vue environnemental pour l'élevage de certaines espèces d'étang. Nous n'avons par contre aucune certitude sur le fait que les poissons mangent bien ces céréales. Les investissements techniques en matériels, équipements ou véhicules ne semblent pas être des nécessités, au contraire le suréquipement et le mauvais amortissement du matériel auraient plutôt tendance à avoir des conséquences néfastes et à ne pas procurer de gains significatifs de productivité. La pluriactivité des exploitants est une possibilité supplémentaire pour amortir les équipements et diversifier les sources de revenu. La mutualisation des équipements par un ensemble de pisciculteurs sous la forme de Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA) peut aussi permettre de répondre à cette problématique.

La principale possibilité d'intensification durable (FAO, 2013b) des systèmes d'étangs semble donc être l'intensification écologique (Griffon, 2013). La valorisation du pouvoir auto-épurateur des étangs peut par exemple être amplifiée grâce à un curage et un entretien régulier de ces derniers. L'exportation locale des boues à des fins agricoles est ensuite une bonne solution pour valoriser les nutriments qui y sont stockés. Le système sera alors moins sujet aux phénomènes d'eutrophisation. Sur les systèmes les moins étendus, la construction d'une lagune est envisageable afin de stabiliser les caractéristiques chimiques de l'eau (Lin et al., 2002). L'exploitation des étangs à vocation récréative se doit aussi de préserver la biodiversité qui y trouve refuge, les paysages qu'ils constituent et afin de conserver les services écosystémiques rendus par ces zones humides. Pour ce faire, les bénéfices dégagés par les activités touristiques (pêche, chasse, bateau) proposées sur les étangs doivent être en partie réinvesties dans l'entretien (vidange, curage, etc.) de ces derniers. L'introduction d'un écotourisme sur les étangs les moins praticables (géométrie complexe) peut éventuellement s'avérer être une activité complémentaire rémunératrice pour le pisciculteur.

L'amélioration du système peut aussi se concevoir autour des interactions entre espèces et autour de la valorisation d'un grand nombre de compartiments trophiques (Schlumberger et Bouretz, 2002). Ce genre d'innovation aura pour conséquence de réduire les phénomènes de cannibalisme et ainsi d'améliorer la productivité (Schlumberger et Girard, 2013). Rappelons aussi que la préservation des écosystèmes et la mise en place de pratiques propres entraîneront une amélioration de la production planctonique et permettront de réduire la dépendance de l'exploitation à l'alimentation externe. La combinaison d'élevages intensifs et extensifs est également envisageable si l'on souhaite optimiser la surface occupée (Cirad, 2013). En outre, la bonne exploitation de la fraie naturelle (service écosystémique de production de poisson) et l'introduction d'un nombre limité de nouveaux individus peut réduire les coûts et la dépendance de la ferme aux approvisionnements extérieurs. Enfin, une approche coordonnée des exploitants à l'échelle du territoire pour répondre à des problématiques communes semble être essentielle. L'intervention programmée d'un fauconnier sur différentes zones, pourrait constituer une solution écologique parmi d'autre, pour atténuer le phénomène de prédation qui préoccupe un grand nombre d'exploitants et qui engendre des pertes conséquentes mais difficilement évaluables.

Ces quelques propositions sont des éléments de réponse pour les exploitants qui recherchent des moyens techniques pour améliorer leur productivité de manière durable et à faible coût. D'autres solutions qui relèvent d'une meilleure organisation de la filière sont aussi à envisager mais ne seront pas discutées ici. Par ailleurs, si l'objectif d'un exploitant d'étangs n'est pas fondamentalement de produire du poisson, la pisciculture peut aussi se concevoir en tant qu'activité annexe et très extensive puisqu'elle ne génère que peu de nuisances environnementales (Figure 13, profil de PL2), est peu chronophage et demande peu d'investissements financiers. Enfin, et dans tous les cas, l'acceptation sociale et surtout l'acceptation par les pisciculteurs, des innovations proposées, seront des éléments primordiaux à prendre en compte pour la bonne intégration de l'exploitation au sein du territoire.

