



HAL
open science

Comprendre les interactions entre la pisciculture et l'environnement

Joël Aubin

► **To cite this version:**

Joël Aubin. Comprendre les interactions entre la pisciculture et l'environnement. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Rennes 1, 2015. tel-02796667

HAL Id: tel-02796667

<https://hal.inrae.fr/tel-02796667>

Submitted on 5 Jun 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Dossier de Candidature
à
l'Habilitation à Diriger des Recherches

Université de Rennes 1

*Comprendre les interactions
entre la pisciculture et l'environnement*

Candidat : Joël Aubin
Ingénieur de Recherche INRA

UMR 1069 INRA Agrocampus Ouest
Sol Agro et hydrosystème Spatialisation – SAS

Habilitation à Diriger les Recherches,

Présentée à Agrocampus Ouest, le 13 Mars 2015,

Devant le jury :

Catherine Mariojouis,

Professeure AgroParisTech, Rapporteur

Patrick Kestemont,

Professeur Université de Namur, Rapporteur

Alexander Wezel,

Professeur ISARA, Lyon, Rapporteur

Benoît Fauconneau,

Directeur de Recherche, INRA, Bordeaux

Hervé Le Bris,

Professeur Agrocampus Ouest, Rennes

Daniel Cluzeau,

Maitre de Conférence HDR, Université de Rennes 1.



Sempé, 1987. L'ensemble instrumental,
extrait de l'album « Luxe, calme et volupté »

Préface et remerciements

Qui aurait dit que je passerais un jour une Habilitation à Diriger des Recherches ?

Je n'avais pas calculé, pas fait de plan de carrière, pas choisi à dessein des sujets porteurs... J'avais juste choisi l'aquaculture et commencé à mettre un doigt dans la recherche, timidement, par la petite porte : celle qui consiste à servir, à soutenir, en organisant les moyens nécessaires aux programmes scientifiques.

Et puis de fil en aiguille je me suis retrouvé à l'UMR SAS et finalement à animer une équipe scientifique.

Ce parcours, il a été riche ! Riche des expériences, des lieux, des idées qui l'ont traversé ; mais surtout riche des personnes rencontrées. Je ne me suis pas « fait tout seul ». Mes travaux sont toujours le résultat de collaborations.

D'abord, avec des équipes techniques, dont il faut savoir écouter les points de vue, intégrer les connaissances pratiques, les savoir-faire et les contraintes. Je l'ai appris depuis mon expérience de VSN en Côte d'Ivoire, à pêcher dans les étangs de Layo avec les ouvriers de la station. Je l'ai appris depuis mon rôle de gestionnaire des installations d'élevage de l'Unité de Physiologie des Poissons de l'INRA de Rennes. Je l'ai appris depuis mon rôle de directeur de la SEMII avec ses équipes de Sizun et de Camaret en eau douce et en eau de mer. Et même à Rennes, dans les étangs du Rheu. Savoir écouter pour comprendre et décider. De vous tous j'ai appris l'aquaculture de l'intérieur, en partageant vos efforts, vos journées, les coups durs et les réussites.

Avec les scientifiques bien sûr. Quelle chance, tout de même, d'avoir pu collaborer avec des érudits de tant de disciplines, des physiologistes de la reproduction, de la croissance, du muscle, de l'adaptation et du stress ; des nutritionnistes, des généticiens ... et par la suite, des sciences de l'environnement, de l'écologie, des sciences sociales... ! J'ai tant appris à votre contact (et je continue). Vous avez nourri mes réflexions, suscité ma curiosité, et orienté ma créativité. Ma seule ambition était de vous apporter mon aide et en retour j'ai tant reçu ! C'est de tous ces travaux avec vous, que j'ai tiré la capacité d'orienter mes propres travaux, d'organiser mes idées et une connaissance large des questions scientifiques associées à la pisciculture. Alors, c'était inévitable, toutes ces expériences croisées ont induit mon goût pour le multidisciplinaire, le croisement des savoirs, les interactions. L'Analyse du Cycle de Vie par son caractère multicritère et sa capacité de synthèse de systèmes complexes et de connaissances multiples, en lien directe avec les performances des systèmes de production, était la méthode qui me fallait. Elle donne un cadre scientifique à une réflexion sur les systèmes et un champ d'approfondissement pouvant aller jusqu'à l'analyse des mécanismes. Alors, c'est vrai, je suis redevable à cette équipe et cette unité de recherche qui m'ont accueilli (avec mes poissons sous le bras), appris, aidé et avec qui, il est tellement agréable de collaborer. Je n'oublie pas non plus tous les étudiants qui ont suivi mes cours et subi mes encadrements.

Les rencontres, elles se sont poursuivies aussi avec des projets sur la durabilité de la pisciculture, puis sur son intensification écologique. D'autres partenaires, d'autres collègues et aussi d'autres horizons : Brésil, Thaïlande, Inde, Indonésie, Chypre, Cameroun, ... Quelle chance encore, d'avoir pu se confronter à tous ces contextes et de rencontrer toutes ces personnes dans leur quotidien de producteurs ou de scientifiques !

Il ne faut pas oublier aussi tous les partenaires français des filières, du développement, et les producteurs qui ont acceptés de se faire déranger par des questions parfois indiscretes et des résultats pas toujours optimistes.

Alors à chacun, je dois un MERCI qui n'est pas mesurable. J'espère que vous vous retrouverez dans ces lignes, où je n'ai cité personne de peur d'oublier un seul d'entre vous.

Vous trouverez dans ces lignes une maigre part de ma reconnaissance, et dans ce document quelques éléments de « l'itinéraire d'un enfant gâté ».

Présentation du candidat

Joël AUBIN

Né le 24 Février 1967, Paris XIV

Marié, deux enfants

Adresse professionnelle : UMR 1069 Sol Agronomie et Spatialisation
65 rue de Saint Briec tél. : 02 23 48 70 42
CS 84215 Fax : 02 23 48 54 30
35 042 Rennes cedex e.mail : joel.aubin@rennes.inra.fr

**Statut : Ingénieur de Recherche de l'INRA, 1^{ère} Classe,
Institut National de la Recherche Agronomique**

Depuis Janvier 2012 : Animateur de l'équipe ASAE, AnalySe Agro-Environnementale des systèmes culture élevage

- Chargé de la mise en œuvre du projet d'équipe
- Organisation des réflexions stratégiques sur les orientations de l'équipe
- Organisation des réflexions sur les choix budgétaires
- Mise en place d'une dynamique d'équipe
- Membre du Comité de Direction de l'UMR SAS

Depuis Septembre 2003 : UMR SAS, Rennes

Missions principales :

- Ingénieur spécialisé en analyse environnementale des systèmes de production animaux. En particulier : développement de la méthode Analyse du Cycle de Vie des produits adapté au contexte aquaculture.
- Développement d'une approche systémique pour aborder les questions d'environnement et de développement durable posées par la pisciculture.

Réalisations

- Coordonateur du programme ANR-Systema PISCEnLIT : Pisciculture écologiquement intensive et services rendus par les écosystèmes. Terminé en janvier 2014 (valorisation en cours)
- Participation au projet ANR - ADD EVAD (2007-2010)
- Membre du directoire de la plateforme MEANS d'analyse multicritère de la durabilité des systèmes et produits agricoles.
- Co encadrant de thèse : Thomas Efolé Ewoukem (2011), et pour certains chapitres : Jorge D.M. Casaca (2008), Alexandre A. O. Santos (2012), J. Arroyo (2012), A. Thévenot (2013), Mathieu Besson (2013-2016)

- Co Direction de thèse : Laure Nitschelm (2013-2015)
- Accueil post doctorant : Alexandre Augusto Oliveira Santos (CA-UNESP Brésil)
- Participation à des Comités de Thèse : Juliette Langlois (en cours), Alexandre Thévenot (en cours) , Xiaobo Chen (en cours)
- Participation à des projets de recherche développement : ANR Désirable, CASDAR Propre, projet DIESEL Phase, Scep Defy
- Conception de protocoles d'expérimentation ou de mesures dans l'environnement aquatique.
- Application de ces démarches à différents systèmes de productions en France et à l'étranger
- Rédaction de guides et d'articles et de documents de synthèses
- Participation à la réflexion sur la durabilité des systèmes aquacoles dans le cadre de la démarche des professionnels de l'aquaculture : GIS Pisciculture Demain
- Participation aux réflexions du GIS Elevage Demain (guide analyse multicritère de la durabilité en élevage et grandes cultures)
- Animation d'un groupe de réflexion inter instituts : INRA, IFREMER, CIRAD, IRD sur les systèmes d'élevage aquacoles et la durabilité.

De Juillet 1996 à Juillet 2004 : SEMII, Sizun

Mission principale :

- Directeur de la SEMII, Station Expérimentale Mixte IFREMER INRA, Unité expérimentale piscicole répartie sur un site en mer (à Camaret/Mer) et en eau douce (à Sizun) dans le Finistère (29), France .

Réalisations

- Gestion des moyens humains, matériels et financiers pour la réalisation de programmes scientifiques sur l'élevage des salmonidés en mer et en eau douce
- Maîtrise de la zootechnie des élevages et conseil pour la réalisation des expériences
- Animateur d'un groupe scientifique multidisciplinaire : Environnement et Maîtrise d'élevage
- Gestion de projets R&D sur la triploïdie, les malformations, les probiotiques, les maladies cardiaques

De Février 1992 à Juillet 1996 : Laboratoire de Physiologie des Poissons, Rennes - Sizun

Mission principale :

- Responsable des structures expérimentales du Laboratoire de Physiologie des Poissons de l'INRA de Rennes, réparties sur deux sites : campus de Beaulieu à Rennes (35) et SEDI à Sizun (29), France.

De Septembre 1990 à Décembre 1991 : Centre de Recherche Océanographique d'Abidjan, Côte d'Ivoire

- Volontaire Service National, Responsable des structures expérimentales et suivi des protocoles expérimentaux.
-

Formation Initiale :

Baccalauréat C, Lycée Hector Berlioz, 94 Vincennes, 1984

Ingénieur de l'Institut Supérieur Agricole de Beauvais 1990

Thèse de doctorat : Soutenue le 24 mars 2014, Mention très honorable

Activités d'enseignement récentes

Agrocampus Ouest :

Master 2 Halieutique :	Analyse environnementale de la pisciculture	2009-2014	3 h
Master 2 GE SEH :	Durabilité systèmes agricoles	2010 -2012	4 h
Master 2 Halieutique :	Zootechne des salmonidés	2009-2012	3 h
Master 2 :	Pisciculture Tropicale	2012	3 h

AgroParisTech

Ingénieur	Relations pisciculture environnement	2012	3h
-----------	--------------------------------------	------	----

ENSAT

Master 2 :	Durabilité de la pisciculture	2012 - 2014	4 h
------------	-------------------------------	-------------	-----

ENSAIA Nancy

Master 2 :	Analyse environnementale de la pisciculture	2014	6 h
------------	---	------	-----

ISARA Lyon

Ingénieur Master 2 :	Durabilité de la pisciculture	2014	4 h
----------------------	-------------------------------	------	-----

CNAM Intechmer

Master MEA	Analyse environnementale de la pisciculture	2011 et 2014	3 h
------------	---	--------------	-----

Bilan des encadrements d'étudiants

Liste des étudiants en licence

2011

- **Melaine Loch**, Licence Pro PARTAGER, Université Rennes1, *Diagnostic environnemental par Analyse du Cycle de Vie des systèmes de production piscicole en étang : Cas de la Brenne*, Encadrant principal

2010

- **Antoine Armandine Les Landes**, Licence H3 Université Rennes1, *Impacts des piscicultures sur les rivières en France*, Encadrant principal

2004

- **Lenaïg Richard**, Stage 3^{ème} année ESA Angers, *Etude de l'efficacité du *Pediococcus acidilactici* par voie alimentaire contre les compressions de vertèbres chez le saumon atlantique (*Salmo salar*)*, Encadrant principal

Liste des étudiants en master II ou diplômes d'ingénieur encadrés

2014

- **Paul Regolini**, Diplôme d'ingénieur en agriculture de l'ISARA Lyon. *Diagnostic d'insertion environnementale des piscicultures de truites*, Encadrant principal

2013

- **Kilian Charry**, Diplôme d'ingénieur en agriculture de l'ISARA Lyon. *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*, Encadrant principal
- **Matthieu Adam**, Diplôme d'Ingénieur den Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Mise en place expérimentale d'une intensification écologique de la pisciculture d'étang*, Encadrant principal

2012

- **Caroline Fontaine**, Diplôme d'Ingénieur den Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Analyse du Cycle de Vie de la production et du conditionnement des moules de bouchot AOC de la Baie du Mont Saint-Michel*, Encadrant principal
- **Sébastien Lachambre**, césure Ingénieur den Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Analyse des opportunités offertes par un modèle Ecopath pour l'étude d'un écosystème productif à forte composantes aquacoles*. Encadrant secondaire

2011

- **Nicolas Belhamiti**, Master Bioressources Aquatiques en Environnement Méditerranéen et tropical, Université Montpellier 2, *Quelle perception des services rendus par la pisciculture d'étangs en Brenne ? La vision des pisciculteurs*, Co encadrant

2010

- **Jehane Prudhomme**, Diplôme d'Ingénieur en Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Analyse de l'efficience et de l'intégration environnementale de différents systèmes de productions aquacoles*, Encadrant principal
- **James Owen Skipper-Horton**, MSc student, Dept. of Animal and Poultry Science University of Guelph (Canada), *Growth and Feed Conversion Ratio achieved on rainbow trout cage farms in Ontario*, Accueil.

2009

- **Abdeljalil Drissi**, Mastère Spécialisé en Evaluation Environnementale et Conduite de Projets – Jurna de l'ESA d'Angers, *Application de l'analyse de cycle de vie*

pour l'évaluation de la pertinence environnementale de production d'acides gras oméga 3 issus des huiles végétales et de l'huile de poisson, Encadrant principal

- **Hichem Lourghioui**, Formation continue Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger (Algérie), *Evaluation des impacts environnementaux des exploitations aquacoles par l'utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie*. Accueil

2008

- **Thomas Efolé-Ewoukem**, Master en sciences Animales de l'Université de Dschang (Cameroun), *Evaluation du rendement agro-écologique de la pisciculture en étang en zone Soudano-Guinéenne humide : Cas de la ferme d'Alou*, Encadrant principal
- **Marie Soehnlen**, Cesure d'Ingénieur en Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Evaluation de l'impact environnemental de piscicultures marines en Méditerranée par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie*, Encadrant principal

2007

- **Miranda Maybank**, Master Biologie, production animale et qualité Rennes 1, *Etude de l'impact environnemental des piscicultures de truite en France : La analyse comparée de trois méthodes d'évaluation de l'impact, à l'échelle locale (physicochimie et indicateurs biologiques) et globale (Analyse du Cycle de Vie)*, Encadrant principal
- **Souhila Amrouch**, Master 2 Aquaculture continentale et gestion des peuplements piscicoles INPL Université de Nancy, *Analyse de l'impact environnemental global des piscicultures de truite en France par l'Analyse du Cycle de Vie*, Encadrant Principal
- **Nadia Snoussi**, Master 2 Ecologie Biodiversité Evolution, Université Pierre et Marie Curie, *Analyse de l'impact environnemental des piscicultures de truites sur les rivières en France : Analyse multicritères du devenir du rejet*, Encadrant principal
- **Mickaël Marle**, Master 2 Aquaculture continentale et gestion des peuplements piscicoles INPL Université de Nancy, *Evaluation de l'impact du rejet des piscicultures sur la biologie des cours d'eau par les macrophytes*, Co-encadrant

2006

- **Alexandra Fouilleroux**, Diplôme d'Ingénieur en Agronomie de l'Agrocampus Ouest, *Durabilité de la filière piscicole Bretonne : perception des enjeux par les acteurs*, Encadrant principal.
- **Tristan Gueneuc**, Diplôme d'Ingénieur en Agronomie de l'Agrocampus Ouest, Spé. Halieutique, *Contribution à la mise en place des outils diagnostics socio-économiques, environnementaux et sanitaires de la pisciculture française*, Co-encadrant
- **Aurélien Teneze**, Diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles Bordeaux, *Etude expérimentale des flux de nutriments et de leurs facteurs de variation en pisciculture de truite*, Encadrant principal

2004

- **Arnaud Gueguen**, 2ème année Diplôme d'Ingénieur en Agronomie de l'INAPG, *The potential environmental impacts of marine fish hatchery, using Life Cycle Assessment (LCA)*, Encadrant principal

2003

- **Thomas Dubrunfaut**, Master 2, Université Rennes1, *Utilisation de probiotiques par voie alimentaire chez la truite arc-en-ciel : effets sur la croissance, le développement vertébral et la rétention azotée*. Encadrant principal

2001

- **Antoine Barnaud**, Thèse vétérinaire Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, *Impact environnemental du Benzoate d'Emamectine (SLICE ®) dans une ferme marine de truite commune (Salmo trutta) en Bretagne*, Co encadrement.

2000

- **Vincent Houis**, Master 2, Année de césure, Université Henri Poincaré Nancy 1, *Caractérisation des malformations induites chez les larves de truites arc-en-ciel par les traitements de triploïdisation*. Encadrant principal

Liste des thèses co-encadrées

- **Laure Nitschelm**, Thèse de docteur de l'institut supérieur des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et paysage. *Spatialisation de l'Analyse du Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux et leur transfert dans un territoire côtier* Co –encadrement (en cours depuis 2013)
- **Mathieu Besson**, Thèse de docteur de l'European Graduate School in Animal Breeding and Genetics, AgroParisTech – Wageningen UR, *Using life cycle assessment to design breeding programs in aquaculture that balance productivity with environmental sustainability*, Co encadrement (en cours depuis 2012)
- **Thomas Efolé-Ewoukem**, Thèse de docteur de l'institut supérieur des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et paysage 2012, *Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations familiales Agricoles au Cameroun*, Co-encadrement, (maintenant enseignant chercheur à l'Université de Dschang, Cameroun)
- **Julien Arroyo**, Thèse de docteur de l'Université de Toulouse, INP Toulouse 2012, *Influence de l'alimentation sur les performances des oies et la durabilité du*

ystème de production du foie gras : effets de la substitution du maïs par du sorgho et de la forme de présentation de l'aliment, co-encadrement, (maintenant directeur de la Ferme de l'Oie)

- **Alexandre Augusto Oliveira Santo**, Thèse de doctorat de l'Université de Sao Paulo CA-UNESP (Brésil), *Sustentabilidade ambiental da criação de camarões de água doce e uso de aguapé no tratamento dos efluentes*. Accueil et co-encadrement 2011 (maintenant enseignant chercheur à l'Université Fédérale de Espírito Santo (IFES))
- **Mohamed Ali Jerbi**, Thèse de doctorat de l'Université de Monastir (Tunisie), *Impact environnementaux des élevages de bars, approches ACV et toxicologiques*. Accueil 2009 (en poste au Ministère des Pêches à Tunis)
- **Jorge de Matos Casaca**, Thèse de doctorat de l'Université de Sao Paulo CA-UNESP (Brésil), *Policultivos de peixes integrados à produção vegetal : Avaliação economica e socio ambiental (Peixe verde)*. Accueil 2008 (Chercheur à Epagri, Santa Catarina, Brésil).
- **Emmanuelle Roque d'Orbcastel**, Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008. *Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets, Co-encadrement pour la partie ACV. (Maintenant chercheur à IFREMER Sète)*

Activité de publication (voir détail en annexe 1)

- Articles dans journaux à comité de lecture : 40
dont 23 en premier deuxième ou dernier auteur
- Proceedings et résumés de communications orales : 12
- Articles de synthèse : 2
- Brevet : 1
- Ouvrages ou chapitres d'ouvrages : 8
- Posters et résumés courts d'oral : 109
- Rapports divers : 13

Activité de relecture

Reviewer pour les revues : Aquaculture, Journal of Cleaner production, International Journal of LCA, Environmental Science & Technology, INRA Productions Animales.