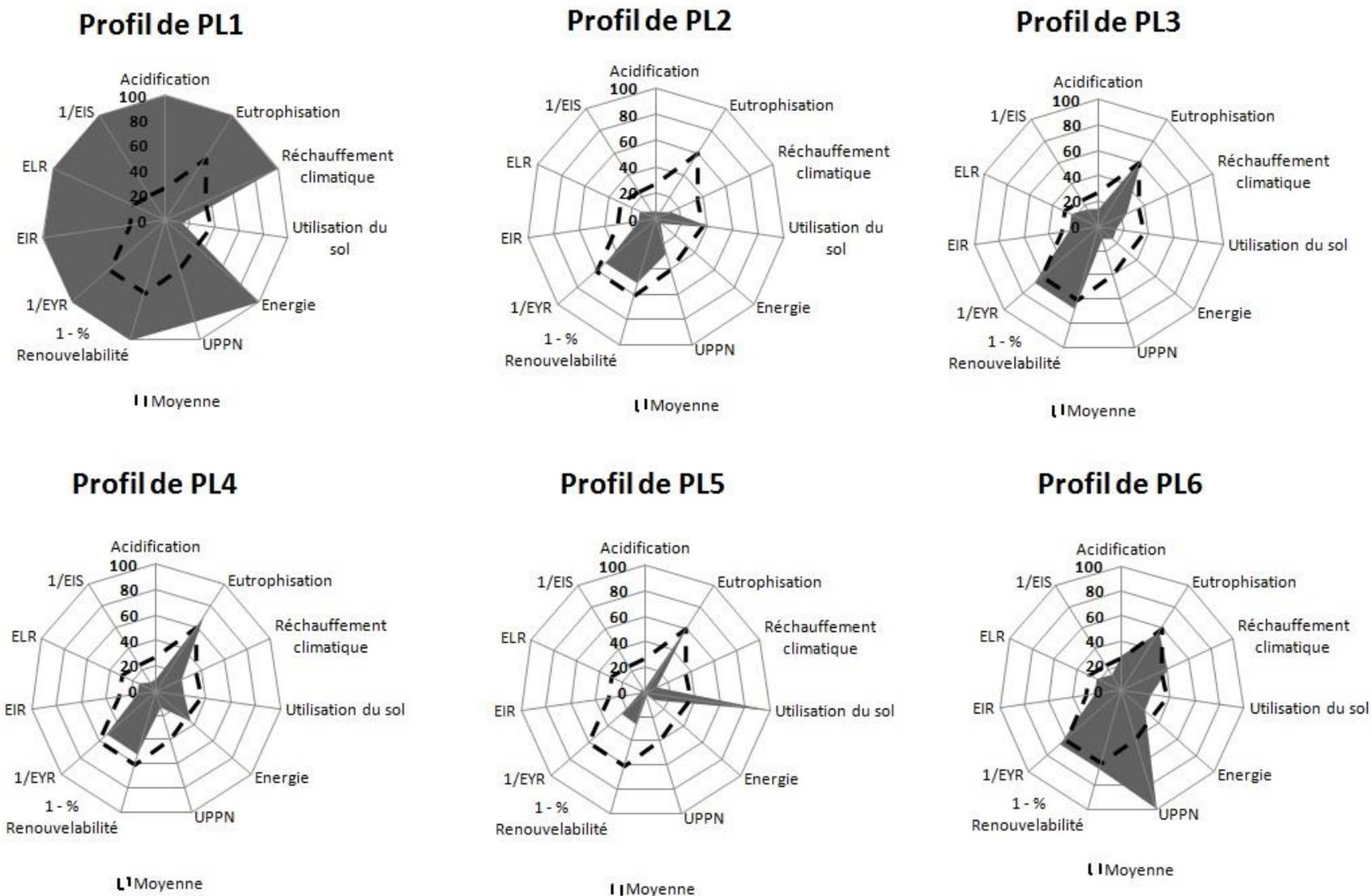


Figure 13 : Evaluation des impacts des systèmes PL1, PL2, PL3, PL4, PL5 et PL6 en pourcentage relatif par rapport au plus élevé. Indicateurs ACV calculés pour une tonne de poisson

# Conclusion

Le diagnostic environnemental des six exploitations Lorraines nous a permis d'évaluer les impacts environnementaux potentiels générés par la production de poissons d'étangs et d'identifier les éléments et processus qui contribuent le plus aux émissions polluantes. Les systèmes ont été caractérisés par la source des produits et des services qu'ils mobilisent dans un cycle de production, et sur l'efficacité avec laquelle ces derniers sont utilisés. Les systèmes les plus durables apparaissent être ceux qui priorisent la connaissance et l'usage des biens et services fournis par l'environnement. En cela, l'interprétation des résultats de l'ACV et de l'Emergy met bien en évidence les pratiques qui relèvent des principes de l'intensification écologique. Les liens établis entre les indicateurs de ces deux méthodes et la perception des services écosystémiques, nous permettent d'ailleurs, d'aller plus loin dans l'identification d'agriculture écologiquement intensives. Ces relations, qu'il faudra encore éclaircir, font ressortir des possibilités d'évaluation de l'intensification de ces services par l'ACV et l'Emergy. La meilleure intégration de l'évaluation des services écosystémiques aux outils d'analyses environnementales permettra une meilleure préservation et gestion de nos écosystèmes. Les recommandations que nous avons proposées, s'orientent sur des innovations techniques ou organisationnelles qui cherchent à prioriser l'usage des services écosystémiques aux intrants manufacturés et qui mettent en évidence la nécessité d'une approche coordonnée des acteurs à l'échelle du territoire. Les résultats des expérimentations menées au sein projet PISCEnLIT pour concrétiser expérimentalement certaines de ces adaptations, nous éclaireront sur les pistes envisageables et reproductibles permettant d'envisager durablement une augmentation de l'offre alimentaire.