Document de synthèse des travaux scientifiques

- **Avant-propos**

Le présent document présente essentiellement une trajectoire de recherche. Il n'est pas centré sur des résultats de recherche, mais plutôt sur une évolution de ma réflexion et du contexte de mes travaux. Les travaux présentés sont peu resitués par rapport à la littérature, mais sont documentés par mes productions, en tant qu'auteur principal, ou comme co-auteur. Ces références sont citées dans le document et listées en annexe avec des codes pour les différencier :

ACL : articles à comité de lecture

P : proceeding ou articles associés à un congrès

S : articles de synthèse

B : brevet

O : ouvrage ou chapitre d'ouvrage

M : manuels pédagogiques

Vu : articles de vulgarisation

Cong : présentations orales ou affichées lors de congrès

R : rapports divers

Table des matières

.....	1
.....	3
.....	3
Préface et remerciements	4
• Avant-propos.....	17
• INTRODUCTION	20
1. Parcours et évolution des approches scientifiques	20
a. Analyse des effets de l'environnement sur l'élevage.....	20
b. Analyse des effets des élevages sur l'environnement	21
2. Le contexte : l'aquaculture.....	22
a. Aquaculture et pisciculture: un secteur de production diversifié	22
b. La pisciculture : une production en plein développement.....	23
Partie 1 : INTERACTIONS ENTRE PERFORMANCES D'ELEVAGE ET ENVIRONNEMENT EN PISCICULTURE	25
1. Introduction.....	25
2. Mortalité et performances cardiovasculaires chez la truite	25
3. Compressions de vertèbres et probiotiques.....	27
4. Contributions dans les études sur la qualité de la chair.....	29
5. Bilan.....	30
Partie 2 : ANALYSER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA PISCICULTURE	31
1. Cadre général	31
2. L'Analyse du Cycle de Vie.....	31
a. La définition du champ de l'étude, des limites du système étudié	33
b. L'inventaire des extractions et des émissions du système.....	34
c. L'évaluation des impacts, par l'agrégation des données	34
d. L'interprétation des résultats.....	34
3. Adapter le cadre l'Analyse du Cycle de Vie au domaine de la pisciculture.....	35
a. Mieux évaluer les émissions des systèmes aquacoles	35
b. Proposer des catégories d'impact adaptées	36
c. Prendre en compte la variabilité des pratiques	37
d. Adapter les méthodes d'allocation des impacts aux systèmes en polyculture.....	38
4. Caractériser et faire évoluer les systèmes piscicoles.....	42
a. Déterminer les points critiques pour la pisciculture et établir un diagnostic.....	42
b. Construire une démarche d'écoconception et tester des hypothèses d'évolution.....	43
• Partie 3 : EVALUER LA DURABILITE ET CONCEVOIR L'INTENSIFICATION ECOLOGIQUE DES SYSTEMES PISCICOLES	47
1. Analyses multicritères et développement durable.....	47
a. Définir un cadre scientifique à l'analyse de la durabilité en aquaculture.....	47
b. Construire des outils opérationnels pour l'évaluation de la durabilité	49
c. Elargir les concepts aux systèmes agricoles et alimentaires	50
2. Proposer une cadre théorique pour l'intensification écologique des systèmes aquacoles.....	50
• Partie 4 : BILAN ET PERSPECTIVES	55

1.	Quel bilan ?	55
a.	Sur le parcours	55
b.	Sur l'ACV en pisciculture	57
i.	Des avancées	57
ii.	Des évolutions à mener	58
2.	Quelles perspectives?	59
a.	Une suite pour PISCEnLIT ?	59
b.	Etudier les systèmes multitrophiques	60
c.	Les analyses multicritères comme cadre général	61
d.	En quelques mots	62
•	Bibliographie	63
•	ANNEXE 1 : Liste des travaux	66
	Articles à comité de lecture	66
	Proceedings, résumés de communications orales ou par posters lors de congrès	69
	Articles de synthèse	71
	Brevets, licences	71
	Ouvrages scientifiques	71
	Manuels pédagogiques	72
	Articles ou conférences de vulgarisation	72
	Articles, résumés d'oral ou posters de congrès	72
	Rapports divers	81
•	ANNEXE 2 : Facteurs d'impact des revues dans lesquelles l'auteur a publié	83
•	ANNEXE 3 : Glossaire	84
•	ANNEXE 4 : Liste des Figures	86
•	ANNEXE 5 : Liste des encarts	87

• INTRODUCTION

1. Parcours et évolution des approches scientifiques

J'ai débuté ma carrière à l'INRA en février 1992, après un temps de « Volontariat Service National » (VSN) en Côte d'Ivoire qui a suivi la fin de mes études d'ingénieur en agriculture (ISA Beauvais). Depuis le début de mon activité professionnelle, j'ai contribué à répondre à la question :

Comment accompagner un développement durable de la pisciculture par des recherches scientifiques?

Mon parcours professionnel est clairement constitué de deux métiers qui se sont succédés dans le temps :

- La gestion d'outils expérimentaux pour la recherche en pisciculture
- Le développement de projets de recherche sur les interactions pisciculture – environnement

Le premier métier a clairement influencé le second, en apportant un fond de connaissance et des « matériaux » pour construire une démarche scientifique.

a. Analyse des effets de l'environnement sur l'élevage

Ma première fonction a consisté en la mise à disposition de moyens expérimentaux pour la réalisation de recherches en pisciculture. Elle a débuté dans le cadre du Service National (VSN) au sein d'une pisciculture expérimentale en Côte d'Ivoire pour le compte de l'ORSTOM (actuel Institut de Recherche pour le Développement - IRD), puis à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) pour le Laboratoire de Physiologie des Poissons de Rennes (actuel Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons - LPGP) pendant 4 ans. Enfin, pendant 8 ans j'ai été directeur d'une Unité Mixte Ifremer INRA (Salmoniculture Expérimentale Mixte Ifremer INRA - SEMII), chargée d'accueillir des programmes de recherche communs devant permettre le développement de la salmoniculture marine en France. Outre un volet de gestion important (technique, zootechnique, financier, humain), j'ai rapidement été associé aux démarches de recherche, d'abord comme superviseur de la partie pratique des expériences puis dans la conception des protocoles et enfin dans la formulation des questions scientifiques et la conduite de projets de recherche. Ces expériences m'ont permis d'aborder en collaboration, un nombre important de thématiques : physiologie de la reproduction, de la croissance, de l'adaptation et de la qualité des produits ; puis de façon plus large, la génétique et la nutrition ainsi que leurs interactions. Ces travaux ont été conduits dans des milieux variés : eau douce, eau de mer ; espèces tropicales et tempérées ; étangs, systèmes ouverts ou fermés (recirculation d'eau).

La traduction des questions scientifiques en protocoles et la maîtrise des moyens opérationnels pour les conduire, m'a permis à la fois de comprendre les mécanismes étudiés et d'en développer une vision pragmatique, propre à mon métier d'ingénieur. Habitué dans ce cadre à maîtriser et mobiliser toutes les phases d'un élevage piscicole pour conduire des expérimentations de long terme, qui commencent à la reproduction et finissent à la transformation des produits (nos installations de la SEMII comprenaient : éclosérie, phase d'élevage en eau douce, élevage en cages marines et atelier de découpe et fumage), il m'a été aisé d'intégrer les approches systémiques par la suite.

La période de direction de la SEMII a aussi été l'occasion de remettre sur pieds l'animation scientifique de la structure, qui avait perdu de son dynamisme. Dans ce cadre, j'ai été chargé par le Conseil Scientifique de la SEMII, d'animer un des trois groupes thématiques : élevage et environnement. Il s'agissait d'animer les réflexions d'un groupe de scientifiques de l'INRA

et de l'IFREMER autour des questions portant sur l'influence des paramètres de l'environnement sur les performances de l'élevage et des individus, avec un focus particulier sur les phénomènes d'adaptation des salmonidés au milieu marin. Au travers de cette fonction d'animation, mais aussi des questions qui étaient soulevées régulièrement par le suivi des élevages expérimentaux, certains sujets ont émergé, pour lesquels j'ai recherché des partenariats scientifiques (hors du cadre des chercheurs travaillant régulièrement à la SEMII).

Pour ces travaux la démarche a été la même : repérer le phénomène, faire une observation précise pour identifier une question scientifique et rechercher un partenariat scientifique pour étudier cette question, en co-construisant le protocole, définissant les moyens nécessaires et participant à la réalisation des expériences, puis à la valorisation des résultats. Deux exemples illustrent cette démarche :

- L'analyse des performances cardiovasculaires associées aux mortalités des truites communes après transfert en mer
- La recherche de solutions pour lutter contre le syndrome de compression des vertèbres chez la truite arc-en-ciel

b. Analyse des effets des élevages sur l'environnement

A l'issue de deux mandats de directeur de la SEMII, j'ai intégré l'UMR INRA Agrocampus Ouest Sol Agro et hydrosystème Spatialisation - SAS, afin d'y développer les approches systèmes et l'analyse environnementale appliquées à la pisciculture. Le développement de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) comme méthode privilégiée pour l'analyse environnementale de la pisciculture et de l'élevage en général, a été au centre de mon activité depuis 2004. Il s'agissait alors d'analyser les impacts environnementaux des systèmes de production piscicole, afin de déterminer les éléments du système impliqués et de définir des voies d'amélioration. Une question sous-jacente porte sur les modalités d'adaptation de la méthodologie ACV, au contexte particulier de la pisciculture. Dans le cadre de ma thèse centrée sur cet aspect et présentée en 2014, la question centrale avait été formulée de la façon suivante :

En quoi l'ACV apporte-t-elle un changement dans l'analyse de l'impact environnemental de la pisciculture?