Mon stage de six mois au sein de l'UMR SAS a permis de remplir partiellement les objectifs fixés initialement. Ma mission principale liée à la conduite d'enquête en LORRAINE et le traitement des résultats par la méthode de l'ACV et de l'Emergy a été menée à bien. Même si un nombre limité de personnes ont pu être interrogées, nous avons pu caractériser plusieurs modes de gestions de la pisciculture d'étang en LORRAINE, proposer des recommandations et informer les pisciculteurs des tenants et aboutissants de la recherche menée sur cette filière. Par ailleurs, l'utilisation et les améliorations apportées à l'outil PISC'n'TOOL dans le cadre de ce stage permettront à l'équipe investie dans le projet PISCEnLIT de valoriser prochainement cet outil innovant auprès de la communauté scientifique de l'analyse environnementale. Cet outil de diagnostic opérationnel, pourra également être utile aux instituts techniques dans le cadre d'analyses de systèmes aquacoles et pourra servir de support pédagogique pour présenter à différents publics les enjeux de l'évaluation environnementale. La formalisation d'une base de données permettant de relier les compartiments de la biodiversité aux services écosystémiques faisait l'objet d'une mission annexe qui nous avait été confiée à un collègue stagiaire et à moi-même. Nos premiers travaux et réflexions ont servis de support à une étudiante de M1 dont nous avons conjointement assuré la supervision et le suivi sur une mission d'une durée de deux mois. La base de données est

désormais fonctionnelle et nous permet donc d'avancer les réflexions sur les possibilités existantes lorsque l'on souhaite construire ou améliorer un système de production aquacole. La dimension internationale du projet a permis de récolter des données provenant d'Indonésie, du Brésil et de France. J'avais donc également pour objectif de synthétiser et standardiser les données issues de ces trois territoires. La combinaison des délais de réactivité assez longs de la part de certains partenaires et du respect de mon propre calendrier m'ont amené à devoir délaissier les éléments concernant les systèmes de productions Brésiliens. En revanche, la méthodologie de standardisation des données décrite dans ce rapport permettra à l'équipe du projet de traiter ces données et de les valoriser avant la fin du projet. Enfin, la comparaison des résultats de plusieurs terrains d'étude et la réflexion sur le lien entre l'ACV, l'Emergy et les services écosystémiques ne nous a pas permis de mettre en évidence une méthode simplifiée d'agrégation de ces trois types de données mais nous a permis de souligner l'existence de relations fortes entre ces différents éléments. La discussion de ces derniers résultats au regard d'éléments de la littérature permettra d'étayer le débat sur ces thématiques de recherches qui sont encore assez exploratoires et pourtant primordiales dans une optique d'usage et de préservation durable de nos écosystèmes.

Ce stage de fin d'étude a été l'occasion de mieux connaître le monde de la recherche, d'acquérir et de renforcer des compétences techniques et professionnelles. Ma participation à des séminaires de travail m'a amené à construire un réseau de contacts et m'a permis d'évoluer au sein d'équipes pluridisciplinaires. La rigueur de la rédaction de documents scientifiques, l'autonomie demandée pour la conduite des recherches, la maîtrise de méthodes et outils d'analyses environnementales contribueront à améliorer mon employabilité en constituant des atouts sur le marché du travail. Les thématiques abordées pendant ce stage ont souligné l'importance du développement de certaines filières et productions agricoles notamment dans les pays en voie de développement. Cette étude a confirmé mon intérêt pour ces filières et pour les enjeux qu'elles représentent pour ces pays.

J'ai ainsi pu préciser mon projet professionnel et orienter aujourd'hui ma recherche d'emploi dans la gestion de projet sur le domaine du développement et de la coopération internationale et sur des problématiques environnementales, agricoles et alimentaires.

# Bibliographie

ADAM Matthieu. Mise en place expérimentale d'une intensification écologique de la pisciculture d'étang. Rennes : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 2013, 40 p.

AMIGUES Jean-Pierre, CHEVASSUS-AU-LOUIS Bernard. Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques enjeux scientifiques, politiques et opérationnels. Vincennes : Onema, 2011, 172 p. ISBN 9791091047005.

AUBIN J., FONTAINE P., MASSON G., CALLIER M., REY-VALETTE H., MATHE S., MOREAU Y., TOCQUEVILLE A., CHIA E., BLANCHETON J.P., TAMASSIA S., CASACA J., TOMAZELLI O., PRIHADI T., EDIWARMAN, WILFART A., LAZARD J. Document de soumission du projet PISCEnLIT, 2009a.

AUBIN J. PAPATRYPHON E., VAN DER WERF H.M.G., CHATZIFOTIS S. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, [en ligne]. 2009b, Vol. 17, n° 3, pp. 354-361. Disponible sur : 10.1016/j.jclepro.2008.08.008 [Consulté le 09 08 2013]. ISSN 0959-6526.

AUBIN J. Life Cycle Assessment as applied to environmental choices regarding farmed or wild-caught fish. *CAB Reviews*, 2013, Vol. 8, n° 11. ISSN 1749-8848.

AUBIN J., VAN DER WERF H. M. G. Pisciculture et environnement : apports de l'analyse du cycle de vie. *Cahiers Agricultures*, 2009, Vol. 18, n° 2-3, pp. 220-226.

BANAS Damien, MASSON Gérard, LEGLIZE Lionel, PIHAN Jean-Claude. Discharge of sediments, nitrogen (N) and phosphorus (P) during the emptying of extensive fishponds: effect of rain-fall and management practices : Sediment-water interaction 12. *Hydrobiologia*, 2002, Vol. 472, pp. 29-38. ISSN 0018-8158.