L'analyse environnementale des systèmes aquacoles m'a conduit à étudier, utiliser et adapter des outils d'évaluation systémiques, principalement l'ACV. La nécessité de mobiliser un nombre important de données sur les systèmes de production, m'a conduit à mener un nombre élevé d'observations de terrain ou des expérimentations, afin de mieux cerner les processus associés aux impacts, comme les émissions de nutriments (azote et phosphore) dans l'eau ou les émissions de gaz. L'ensemble de ces travaux n'ont pu être conduits que grâce aux collaborations étroites avec l'équipe de l'UMR SAS qui m'a accueilli et soutenu pendant toutes ces années (et qui continue à le faire).

Ma thématique de recherche se développe selon trois axes de différentes importances :

- **Un axe sur la méthodologie de l'ACV**
- **un axe sur les approches multicritères en appui au développement durable en aquaculture et en agriculture**
- **un axe sur le développement durable de la pisciculture, puis sur son intensification écologique.**

Cette deuxième phase a aussi été l'occasion d'encadrements directs d'étudiants de niveau master en plus grand nombre, de montage de projets et de participation à l'encadrement de thèses. Elle m'a conduit à prendre en charge l'animation de l'équipe ASAE (Analyse agro environnementale des systèmes culture élevage) de l'UMR SAS, en 2012.

Ce document met en avant l'évolution de ma réflexion scientifique qui a commencé par l'étude des facteurs de l'environnement qui déterminent la performance de l'élevage, puis par l'étude des facteurs de l'élevage qui déterminent les impacts sur l'environnement, pour s'ouvrir à la contribution des analyses environnementales pour définir des voies de développement durable et d'intensification écologique des systèmes piscicoles.

2. Le contexte : l'aquaculture

a. Aquaculture et pisciculture: un secteur de production diversifié

L'aquaculture (ou aquiculture) s'entend comme l'ensemble des productions animales et végétales en milieu aquatique. Cette activité se décline en production de poissons (pisciculture), de crustacés, de coquillages (conchyliculture) et de plantes, en particulier les algues (algoculture). Mon objet de recherche est essentiellement la pisciculture (finfish farming) même si le terme aquaculture est régulièrement employé dans ce document.

L'aquaculture est présente sur tous les continents et couvre une diversité d'espèces et de systèmes de production importante. On cite environ 600 espèces aquacoles (en incluant les végétaux, les crustacés et les mollusques), avec chez les poissons, une variété de comportements alimentaires supérieure à ce que l'on peut trouver dans les élevages terrestres : filtreurs, brouteurs, détritivores, planctonophages, herbivores, carnivores (en particulier ichtyophages). Néanmoins, un nombre réduit d'espèces participe de façon significative au tonnage mondial. En 2004, 15 espèces produisaient 85% de la production piscicole mondiale (Chevassus-au-Louis & Lazard, 2009). La FAO (2012) signale qu'1/3 des espèces piscicoles élevées (20 millions de tonnes) sont produites sans apport d'aliment artificiel, généralement en valorisant la biomasse planctonique naturelle. La réalité mondiale de l'aquaculture est fort différente de l'orientation de la pisciculture occidentale basée sur un apport alimentaire exclusivement exogène sous forme de ration granulée (Chevassus-au-Louis et Lazard, 2009 ; Tacon et al., 2010). Cette diversité d'espèces est aussi associée à une diversité d'écosystèmes : eaux douces, saumâtres, marines, eaux courantes ou stagnantes, sous des climats froids tempérés à tropicaux et de milieux d'élevage : étangs, lacs, baies, rivières...

Les systèmes d'aquaculture de production, généralement en eau douce (ou saumâtre) constituent le type le plus ancien. Initié en Asie (traité de Fan Li -460 av JC, *in* Billard, 2010), ce type d'élevage constitue encore le système dominant à l'échelle de la planète (Fig. 1). Ces systèmes de production sont généralement basés sur l'élevage en polyculture de plusieurs espèces aquacoles. Ces pratiques sont largement développées (notamment en Asie) et ont principalement pour vocation de jouer sur la complémentarité des espèces dans leurs rôles dans la chaîne trophique (valorisation de la biomasse planctonique, consommation de macrophytes et d'invertébrés benthiques, différents niveaux de proies...), l'exploitation de différents compartiments du milieu (espèces de fond, de pleine eau, de surface) et s'exprime aussi dans des fonctions physiques assurées par les espèces permettant notamment de rendre disponible les éléments minéraux des sédiments et d'homogénéiser les masses d'eau (filtration, bioturbation...) (Billard, 1980). Ce concept de systèmes en polyculture présente actuellement un regain d'intérêt dans le cadre des approches « Integrated Multi-Trophic Aquaculture », IMTA (Neori et al., 2004 ; Troell et al., 2009) où l'on cherche à associer différents compartiments productifs complémentaires sur le plan trophique pour diminuer les rejets dans l'environnement et augmenter la valorisation des intrants nutritifs. Dans un certain nombre de pays la pisciculture d'étang est aussi intégrée au système agricole en valorisant en tant que fertilisant les effluents d'élevage terrestre ou les refus de cultures.

La pisciculture de transformation est née plus récemment avec la maîtrise de la nutrition des poissons. Elle a notamment permis de développer l'aquaculture mono-spécifique de

poissons carnivores ou carnassiers en s'affranchissant de l'élevage de poissons fourrage leur servant de nourriture. La pisciculture de transformation des espèces carnivores est souvent qualifiée d'intensive. Elle est largement dépendante des ressources halieutiques en protéines (farines de poisson) et en lipides (huiles de poissons) notamment pour l'apport en acides aminés essentiels et surtout en acides gras essentiels, qui conditionnent la croissance et la qualité nutritionnelle des poissons produits.

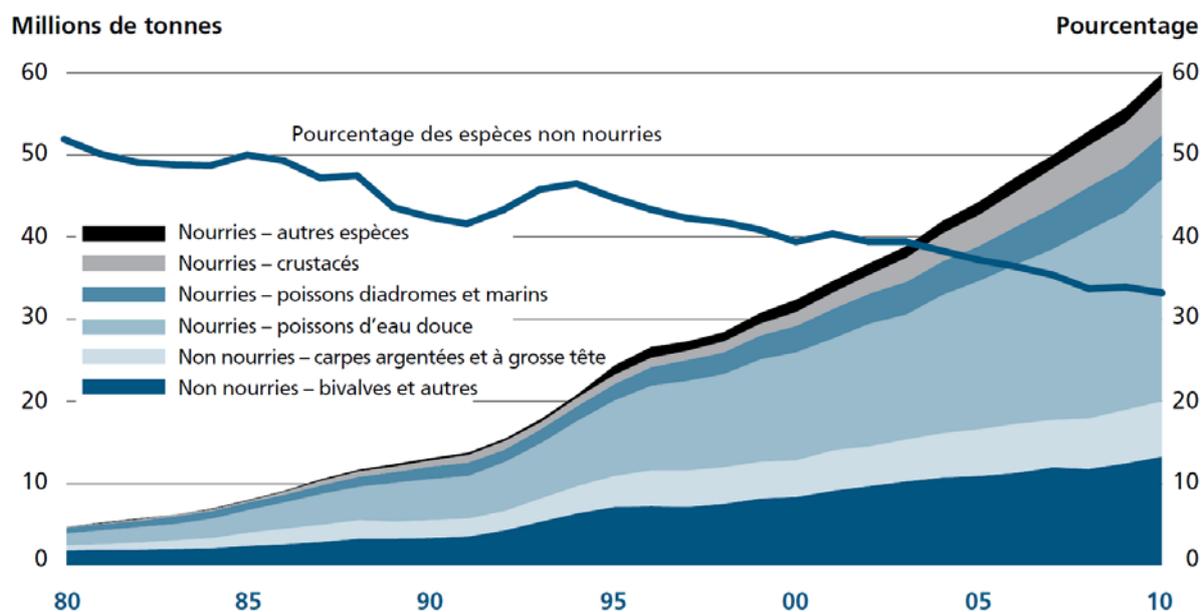


Figure 1 : Evolution des productions aquacoles de 1980 à 2010 selon les différents types de production. Extrait de FAO (2012).

Une des caractéristiques qui différencie le plus les systèmes piscicoles est leur lien à l'eau. Les systèmes de pisciculture vont exploiter soit des volumes d'eau naturels ou artificiels qui ne leur sont pas dédiés au départ (lacs, mer ouverte), en utilisant généralement des systèmes de cage ; ou bien modifier le milieu physique en créant des étendues d'eau plus ou moins stagnante (étangs) et/ou en dérivant tout ou partie d'un cours d'eau pour alimenter des bassins en eau courante (cas des piscicultures de truite). Plus récemment, les technologies de traitement de l'eau ont permis de construire des systèmes en eau recirculée qui cherchent à s'affranchir au maximum de la ressource naturelle en eau et permettent un traitement des rejets de l'élevage plus aisé (Blancheton et al., 2009). Ils peuvent s'apparenter à des systèmes d'élevage hors sol et sont notamment mis en œuvre pour les écloséries de poissons marins, car ils permettent une maîtrise très poussée du milieu d'élevage.

Ce bref panorama n'a pas vocation à être exhaustif mais montre que sur le plan biotechnique, la combinaison des caractéristiques de milieu support, le choix et les associations d'espèces, la maîtrise des intrants et les liens avec les ressources naturelles, permettent de définir une très grande diversité de systèmes, ouvrant de larges perspectives quant à la capacité de les faire évoluer pour répondre à des objectifs de productivité et/ou d'optimisation, environnementale notamment.

b. La pisciculture : une production en plein développement

Les produits aquatiques (de pêche et d'aquaculture) sont parmi les premiers produits alimentaires échangés dans le monde (10% des exportations agricoles mondiales) et la croissance de leur marché se poursuit. En 1960, la consommation moyenne de produits aquatiques par habitant était de 9,9 kg/an, alors qu'elle atteint 18,6 kg/an en 2011 (FAO,

2012). Or, les pêches de capture dont le niveau des débarquements stagne à 90 millions de tonnes depuis la fin des années 1980, ne sont plus aptes à couvrir l'accroissement de la demande. Avec 8,8% d'augmentation par an entre 1980 et 2010, les produits de l'aquaculture (hors plantes aquatiques) atteignent 60 millions de tonnes en 2010 (FAO, 2012), et égalent maintenant les produits de la pêche.

L'augmentation de la production aquacole au niveau mondial, avec des dynamiques extrêmement rapides localement, n'est pas sans poser de questions environnementales et de développement durable, comme ce fut le cas avec le développement des élevages de crevettes pénéides (*Penaeus monodon* en particulier) dans les années 1980-1990 dans la ceinture intertropicale (implantation anarchique des exploitations, destruction des mangroves, conflits locaux...). Cette phase a notamment conduit à définir des bonnes pratiques aquacoles et poussé les interprofessions aquacoles à proposer des démarches de développement durable, déclinées en guides (Global Aquaculture Alliance, Fédération Européenne des Producteurs Aquacoles...), souvent sous la pression des marchés et des ONG (Rey-Valette et al., 2008 ; FAO, 2012).

Par ailleurs, entrant dans un marché international, de façon particulièrement dynamique (102 milliards US \$ en 2011), les produits aquatiques font l'objet d'un grand nombre de labels et de cahiers des charges, d'abord orientés vers des pêches plus respectueuses de l'environnement (pêche responsable, pêche durable du Marine Stewardship Council, Dolphin safe...) et une amélioration de la traçabilité de ces produits (Vázquez-Rowe et al., 2012). Ces labels se sont aussi étendus à l'empreinte carbone des pêches pour notamment renseigner l'affichage environnemental, développé par certaines enseignes de grande distribution (Tesco par exemple). La demande de schémas et d'indicateurs pour les éco-labels censés mesurer les performances environnementales des élevages (Global Gap, WWF dialogues, Aquaculture Stewardship Council...) s'est donc rapidement étendue aux produits de l'aquaculture, en particulier pour la crevette (Mungkung et al., 2005).

La pisciculture a une relation intime avec le milieu aquatique. C'est le milieu qui apporte les éléments essentiels au fonctionnement biologique du poisson (oxygène, éléments minéraux et dans de nombreux cas, l'alimentation) et qui va aussi être le vecteur de risques pour l'élevage au travers des polluants ou de pathogènes qu'il peut véhiculer. Enfin le milieu aquatique est aussi le récepteur des rejets chimiques ou biologiques de l'élevage. C'est sous cet angle que l'impact environnemental de la pisciculture a d'abord été considéré. Depuis ces dernières années, avec une augmentation de la prise de conscience des enjeux de la préservation des écosystèmes et de la biodiversité, la pisciculture est aussi surveillée pour son utilisation d'espaces naturels jugés fragiles (zones humides, cours d'eau, espaces littoraux...), et de ressources sensibles comme l'eau douce ou les ressources halieutiques farines et huiles de poisson).

C'est dans ce contexte que se déroule mon activité. Elle est portée par des enjeux importants de développement. Il est nécessaire de produire des connaissances opérationnelles permettant de lever des verrous techniques, mais aussi de proposer des connaissances capables d'éclairer des choix de modèles d'élevage afin d'envisager la contribution de l'aquaculture au développement durable.

Partie 1 : INTERACTIONS ENTRE PERFORMANCES D'ELEVAGE ET ENVIRONNEMENT EN PISCICULTURE

1. Introduction

Il s'agit de présenter ici, les premiers travaux auxquels j'ai contribué scientifiquement, au-delà de mes fonctions d'ingénieur chargé de la mise à disposition de moyens expérimentaux. Mon métier de base m'avait rapidement amené à apporter du conseil et donc à interagir avec les scientifiques dans le montage des protocoles expérimentaux. Dans ce qui est présenté ici, la démarche va plus loin. Elle passe par l'observation d'un phénomène, sa documentation, la formulation d'hypothèses, la recherche des compétences nécessaires à leur validation, et dans le cadre de collaborations, formuler les questions de recherche auxquelles répondre et monter les projets pour mobiliser les moyens nécessaires (techniques, humains et/ou financiers).

2. Mortalité et performances cardiovasculaires chez la truite

Le développement de la salmoniculture marine était l'objectif de l'association de l'Ifremer et de l'INRA dans le cadre de la SEMII, constituée de deux stations dans le Finistère (29), en eau douce à Sizun, et en eau de mer à Camaret sur Mer. Après des essais conduits sur le saumon Atlantique (*Salmo salar*) et sur la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), c'est finalement le modèle de la truite fario (*Salmo trutta*) qui a été développé compte tenu de sa bonne survie et de sa croissance en mer. De nombreux travaux ont été conduits à l'époque sur la capacité de cette espèce à supporter le transfert en mer (à 100g environ) sans smoltification. Les approches scientifiques développées portaient essentiellement sur l'analyse du rôle de la branchie et des régulations hormonales, dans l'osmorégulation et l'homéostasie des poissons (Bœuf and Prunet, 1985). Des recommandations pratiques sur le transfert en mer avaient été élaborées, concernant notamment, la taille minimum au transfert, les périodes de l'année favorables, la préparation des poissons avant le transfert et la conduite du passage en eau de mer. Des mortalités étaient néanmoins observées sur les lots de poissons après transfert en eau de mer. Dans les jours qui suivaient le transfert, les truites qui ne s'étaient pas adaptées étaient de couleur sombre, ne se nourrissaient pas et dépérissaient rapidement. D'autres mortalités apparaissaient plus tardivement, quelques semaines ou plusieurs mois après, sur des

Encart 1

Claireaux, G.; McKenzie, D.J.; Gaylene Genge, A.; Chatelier, A.; Aubin, J.; Farrell, A.P. 2005. **Linking swimming performance, cardiac pumping ability and cardiac anatomy in rainbow trout.** *The Journal of Experimental Biology*. 208 (10) : 1775-1784

Abstract:

We exploited the inherent individual diversity in swimming performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* to investigate the hypothesis that maximum cardiac performance is linked to active metabolic rate (AMR) and critical swimming speed (Ucrit). Six hundred juveniles (body mass ~150.g) were screened using a swimming challenge of 1.2·m·s⁻¹ to identify 'poor swimmers' and 'good swimmers', (i.e. the first and last 60 fish to fatigue), respectively. These 120 fish were individually tagged and then reared in common tanks for 9 months, where they grew at similar rates and achieved a similar body mass of approximately 1100.g. Critical swimming speed (Ucrit) was then measured individually in tunnel respirometers, with simultaneous recordings of cardiac output via a ventral aortic flow probe. The group of individuals that were screened as poor swimmers remained so, with a significantly (27%) lower Ucrit than good swimmers [89±10·cm·s⁻¹ vs 23±5·cm·s⁻¹ (mean ± S.E.M.), respectively, N=6], a 19% lower AMR (147±12·μmol·min⁻¹·kg⁻¹ vs 181±11·μmol·min⁻¹·kg⁻¹, respectively), and a 30% lower maximum in vivo cardiac output (47.3±4.7·ml·min⁻¹·kg⁻¹ vs 68.0±5.2·ml·min⁻¹·kg⁻¹, respectively). When cardiac performance was compared with an in situ heart preparation, hearts from poor swimmers had a significantly (26%) lower maximum cardiac output (45.9±1.9·ml·min⁻¹·kg⁻¹ vs 56.4±2.3·ml·min⁻¹·kg⁻¹, respectively) and a 32% lower maximum cardiac power output at a high afterload (3.96±0.58·mW·g⁻¹ vs 5.79±1.97·mW·g⁻¹, respectively). Cardiac morphology was visualised in vivo by Doppler echography on anaesthetized individual fish and revealed that poor swimmers had a significantly more rounded ventricle (reduced ventricle length to height ratio) compared with good swimmers, which in turn was correlated with fish condition factor. These results provide clear evidence that maximum cardiac performance is linked to AMR and Ucrit and indicate that a simple screening test can distinguish between rainbow trout with lower active metabolic rate, Ucrit, maximal cardiac pumping capacity and a more rounded ventricular morphology. These distinguishing traits may have been retained for 9 months despite a common growing environment and growth.

poissons de couleur claire, ayant une très bonne croissance. Ces mortalités apparaissant à plus long terme, plus fréquemment en été (syndrome de mortalités estivales), ont longtemps été inexpliquées.

Mes premières observations sur les poissons morts montraient que les truites avaient le tube digestif plein d'aliment et que certaines présentaient un épanchement de sang dans la cavité péricardique. Des observations plus systématiques des truites mortes en mer ont montré une variabilité importante de la morphologie du cœur (Fig. 2) et la présence quasi systématique de lésions visibles à l'œil sur la crosse aortique. La littérature sur ces questions était à l'époque assez limitée, mais quelques références sur les problèmes cardiovasculaires existaient chez les salmonidés. En 1992, Saunders et al. avaient montré que le degré de lésions des artères coronaires chez le saumon Atlantique augmentait avec la croissance rapide des poissons en mer. Par ailleurs, des phénomènes d'artériosclérose avaient été corrélés avec des caractères morphologiques du cœur chez la truite arc en ciel (Davie and Thorarensen, 1996). Ces éléments montraient la nécessité d'explorer la réponse du système cardiovasculaire aux contraintes imposées par l'élevage de la truite commune en mer. J'ai donc recherché des compétences scientifiques pour construire un projet de recherche sur ce thème.