BANAS D. Incidence des piscicultures extensives du bassin-versant de l'étang de Lindre : marqueurs et phases caractéristiques. Rapport de DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies). Metz : Université de Metz et ENSAIA, 1997, 27 p.

BARBE J., SCHLUMBERGER O., BOURETZ N. Evaluation de la production piscicole potentielle des étangs. *Revue EAT normal*, 2000, n° 22, pp. 49 à 62.

BASTIANONI S., MARCHETTINI N., PANZIERI M., TIEZZI E. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 2001, Vol. 9, n° 4, pp. 365-373.

BASSET-MENS Claudine, VAN DER WERF Hayo M.G. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [en ligne]. 2005, Vol. 105, n° 1-2, pp. 127-144. Disponible sur : 10.1016/j.agee.2004.05.007 [Consulté le 27 08 2013]. ISSN 0167-8809.

BELHAMITI N., MATHE S., REY-VALETTE H., GARDEUR, J.N., AUBIN J. Analyse des enquêtes réalisées au Brésil, et en Indonésie et en France : Typologie et diagnostics des terrains. Communication personnelle, 2011. 189 p.

BILLARD R. La polyculture en étang. In : *La Pisciculture en Etang*. Paris : INRA, 1980, 439 p.

BOISSY J., AUBIN J., DRISSI A., VAN DER WERF H. M. G., BELL G. J., KAUSHIK S. J. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture*, [en ligne]. 2011, Vol. 321, n° 1-2, pp. 61-70. Disponible sur : 10.1016/j.aquaculture.2011.08.033 [Consulté le 14 08 2013]. ISSN 0044-8486.

BONNY S. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cahiers Agricultures*, 2011, Vol. 20, n° 6, pp. 451-462.

BROWN M. T., ULGIATI S. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, [en ligne]. 2004, Vol. 178, n° 1-2, pp. 201-213. Disponible sur : 10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002 [Consulté le 06 05 2013]. ISSN 0304-3800.

CAMPBELL E. T., BROWN M. T. Environmental accounting of natural capital and ecosystem services for the US National Forest System. *Environment, Development and Sustainability*, [en ligne]. 2012, Vol. 14, n° 5, pp. 691-724. Disponible sur : [10.1007/s10668-012-9348-6](https://doi.org/10.1007/s10668-012-9348-6) [Consulté le 13 08 2013]. ISSN 1387-585X, 1573-2975.

CASTELLINI C., BASTIANONI S., GRANAI C., BOSCO A. D., BRUNETTI M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en ligne], 2006, Vol. 114, n°2-4, p. 343-350. Disponible sur : [10.1016/j.agee.2005.11.014](https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.014) [Consulté le 21 08 2013]. ISSN 0167-8809.

CIRAD. Intensification écologique de l'aquaculture tropicale. [en ligne]. Disponible sur : <http://wlp.fr/130090> [Consulté le 20 08 2013].

COMMISSION DE TERMINOLOGIE. Arrêté du 20 septembre 1993 RELATIF A LA TERMINOLOGIE DE L'AGRICULTURE. *Journal Officiel*, 256, 4 novembre 1993, 15265p. Disponible sur : [http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo\\_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19931104&pageDebut=15265&pageFin=&pageCourante=15265#](http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19931104&pageDebut=15265&pageFin=&pageCourante=15265#) [Consulté le 11 09 2013].

COMMISSION EUROPÉENNE. Le rôle de la nature dans le changement climatique. [en ligne]. Disponible sur : [http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change\\_FR.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Nature%20and%20Climate%20Change/Nature%20and%20Climate%20Change_FR.pdf) [Consulté le 11 09 2013].

CONSEIL RÉGIONAL DES PAYS DE LA LOIRE. Site du Conseil régional des Pays de la Loire: Pisciculture en étang : un potentiel sous-exploité. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.economie.paysdelaloire.fr/economie/2011/mars/detail-article/n/pisciculture-en-etang-un-potentiel-sous-exploite/> [Consulté le 07 08 2013].

COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R. V., PARUELO J., RASKIN R. G., SUTTON P., VAN DEN BELT M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, [en ligne]. 1997, Vol. 387, n° 6630, pp. 253-260. Disponible sur : [10.1038/387253a0](https://doi.org/10.1038/387253a0) [Consulté le 03 05 2013]. ISSN 0028-0836.

DE GROOT R. S., WILSON M. A., BOUMANS R. M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, [en ligne]. 2002, Vol. 41, n° 3, pp. 393-408. Disponible sur : [10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7) [Consulté le 03 05 2013]. ISSN 09218009.

EWOUKEM T. E., AUBIN J., MIKOLASEK O., CORSON M. S., EYANGO M. T., TCHOUMBOUE J., VAN DER WERF H. M. G., OMBREDANE D. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Journal of Cleaner Production*, [en ligne]. 2012, Vol. 28, pp. 208-214. Disponible sur : [10.1016/j.jclepro.2011.11.039](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.039) [Consulté le 01 08 2013]. ISSN 0959-6526.

FAO. Des petits étangs font toute la différence. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/003/x7156f/x7156f02.htm> [Consulté le 07 08 2013a].