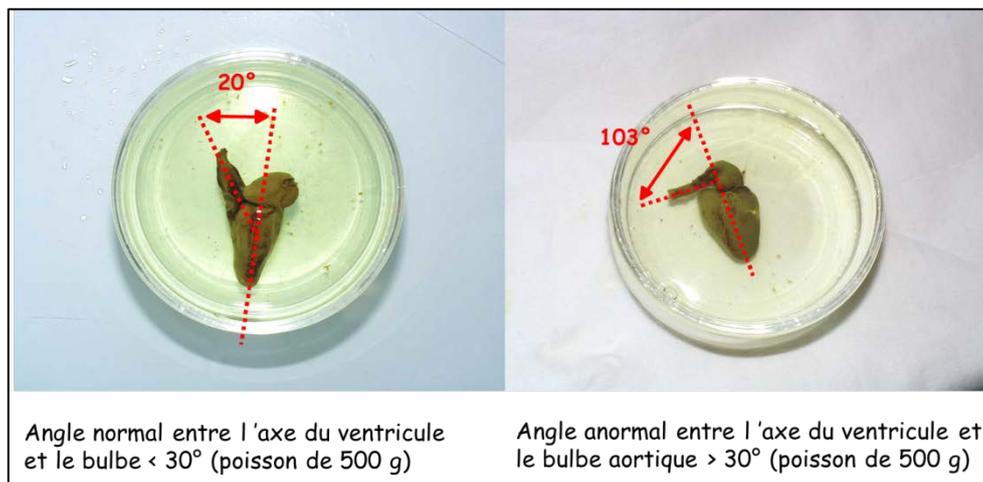


Figure 2 : Différences de morphologie du cœur chez la truite commune (*Salmo trutta*) d'élevage à la SEMII.

J'ai alors contacté Guy Claireaux chercheur en écophysiologie et énergétique des poissons au Laboratoire Ifremer-CNRS CREMA L' Houmeau (actuellement Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale). Ces travaux portaient sur l'analyse des mécanismes physiologiques et comportementaux impliqués dans l'adaptation des poissons à la variabilité environnementale (naturelle ou d'origine anthropique), en utilisant notamment le monitoring des performances cardiaques des poissons. Nous avons d'abord conduit des opérations ponctuelles de mesures du rythme cardiaque (ECG) directement sur les poissons en cage et ensuite développé un partenariat scientifique plus solide notamment dans le cadre de la thèse de Carole Mercier (Mercier et al., 2000 ; *ACL*. 37). Ces travaux ont montré les limites du potentiel d'adaptation du rythme cardiaque des truites en mer, et donc leur incapacité à faire face à des variations de leur environnement (augmentation de la température, diminution de l'oxygène) dans le contexte d'élevage des installations expérimentales de Camaret. La sur-sollicitation du système cardiovasculaire pendant les phases de transfert puis durant les phases d'élevage (notamment la digestion concomitante avec des périodes de baisse de disponibilité d'oxygène) pouvait alors conduire à des lésions ou ruptures de la crosse de l'aorte ou d'autres parties du système circulatoire. Les phénomènes de mortalité des truites communes en mer étant assez proches de ceux observés chez la truite arc-en-ciel de grande taille en eau douce, ce modèle a été utilisé ensuite pour étudier de façon plus fine les relations entre les performances natatoires des truites et leur capacité cardiaque (Lefrançois

et al., 2000 ; *ACL*. 36). Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse de Christelle Lefrançois et a été l'occasion d'une collaboration avec Anthony Farrell (University of British Columbia, Canada). Cette étude a montré le lien direct entre les capacités de nage, les performances et la morphologie du cœur (Claireaux et al., 2005 ; *ACL*. 32 ; encart 1). Ces travaux scientifiques ont conduit au contrôle de la morphologie du cœur par échographie, dans les procédures de sélection génétique chez la truite arc-en-ciel par le SYSAAF (Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français).

3. Compressions de vertèbres et probiotiques

Depuis les années 1980 (Quillet et al., 1988), la triploïdie a été développée pour empêcher la maturation des truites et permettre de produire des poissons de grande taille ne subissant pas de dégradation de qualité et de la quantité de chair due à la production massive de gamètes. Le principe de la triploïdisation repose sur la réintégration dans le génome du 2^{ème} globule polaire, normalement éjecté pendant la deuxième phase de la méiose, au moment de la fécondation. Ce phénomène qui se rencontre dans la nature chez les salmonidés à des fréquences très faibles, peut être induit par des traitements physiques, thermique ou hyperbare, sur les œufs avec un protocole précis suivant la fécondation. L'amélioration de ces méthodes faisait partie des travaux régulièrement menés à la SEMII sous la tutelle des généticiens de l'INRA de Jouy en Josas, des physiologistes de l'INRA de Rennes et du SYSAAF (Aubin et al., 2003 ; *Cong*. 90). Les suivis précis des performances d'éclosion des larves de truite obtenues après traitements thermique et hyperbare, ou témoin, ont montré des fréquences élevées de malformations vertébrales, en particulier de compressions de

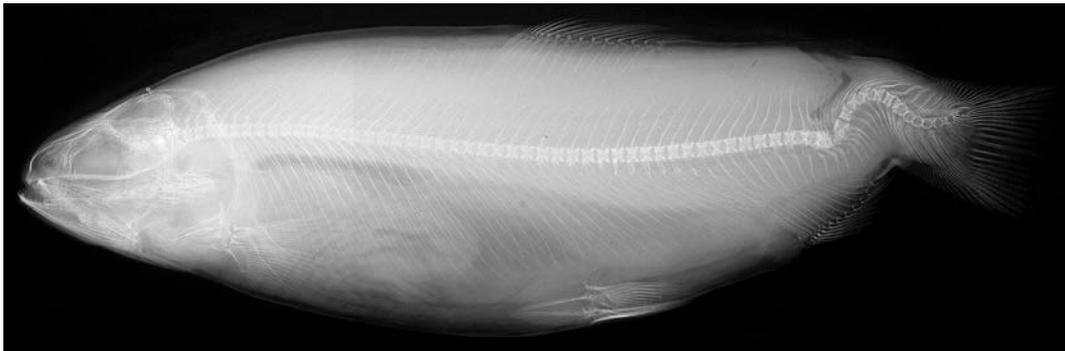


Figure 3 : Radiographie de truitelle présentant une compression sévère des vertèbres dans la zone caudale.

vertèbres (Fig. 3), chez les poissons traités, mais aussi sur les témoins diploïdes (de l'ordre de 15%). Compte tenu des implications potentielles de ces observations pour la filière, j'ai décidé de mener un suivi précis des différents types de malformations, qui a été alors réalisé sous mon encadrement par un étudiant en Master 2 en césure, Vincent Houis (Haffray et al., 2007 ; *Cong*. 77). L'importance des malformations dans les filières piscicoles avait déjà été montrée (Madsen and Dalsgaard, 1999), Certaines causes de ces déformations qui affectent souvent le squelette étaient en partie connues : forte carence vitaminique (Cahu et al., 2003), pathologies bactériennes (Meyers, 1989 ; Kvellestad et al., 2000), vitesse de croissance (exemple extrême des transgéniques GH ; Devlin et al., 1995). Néanmoins, aucun des phénomènes décrits dans la littérature ne correspondait complètement au syndrome observé à la SEMII. Il nous fallait alors répondre à deux questions :

- quel était le déterminisme précoce de ces malformations ?

- quels moyens de lutte mettre en place ?

Pour répondre à ces questions, j'ai proposé plusieurs projets. Sur le premier volet nous avons bâti une collaboration avec François-Jean Meunier Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et un de ses étudiants Adnane Kacem, pour comprendre les caractéristiques histo-morphologiques du phénomène, en utilisant des approches de mesures physiques et de micro-radiographie (Kacem et al., 2004 ; [ACL35](#)). Ces travaux se sont poursuivis ensuite dans le cadre d'un projet que j'ai construit, financé par l'OFIMER, portant sur l'impact des facteurs technologiques précoces sur la qualité des juvéniles et les rendements à la transformation chez la truite arc-en-ciel, en collaboration avec Florence Lefèvre du laboratoire de physiologie de l'INRA de Rennes (Aubin et al., 2002 ; [R12](#)). Ces travaux ont notamment montré une cinétique particulière de la calcification de l'axe vertébral, avec l'apparition de lacunes dans le tissu osseux de certaines vertèbres, se trouvant alors fragilisées. Plusieurs hypothèses ont été émises concernant les causes du phénomène, notamment celle d'une mobilisation des tissus osseux pour faire face à la demande en calcium due à la croissance rapide de la masse musculaire.

La question des méthodes de lutte contre le syndrome de compression vertébrale a été engagée de façon plus empirique. Plusieurs hypothèses ont été initialement proposées comme pouvant expliquer le phénomène de compression de vertèbres observé chez les alevins :

- une cause nutritionnelle, pouvant avoir une origine parentale (réserves de l'œuf) ou liée à l'aliment
- une cause génétique provenant d'une sensibilité particulière des souches utilisées sur le site expérimental
- une cause pathologique due à un agent pathogène non identifié

Parce que cette dernière hypothèse était la plus simple à tester, nous avons décidé de réaliser un test par un traitement antibiotique (Florphenicol) par voie alimentaire dès l'ouverture de la bouche des larves jusqu'à quelques grammes, en parallèle d'un lot témoin. Nous avons retrouvé le taux d'environ 15 % de malformations sur le lot témoin et descendu ce taux à 3% sur le lot traité avec l'antibiotique. Les produits thérapeutiques en pisciculture sont rares et l'utilisation prophylactique des antibiotiques, en particulier, est à proscrire absolument. Nous avons préféré rechercher une voie alternative au traitement plutôt que de diffuser cette information et courir le risque de voir se généraliser des traitements préventifs antibiotiques dès le stade éclosion en pisciculture de truite. Même si elle avait été peu testée sur les poissons à l'époque, la voie de la manipulation de la flore du tube digestif pouvait être une alternative plus durable que le traitement antibiotique (Gatesoupe, 1999), notamment parce qu'elle ne conduit pas à l'apparition de résistances. Il avait par exemple été montré des effets de protection contre des maladies communes chez la truite

Encart 2

Aubin, J.; Gatesoupe, F.J.; Labbé, L.; Lebrun, L. 2005. **Trial of probiotics to prevent the vertebral column compression syndrome in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)** *Aquaculture Research*, 36 (8), 758-767.