FAO. Intensification durable des cultures. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi/fr/> [Consulté le 03 08 2013b].

FLAC. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.flacaqua.fr/> [Consulté le 06 08 2013].

GRIFFON Michel. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Quaeed. Versailles : s.n., 2013, . ISBN 9782759218967 2759218961.

JOLLIET O., MÜLLER-WENK R., BARE J., BRENT A., GOEDKOOP M., HEIJUNGS R., ITSUBO N., PEÑA C., PENNINGTON D., POTTING J., REBITZER G., STEWART M., HAES H. U., WEIDEMA B. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [en ligne]. 2004, Vol. 9, n° 6, pp. 394-404. Disponible sur : [10.1007/BF02979083](https://doi.org/10.1007/BF02979083) [Consulté le 19 07 2013]. ISSN 0948-3349, 1614-7502.

JOLLIET Olivier, SOUCY Gabrielle, HOUILLON Grégory. Analyse du cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2010. ISBN 9782880748869 2880748860.

- LIMA J. S. G., RIVERA E. C., FOCKEN U. Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaraíra Lagoon, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, [en ligne]. 2012, Vol. 35, pp. 194-202. Disponible sur : 10.1016/j.jclepro.2012.05.009 [Consulté le 19 07 2013]. ISSN 0959-6526.
- LIN Y. F., JING S. R., LEE D. Y., WANG T. W. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture*, [en ligne]. 2002, Vol. 209, n° 1-4, pp. 169-184. Disponible sur : 10.1016/S0044-8486(01)00801-8 ISSN 0044-8486 [Consulté le 28 08 2013].
- LOCH Melaine. Diagnostic environnemental par Analyse du Cycle de Vie des systèmes de production piscicole en étang : Cas de la Brenne. MFE. Université de Rennes 1, 2011, 40 p.
- LOISEAU Eléonore, JUNQUA Guillaume, ROUX Philippe, MAUREL Pierre, BELLON-MAUREL Véronique. Evaluation environnementale de territoires: apports, limites et adaptation du cadre méthodologique de l'Analyse du Cycle de Vie. [en ligne]. Troyes : s.n., 2012, pp. 8. Disponible sur : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00811194/> [Consulté le 14 08 2013].
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC : Island Press, 2005a, 137 p. . ISBN 1597260401.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC : World Resources Institute, 2005b, 68 p. .ISBN 1569735972.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (PROGRAM). *Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC : Island Press, 2005, 917 p. (The millennium ecosystem assessment series, v. 1). ISBN 1559632275.
- NATURAL CAPITAL PROJECT - Home. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.naturalcapitalproject.org/> [Consulté le 18 07 2013].
- ODUM H. T. *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. New York : Wiley, 1996, 370 p. ISBN 0471114421
- ODUM H. T. *Fundamentals of ecology*. 5th eded. Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole, 2005, 598 p. ISBN 0534420664.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE LA STANDARDISATION. EN ISO 14040 : 2006 - Management environnemental. – Analyse du Cycle de Vie – Principes et Cadre.
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, DÉPARTEMENT DES PÊCHES ET DE L'AQUACULTURE. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2012*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2012. ISBN 9789252072256 925207225X.
- PAILLARD S., TREYER S., DORIN B. *Agrimonde: scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050*. Versailles : Quae, 2010, 295 p. (Matière à décider) . ISBN 9782759208883.
- PELLETIER Nathan, TYEDMERS Peter. Life Cycle Assessment of Frozen Tilapia Fillets From Indonesian Lake-Based and Pond-Based Intensive Aquaculture Systems. *Journal of Industrial Ecology*, [en ligne]. 2010, Vol. 14, n° 3, pp. 467-481. Disponible sur : 10.1111/j.1530-9290.2010.00244.x ISSN 1088-1980. [Consulté le 27 08 2013].
- PELTIER Jean-Louis, KOLLEN Antoine. La filière Pisciculture d'étang – descriptif general. [en ligne]. Rapport de la Chambre d'Agriculture de l'Ain. Lieu non défini, Chambre d'agriculture de l'Ain, 6 p. Disponible sur [http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/02232/\\$File/CATALOG%20FILIERES%20fil%20pisciculture tang.pdf?OpenElement](http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/02232/$File/CATALOG%20FILIERES%20fil%20pisciculture tang.pdf?OpenElement). [Consulté le 14 08 2013].
- PIERRE Dominique, ALBIGÈS Christian. *La pisciculture d'étang: une voie de diversification*. S.l. : Editions Quae, 1992, 56 p. ISBN 9782853622851.
- PISCENLIT - Accueil. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.piscenlit.org/> [Consulté le 19 07 2013].

PIZZIGALLO A.C.I., GRANAI C., BORSA S. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, [en ligne]. 2008, Vol. 86, n° 2, pp. 396-406. Disponible sur : [10.1016/j.jenvman.2006.04.020](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.020) [Consulté le 18 07 2013]. ISSN 0301-4797.

PRUDHOMME Jehane. *Analyse de l'efficience et de l'intégration environnementale de différents systèmes de productions aquacoles*. MFE. Rennes :Agrocampus Ouest, 2010, 55 p.