Abstract:

Two probiotics were tested as alternative treatment to limit the prevalence of the Vertebral Column Compression Syndrome (VCCS) in rainbow trout, compared with a preventive treatment with florfenicol. Either the antibiotic, or a lactic acid bacterium, *Pediococcus acidilactici*, or a yeast, *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, was introduced into experimental diets, which were compared to the control diet without supplementation. The antibiotic caused some mortality during the first weeks after treatment, likely due to the toxicity of the compound. However, this antibiotic treatment limited the occurrence of VCCS to 3%, vs. 13% of fish affected in the control group. *P. acidilactici* provided the same level of protection as the antibiotic, but on condition that the treatment was applied during the five months of the experiment, without any adverse effect on survival. A treatment with *P. acidilactici* only during the first 20 days of feeding was not sufficient to limit VCCS, nor was sufficient the treatment with the yeast. These results were discussed while comparing the microbiota associated with the intestine. The experiment reinforced the hypothesis that pathogenic bacteria are involved in VCCS. The long-term dietary supplementation with *P. acidilactici* seemed promising as a preventive treatment against the syndrome, but large scale investigation in fish farms will be necessary to confirm its prophylactic relevance.

(Yersiniose) en utilisant des bactéries autochtones du tube digestif (Robertson et al., 2000). Certaines levures montraient une capacité d'adhérence pouvant éviter l'implantation de pathogènes (Gedek, 1999) et certaines bactéries lactiques montraient aussi une capacité d'adhérence aux tissus animaux (Benito et al., 1996). Ce champ de recherche de lutte contre des problèmes physiologiques ou pathologiques était nouveau en aquaculture mais prometteur. J'ai contacté François-Joël Gatesoupe chercheur à l'UMR Ifremer-Inra NUAGE de Brest qui est un spécialiste de la flore digestive des poissons (marins notamment). Nous avons construit un projet de recherche financé par l'OFIMER, que j'ai piloté et qui couvrait des volets zootechniques, de microbiologie du tube digestif et d'analyse de la réponse immunitaire associés à l'utilisation de probiotiques. Nous avons rassemblé dans ce projet un partenaire privé (Lallemand) producteur de probiotiques, Claire Quentel chercheur en immunologie à l'AFSSA de Brest, un fabricant d'aliment et des pisciculteurs (productions de truite et bar). Les questions auxquelles nous avons cherché à répondre avaient un volet cognitif et opérationnel :

- des probiotiques déjà proposés sur le marché pour les animaux terrestres avaient ils la capacité de s'implanter dans le tube digestif des poissons ?
- ces probiotiques modifient ils la flore digestive de leur hôte ?
- ces probiotiques ont-ils un effet protecteur contre certaines maladies et de stimulation de l'immunité chez la truite ?
- Ces probiotiques ont-ils un effet sur la fréquence d'apparition du syndrome de compression de vertèbres ?

Nous avons testé les effets de l'incorporation dans l'aliment, dès la première alimentation, d'une bactérie lactique (*Pediococcus acidilactici*), d'une levure (*Saccharomyces cerevisiae*) et de leur mélange. L'utilisation de la bactérie lactique a montré des résultats positifs, réduisant à 3% la fréquence des compressions de vertèbres chez les alevins (Aubin et al., 2005 ; ACL.31 ; encart 2). Les contrôles de la flore digestive ont montré la présence de la bactérie lactique dans le tube digestive et une modification de l'équilibre entre les différents groupes du microbiote (Gatesoupe et al., 2005 ; P.10, P.11). Par ailleurs des tests de résistance à un pathogène classique en salmoniculture (*Yersinia ruckeri*) ont montré un effet bénéfique potentiel de la bactérie lactique et une amélioration de la réponse immunitaire humorale (Quentel et al., 2005 ; P.12). L'ensemble de ces résultats semble indiquer une cause pathologique, surtout qu'un candidat plausible a été suspecté : *Flavobacterium psychrophilum*, bactérie (sensible au Florphénicol) qui induit une mortalité importante chez les alevins de truite. Néanmoins, les travaux que nous avons conduits ne nous permettent pas de conclure formellement à l'action d'un pathogène, ni d'expliquer le rôle du probiotique. S'agit-il d'une action directe sur le pathogène ? D'une stimulation du système immunitaire permettant au poisson de lutter contre le pathogène ? D'une modification de la flore digestive, défavorable au pathogène ? D'une stimulation du transfert des nutriments via les parois digestives permettant une meilleure calcification ? De la combinaison de différents effets ? ...

Ces travaux ont conduit au dépôt d'un brevet (Aubin et al., 2004 ; B.1). Le brevet limité aux salmonidés, n'a été que peu utilisé. Ces travaux ont néanmoins permis d'obtenir la première autorisation d'utilisation de probiotiques dans l'alimentation des poissons auprès des instances européennes. Une gamme d'aliment démarrage pour poissons marins (où les problèmes de malformations vertébrales sont généralisés), utilisant *Pediococcus acidilactici* a été développée par Biomar (un fabricant d'aliment) en 2014.

4. Contributions dans les études sur la qualité de la chair

Durant ces années à la SEMII, j'ai collaboré activement aux études sur le déterminisme de la qualité de la chair chez les salmonidés. J'ai d'abord développé des compétences dans la

maîtrise des outils comme le Fat-meter (permettant de mesurer la teneur en lipides de la chair) ou l'échographe, puis participé aux réflexions scientifiques issues des réponses apportées par ces outils. Mon domaine d'intervention concernait principalement l'influence des facteurs de l'environnement sur les résultats des analyses de qualité de chair.

L'échographe a été employé pour mesurer l'épaisseur de la paroi abdominale, utilisée alors comme critère indirect de sélection (non invasif) sur le rendement en carcasse et développé dans le cadre de la thèse de Stéphane Bonnet (Bonnet et al., 2002 ; [ACL.40](#)). Ces travaux pilotés scientifiquement par Benoît Fauconneau (INRA physiologie, Rennes) et Edwige Quillet (INRA, génétique, Jouy) ont été par la suite transférés au SYSAAF.

Le Fat-meter est l'outil qui a servi à la sélection de deux lignées divergentes sur la teneur en lipides du muscle (grasse et maigre) (Quillet et al., 2005 ; [ACL.34](#)), dont j'ai assuré la réalisation opérationnelle avec Lionel Goardon (Assistant Ingénieur à la SEMII). Cette sélection a été valorisée par la suite dans de nombreux travaux combinant approches nutritionnelles et génétiques (Quillet et al., 2007 ; [ACL.29](#)), qui se poursuivent actuellement en partenariat avec les équipes de nutritionnistes des poissons, (NUMEA, INRA, St Pée sur Nivelle).

Parmi les questions associées aux conditions d'élevage, celles de leur influence sur l'apparition de défauts de texture (*gapping*, syndrome de chair molle) a aussi fait l'objet de travaux pilotés par Florence Lefèvre et Jérôme Bugeon (INRA, Physiologie, Rennes), où j'ai eu une part active dans la formulation de la question scientifique et dans la réalisation. Il s'agissait notamment de tester l'interaction des niveaux d'oxygène durant la phase d'élevage et du stress à l'abattage, sur la structure du muscle et la qualité de la chair (Lefèvre et al., 2008 ; [ACL.26](#) ; Lefèvre et al., 2007 ; [ACL.28](#)).

5. Bilan

Ces années de travail comme ingénieur responsable d'élevages expérimentaux ont été particulièrement riches. J'ai développé à la fois une culture de l'élevage piscicole et de différentes approches scientifiques et expérimentales. J'ai collaboré auprès d'un nombre important de chercheurs français dans un panel très large de disciplines scientifiques : physiologies de la reproduction, de la croissance, de l'adaptation, nutrition, génétique...

J'ai eu l'occasion de conduire mes propres travaux scientifiques (sur la survie en mer des truites, les malformations vertébrales...), d'en susciter et d'interagir sur des programmes scientifiques variés. C'est à la SEMII que j'ai pu apprécier l'intérêt des programmes pluridisciplinaires, notamment ceux portant sur génétique-nutrition-qualité de la chair. Nous avons la chance d'avoir un outil expérimental permettant de traiter ces questions transversales depuis la sélection des géniteurs, l'écloserie, l'élevage des jeunes puis des poissons commercialisables (en eau douce et eau de mer), jusqu'à leur découpe et leur fumage. Nous avons pu engager des recherches à la fois pluridisciplinaires et originales, avec le soutien d'une équipe technique performante et motivée.

De cette période, j'ai conservé un réseau de contacts de scientifiques avec lesquels je continue à collaborer plus ou moins directement. La connaissance pratique et scientifique des systèmes de production piscicole que j'ai développée durant cette période a été essentielle pour la conduite des travaux qui ont suivi ; sur le plan cognitif bien sûr, mais aussi pour la crédibilité que j'ai acquise dans les milieux professionnels et scientifiques.

Partie 2 : ANALYSER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA PISCICULTURE

1. Cadre général

La thématique scientifique que j'aborde actuellement est celle de l'analyse environnementale des systèmes de production animaux avec comme objet de recherche spécifique : la pisciculture. Il s'agit d'un renversement de thématique par rapport à la période précédente. Je mobilisais mes connaissances du système piscicole pour analyser l'influence des paramètres de l'environnement (naturels ou liés aux pratiques d'élevage) sur les performances des poissons et de l'élevage, pour maintenant mobiliser ces mêmes connaissances du système d'élevage, pour comprendre son impact sur l'environnement.

L'aquaculture n'échappe pas aux interrogations qui s'appliquent aux systèmes de production alimentaire en général. A l'échelle globale, l'influence des systèmes alimentaires sur l'environnement ne cesse de croître, en lien avec l'accroissement de la population mondiale, la diminution des ressources (énergie fossile, eau douce, écosystèmes marins et terrestres), les dérèglements climatiques liés aux activités humaines, et la concurrence entre les activités productives et récréatives. Dans ce contexte, la réponse uni-factorielle apportée par la mesure de nutriments et de xénobiotiques émis dans l'eau par les systèmes de production aquacoles, n'est plus suffisante pour éclairer les enjeux environnementaux du développement de cette activité. Il devient nécessaire de prendre en considération la consommation de ressources aussi diverses que l'énergie, l'eau, les protéines, ainsi que l'émission de matières potentiellement polluantes comme les déchets métaboliques, les xénobiotiques, les gaz à effet de serre... Le défi consiste, à partir d'informations nombreuses, d'origines diverses et de qualité variable de produire un diagnostic synthétique permettant d'apprécier le niveau d'impact environnemental de l'activité et d'aider à l'orientation de choix techniques ou institutionnels. C'est en particulier l'objectif des analyses environnementales comme l'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Depuis mon arrivée à l'UMR SAS, mon activité scientifique a donc été centrée sur l'adaptation du cadre de l'ACV pour réaliser des analyses environnementales de la pisciculture avec deux axes particuliers :

- Quels éléments est-il nécessaire d'introduire dans le cadre de l'ACV pour permettre une évaluation environnementale des systèmes piscicoles ?
- Quelles informations nous apportent l'ACV sur les systèmes piscicoles et comment cette information nous permet-elle de faire des choix pour leur orientation ?