SCHLUMBERGER Olivier, GIRARD Patrick. *Mémento de pisciculture d'étang*. [en ligne]. Disponible sur : <http://site.ebrary.com/id/10701923> [Consulté le 27 08 2013].

SCHLUMBERGER Olivier. *Mémento de pisciculture d'étang*. Antony : Cemagref, 1998, 238 p. . ISBN 2853624897 9782853624893.

SCHLUMBERGER O., BOURETZ N. Réseaux trophiques et production piscicole en étangs fertilisés (Dordogne, France). *Revue des sciences et de l'eau* [en ligne], 2002, Vol. 15, n°1, 177 p. Disponible sur : [10.7202/705445ar](https://doi.org/10.7202/705445ar) [Consulté le 21 08 2013].

SCHWARTZ Daniel. *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Paris : Flammarion Médecine-Sciences, 1996, . ISBN 2257123263 9782257123268.

SUKHDEV Pavan. The economics of ecosystems and biodiversity mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. [S.l.] : TEEB, 2010, . ISBN 9783981341034 3981341031.

SYNDICAT DES EXPLOITANTS PISCICOLES DE LA BRENNE. *Présentation des résultats de l'étude et du Plan d'actions*, 2011. Document prospectus, 30 pages.

SYSTERRA | ANR - Agence Nationale de la Recherche. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/appele-detail/systerra-2008/> [Consulté le 19 07 2013].

TOUCHART Laurent. *Géographie de l'étang: des théories globales aux pratiques locales*. S.l. : L'Harmattan, 2007, 230 p. ISBN 9782296029361.

TOURNIER Eric. *Etangs et marais. Aménagements, entretien, chasse*. S.l. : Le gerfaut, 2002, 176 p. ISBN 9782914622141.

WESTMAN W. E. How Much Are Nature's Services Worth? *Science*, [en ligne]. 1977, Vol. 197, n° 4307, pp. 960-964. Disponible sur : [10.1126/science.197.4307.960](https://doi.org/10.1126/science.197.4307.960) [Consulté le 03 05 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203.

WILFART A., CORSON M.I, AUBIN J. La méthode EMERGY : principes et application en analyse environnementale des systèmes agricoles et de production animale. *INRA Production Animale*, 2012a, Vol. 25, n° 1, pp. 57-66.

WILFART A., MERLE T., MATHÉ S., AUBIN J. An operational tool for assessing sustainability of fish farming : PISC'n'TOOL. 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector. Rennes, 2012b.

WILFART A., PRUDHOMME J., BLANCHETON J.P., AUBIN J. LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological intensification. *Journal of environmental management*, [en ligne]. 2013, Vol. 121. Disponible sur : [10.1016/j.jenvman.2013.01.031](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.031) [Consulté le 05 07 2013] ISSN 1095-8630.

WILLIAMS A. G., AUDESLEY E., SANDARS D. L. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities, [en ligne]. Final report to Defra on project ISO205. Bedford : Cranfield University and Defra, 2006. Disponible sur <http://www.fsli.org/filelibrary/energy.&enviro.burdens.pdf> [Consulté le 27 08 2013].

WORM B., BARBIER E. B., BEAUMONT N., DUFFY J. E., FOLKE C., HALPERN B. S., JACKSON J. B. C., LOTZE H. K., MICHELI F., PALUMBI S. R., SALA E., SELKOE K. A., STACHOWICZ J. J., WATSON R.. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science*, [en ligne]. 2006, Vol. 314, n° 5800, pp. 787-790. Disponible sur : [10.1126/science.1132294](https://doi.org/10.1126/science.1132294) [Consulté le 17 07 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203.

ZHANG L. X., ULGIATI S., YANG Z. F., CHEN B. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. *Journal of Environmental Management*, [en ligne]. 2011, Vol. 92, n° 3, pp. 683-694. Disponible sur : [10.1016/j.jenvman.2010.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.005) [Consulté le 17 07 2013] ISSN 0301-4797.

ZHANG Y., SINGH S., BAKSHI B. R. Accounting for Ecosystem Services in Life Cycle Assessment, Part I: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, [en ligne]. 2010, Vol. 44, n° 7, pp. 2232-2242. Disponible sur : [10.1021/es9021156](https://doi.org/10.1021/es9021156) [Consulté le 06 05 2013]. ISSN 0013-936X, 1520-5851.

# Glossaire

**Analyse du Cycle de Vie** : méthode normalisée qui permet d'établir des diagnostics environnementaux de produits ou de services en relation à une fonction particulière et en considérant toutes les étapes de son cycle de vie

**Analyse en Composante Principale** : Méthode statistique multivariée permettant de décrire des nuages de points et de rechercher des composantes de la variation observée.

**Aquaécosystème** : Ensemble des acteurs et des espaces présent au sein de l'ensemble d'un système de production, d'un système de régulation et d'un territoire.

**Astaciculteurs** : Producteur d'écrevisses.

**Benthos** : ensemble des organismes aquatiques qui vivent à proximité du fond des mers, océans, lacs, étangs, cours d'eau etc.

**Emergy** : méthode d'analyse environnementale quantitative basée sur les principes de la thermodynamique qui permet de mesurer l'ensemble des besoins en énergie pour obtenir un produit.

**Pélagos** : ensemble des organismes aquatiques qui occupent une colonne d'eau à la profondeur la plus proche de la surface.

**Processus ACV** : Etapes, flux de matière ou d'énergie ou éléments entrant dans la fabrication d'un produit ou d'un service.

**Service écosystémique** : bénéfices que les populations tirent des écosystèmes et qui tendent à contribuer au bien-être humain.

**Technosphère** : partie physique de l'environnement résultant de l'activité humaine.

**Unité Fonctionnelle** : fonction du système étudié sur la base de laquelle des *scénarii* peuvent être comparés.

# Annexes

## Table des annexes

Annexe 1 : Listes des services écosystémiques fournis par les étangs issue de Millenium Ecosystem Assessment, 2005b

Annexe 2 : Partenaires du projet PISCEnLIT

Annexe 3 : Résultats de l'analyse des corrélations entre indicateurs ACV et Emergy.

**Annexe 1 : Listes des services écosystémiques  
fournis par les étangs issue de Millenium  
Ecosystem Assessment, 2005b**

Tableau annexe 1 : Liste des services écosystémiques fournis par les zones humides (Millenium Ecosystem Assessment, 2005b)

<b>Table 1. ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY OR DERIVED FROM WETLANDS</b>	
<b>Services</b>	<b>Comments and Examples</b>
<b>Provisioning</b>	
Food	production of fish, wild game, fruits, and grains
Fresh water <sup>a</sup>	storage and retention of water for domestic, industrial, and agricultural use
Fiber and fuel	production of logs, fuelwood, peat, fodder
Biochemical	extraction of medicines and other materials from biota
Genetic materials	genes for resistance to plant pathogens, ornamental species, and so on
<b>Regulating</b>	
Climate regulation	source of and sink for greenhouse gases; influence local and regional temperature, precipitation, and other climatic processes
Water regulation (hydrological flows)	groundwater recharge/discharge
Water purification and waste treatment	retention, recovery, and removal of excess nutrients and other pollutants
Erosion regulation	retention of soils and sediments
Natural hazard regulation	flood control, storm protection
Pollination	habitat for pollinators
<b>Cultural</b>	
Spiritual and inspirational	source of inspiration; many religions attach spiritual and religious values to aspects of wetland ecosystems
Recreational	opportunities for recreational activities
Aesthetic	many people find beauty or aesthetic value in aspects of wetland ecosystems
Educational	opportunities for formal and informal education and training
<b>Supporting</b>	
Soil formation	sediment retention and accumulation of organic matter
Nutrient cycling	storage, recycling, processing, and acquisition of nutrients

<sup>a</sup> While fresh water was treated as a provisioning service within the MA, it is also regarded as a regulating service by various sectors.

## **Annexe 2 : Partenaires du projet PISCEnLIT**

Tableau annexe 2 : Partenaires du projet PISCEnLIT

<u>France</u>	
CIRAD (Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement) – Montpellier (34)	
IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) – Palavas-les-flots (34)	
INRA (Institut National des Recherches Agronomique) – Rennes (35).	
IRD (Institut de Recherche pour le Développement) – Montpellier (34)	
ITAVI (Institut Technique d'AViculture) – Rouen (76)	
Lycée agricole du Haut-Anjou – Château-Gontier (53)	
Université de Lorraine – URAFPA, Nancy (54)	
Université Montpellier 1 – Laboratoire Montpellierain d'Economie théorique et appliquée, Montpellier (34)	
<u>Indonésie</u>	
BBAT Jambi (Jambi Freshwater Aquaculture Development Center) – Centre de Développement de l'aquaculture d'eau douce de Jambi	
RIFA (Research Institut for Freshwater Aquaculture) – Centre de Recherche pour l'Aquaculture d'eau douce	
<u>Brésil</u>	
EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuaria e Extensão Rural de Santa Catarina) – Société de Recherche Agro pastorale et de développement Agricole de l'Etat du Santa Catarina	

**Annexe 3 : Résultats de l'analyse des  
corrélations entre indicateurs ACV et  
Emergy**

**Tableau annexe 3 : Résultats de l'analyse de corrélation entre 9 indicateurs ACV**

Indicateurs ACV	Acidification	Qualité des écosystèmes	Demande totale en énergie	Eutrophisation	Réchauffement climatique	Santé humaine	Occupation du sol	UPPN	Dépendance en eau
Acidification		-0,23	0,89	0,82	0,86	-0,24	0,26	0,29	-0,12
Qualité des écosystèmes	-0,23		-0,17	-0,18	-0,26	1,00	-0,21	-0,10	0,03
Demande totale en énergie	0,89	-0,17		0,71	0,93	-0,20	0,33	0,26	-0,14
Eutrophisation	0,82	-0,18	0,71		0,64	-0,20	0,21	0,27	-0,16
Réchauffement climatique	0,86	-0,26	0,93	0,64		-0,28	0,34	0,30	-0,15
Santé humaine	-0,24	1,00	-0,20	-0,20	-0,28		-0,20	-0,11	0,08
Occupation du sol	0,26	-0,21	0,33	0,21	0,34	-0,20		-0,17	0,64
UPPN	0,29	-0,10	0,26	0,27	0,30	-0,11	-0,17		-0,11
Dépendance en eau	-0,12	0,03	-0,14	-0,16	-0,15	0,08	0,64	-0,11	

**Tableau annexe 4 : Résultats de l'analyse de corrélation entre 6 indicateurs Emergy**

Indicateurs Emergy	EIR	EIS	ELR	EYR	% Renouvelabilité	Transformité
EIR		-0,38	1,00	-0,53	-0,76	0,02
EIS	-0,38		-0,38	0,96	0,78	-0,10
ELR	1,00	-0,38		-0,53	-0,75	0,01
EYR	-0,53	0,96	-0,53		0,91	-0,14
% Renouvelabilité	-0,76	0,78	-0,75	0,91		-0,14
Transformité	0,02	-0,10	0,01	-0,14	-0,14	

Tableau annexe 5 : Résultats de l'analyse des corrélations entre 9 indicateurs ACV et 6 indicateurs Emergy

Emergy et ACV	Acidification	Qualité des écosystèmes	Demande totale en énergie	Eutrophisation	Réchauffement climatique	Santé humaine	Occupation du sol	UPPN	Dépendance en eau
EIR	0,32	-0,13	0,37	0,20	0,35	-0,14	-0,32	0,30	-0,20
EIS	-0,39	0,07	-0,40	-0,35	-0,42	0,11	0,42	-0,24	0,75
ELR	0,32	-0,13	0,37	0,19	0,34	-0,15	-0,32	0,29	-0,20
EYR	-0,47	0,07	-0,47	-0,40	-0,48	0,09	0,36	-0,33	0,58
% Renouvelabilité	-0,57	0,18	-0,57	-0,46	-0,58	0,20	0,28	-0,46	0,42
Transformité	0,46	-0,13	0,27	0,62	0,34	-0,13	0,03	0,46	0,06





THEME : Recherche/Développement

**Analyse écosystémique des étangs, cas de la Lorraine :**

Utilisation de l'analyse de cycle de vie et de l'Emergy pour une analyse des services écosystémiques et des performances environnementales d'étangs aquacoles.

**Ecosystemic analysis of ponds, case of Lorraine :**

Use of life cycle assessment and Emergy assessment to analyze ecosystem services and environmental performance of pond farms.

Mots-clés : Analyse environnementale, pisciculture, étang, ACV, Emergy

Key words : Environmental analysis, fish farming, pond, LCA, Emergy

**Résumé :**

Les systèmes agricoles et aquacoles devront faire l'objet d'une intensification écologique pour répondre à la demande alimentaire croissante et au rôle de l'agriculture dans l'approvisionnement en biocarburants et en fibres. Le programme de recherche PISCEnLIT cherche à mettre en évidence des systèmes aquacoles plus efficaces, adaptés à leur territoire et plus respectueux de l'environnement. L'utilisation combinée de l'analyse de cycle de vie (ACV) et de l'Emergy a permis de réaliser un diagnostic environnemental de six piscicultures Lorraines. La comparaison de ces systèmes à des fermes Indonésiennes a ensuite été proposée dans le rapport de synthèse. Ces études révèlent que les exploitations les plus respectueuses de l'environnement priorisent l'utilisation de ressources et de processus d'origines naturelles, à l'usage intensif d'intrants manufacturés. Elles réalisent aussi un suivi de leurs stocks et alimentent peu leurs étangs. Les systèmes les plus extensifs ont des impacts relativement faibles sur l'environnement, par tonne de poisson produite. Les choix pratiques, les innovations techniques et les adaptations organisationnelles proposées, constituent un ensemble de suggestions pour améliorer les systèmes étudiés afin de les rendre plus productifs et plus respectueux de leur environnement. Enfin des corrélations statistiques mises en évidence entre résultats d'indicateurs ACV, Emergy et les perceptions qu'ont les pisciculteurs des services écosystémiques nous éclairent sur les possibilités de comptabilisation de certains services par les méthodes d'analyses environnementales.

**Abstract :**

Agricultural and fish-farming systems will have to adopt principles of ecological intensification to meet increasing demand for food, biofuel, and fiber. PISCEnLIT is a research project aiming to identify more efficient, integrated and environmentally friendly fish-farming systems. The combined use of life cycle assessment (LCA) and Emergy assessment produced an environmental analysis of six pond-based fish farms from Lorraine. These systems were then compared to Indonesian farms in the summary report. Results revealed that the most environmentally friendly farms prefer to use natural resources and processes rather than manufactured inputs. They also reveal that these farms monitor their fish stocks closely and thus do not need to feed them as much. The most extensive systems have relatively low environmental impacts per ton of fish produced. Practical choices, technical innovations and organizational adjustments are proposed for improving the systems studied to increase their productivity in an environmentally friendly way. Finally, statistical correlations between LCA and Emergy indicators and fish-farmer perceptions of ecosystem services highlight the ability to assess certain ecosystem services using methods of environmental accounting.

Nombre total de volumes : 1

Nombre total de pages du document principal : 68

**Demandeur :**

Institut National de la Recherche Agronomique - Unité mixte de Recherche : Sol, Agro et hydrosystème Spatialisation