Ces deux questions ne sont pas traitées de façons indépendantes. Nous avons pris le parti que c'est au travers de l'analyse de cas d'études que nous serions capables de faire émerger des questions fondamentales pour les systèmes aquacoles et pour l'ACV.

Je vais d'abord présenter brièvement les caractéristiques de l'ACV et de son application en pisciculture avant de reprendre ces différents points.

2. L'Analyse du Cycle de Vie

L'ACV est une méthode d'analyse environnementale qui a d'abord été conçue pour le secteur industriel dans les années 1970. Elle est adaptée à l'agriculture depuis la fin des années 1990 (van der Werf and Petit, 2002). Allant au-delà d'une simple description, elle peut être utilisée pour faire émerger des voies d'amélioration des systèmes de production (Jolliet et al., 2010). Cette méthode marque aussi un changement dans la façon de concevoir notre lien à l'environnement par sa vision à la fois comptable et systémique.

La première notion de l'ACV qui a fait évoluer notre point de vue sur les impacts environnementaux est celle de « cycle de vie ». Il ne s'agit plus seulement d'évaluer les conséquences sur l'environnement du fonctionnement d'un appareil ou de l'utilisation d'un produit, mais de le resituer dans une chaîne qui va de la production de ces constituants (et

de l'énergie nécessaire à sa fabrication) jusqu'à la gestion des déchets qu'il génère, ou de son recyclage lors de sa fin de vie. C'est l'approche dite du berceau à la tombe (Guinée et al., 2002 ; Joint Research Center, 2010). Néanmoins, il faut remarquer que dans les ACV réalisées dans les systèmes agricoles, le cycle n'est pas entièrement bouclé et qu'on s'arrête souvent à la sortie de la ferme (*cradle to gate*). A chacune des étapes du cycle de vie, il y a bien utilisation de ressources et émission de polluants. De ce fait, le choix d'un produit plutôt qu'un autre influe directement ou indirectement sur des étapes de conception ou d'utilisation de matériaux parfois rares, ou pouvant altérer des milieux sensibles. Le corollaire de cette notion, dans une économie mondialisée comme la nôtre, est que les différentes étapes de la vie d'un produit peuvent se dérouler dans des zones géographiques très variées et donc dans des contextes économiques, sociaux et environnementaux très divers. L'ACV met donc en évidence des phénomènes de responsabilité écologique qui étaient souvent limitées jusqu'ici à des transferts économiques.

Un des apports importants de l'ACV aux analyses de la durabilité en général, c'est son caractère multicritère. Souvent affaire de spécialistes, les questions d'environnement étaient centrées sur un critère jugé clé et résumant l'ensemble des conséquences environnementales. C'est toujours un peu le cas quand on constate la prédominance de l'empreinte carbone (ou l'émission de nitrates) dans les débats sur l'environnement. En proposant un ensemble de catégories d'impact associées à l'utilisation de ressources (eau, surface terrestre, ressources énergétiques ...) ou à l'émission de polluants dans différents compartiments (eau, sol, air), affectant des cibles différentes comme la santé humaine ou celle des écosystèmes, l'ACV permet de dresser un panorama assez complet des conséquences environnementales d'une activité. Cet éventail de catégories d'impact permet de proposer une vision mesurée des conséquences (certains impacts pouvant être bas ou élevés) et de discuter plus finement des différents impacts en fonction de leurs contextes (sensibilité du milieu à telle ou telle substance). C'est aussi le moyen de mettre en évidence des transferts d'impacts lors de changement de pratiques ou de systèmes de production, c'est-à-dire l'augmentation potentielle de certains impacts concomitamment à la réduction de certains autres, prévue initialement. Il s'agit donc d'un outil puissant d'aide à la décision, mais qui comporte plusieurs écueils :

- Celui de la complétude : il manque encore un certain nombre de catégories d'impact opérationnelles, comme la biodiversité, pour laquelle il n'existe pas encore de cadre consensuel de calcul.
- Celui de l'interprétation et de la prise de décision : la multiplicité des indicateurs (surtout s'ils ne vont pas dans le même sens) rend difficile la compréhension du diagnostic et complique la prise de décision. Suivant les objectifs de l'étude on choisira donc un ensemble de catégories d'impact adaptées et en nombre à la fois suffisant et limité.

Cependant, un avantage de l'ACV réside dans son caractère normalisé. Comme outil de mesure, il a été nécessaire de fixer les grandes règles régissant son fonctionnement et permettant de fixer les normes de qualité d'une ACV. Ce point est d'autant plus important quand ce type d'étude n'est plus utilisé uniquement comme outil de management interne, mais aussi comme base de communication vers des clients ou vers les consommateurs. C'est la méthode ACV qui doit servir de base à l'affichage environnemental des produits de consommation courante, actuellement à l'étude en Europe (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Product-Environmental-Footprint.html>). Ainsi, une norme ISO présente la méthode, son déroulement et fixe des règles méthodologiques (ISO, 2006a, b). Il faut néanmoins signaler que si la norme décrit bien le déroulement d'une étude ACV, elle ne dit rien du choix des indicateurs, des modèles de calculs des émissions polluantes ou des méthodes d'analyse des résultats. Il s'agit donc d'un cadre méthodologique qu'il est important d'enrichir et d'adapter au contexte de l'étude. La norme fixe quatre étapes que nous allons parcourir pour comprendre les caractéristiques de la méthode (Fig.4).

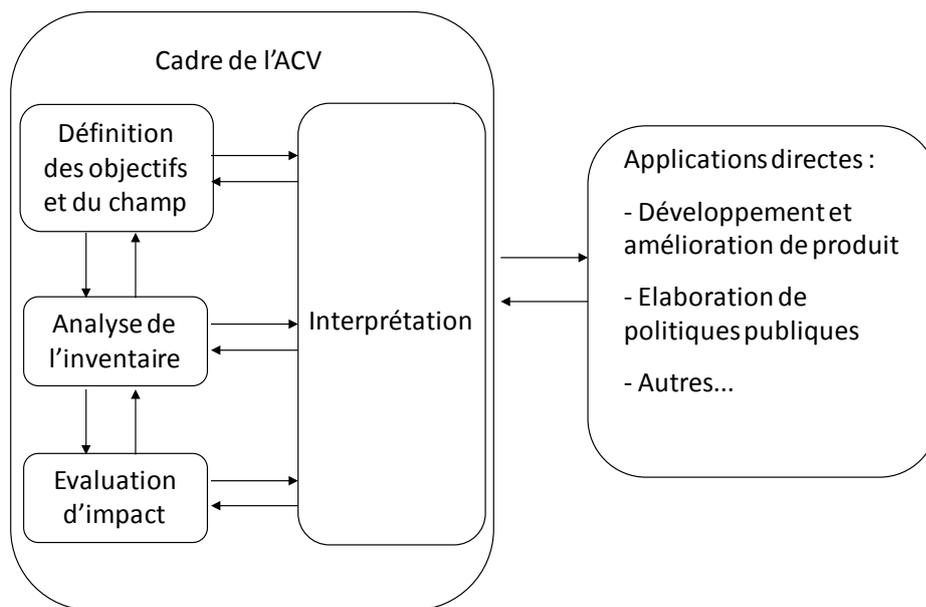


Figure 4: Cadre méthodologique : les quatre étapes de l'Analyse en Cycle de Vie, ACV (D'après ISO 14044, 2006)

a. La définition du champ de l'étude, des limites du système étudié

La première étape de l'ACV consiste à définir les objectifs de l'étude et les limites du système considéré. C'est une étape importante car elle fixe l'orientation du travail : à quelle(s) question(s) cherche-t-on à répondre par cette étude ? Et comment seront utilisés les résultats ? Elle définit aussi l'unité fonctionnelle, c'est-à-dire quelle est l'unité de référence avec laquelle seront exprimés les résultats. C'est elle qui guide l'étude. Classiquement dans le domaine des productions agricoles, l'unité fonctionnelle est le kg de produit (kg de blé, kg de lait, kg de poisson...) mais on peut imaginer d'autres fonctions au système étudié comme concourir à l'alimentation de la population (kg de protéines, kcal...), ou apporter un revenu (€). A la lumière des objectifs et de la fonction étudiée, on pourra définir les limites du système : son étendue, les éléments qui seront pris en compte ou non, ses limites temporelles aussi, en définissant si l'on étudie le système à l'échelle de l'année, de la décennie...

En agriculture, l'analyse environnementale est généralement réalisée à l'échelle de l'exploitation. Ce niveau d'analyse doit permettre de montrer la variabilité des impacts environnementaux potentiels en fonction des types de production (cultures, élevages, ...), des modes de production (rotations, lien au sol pour les élevages,...) et des choix de gestion technique (niveaux d'intensification, conventionnel ou biologique,...).

Ainsi le système de production étudié comprend :

- La production et l'acheminement des intrants (aliment, ressources énergétiques, produits de traitement, semences...),
- La production des équipements utilisés sur l'exploitation (pompes, trieurs, aérateurs...)
- La construction des infrastructures (bâtiments, bassins, étangs...)
- L'utilisation des intrants et leur transformation sur l'exploitation
- Le transport des éléments entre chaque étape des processus

Rappelons qu'en agriculture, l'étude s'arrête le plus souvent à la porte de la ferme, et ne comprend donc pas l'utilisation des produits agricoles, leur transformation, distribution et consommation. Les limites du système sont intimement liées au questionnement initial.

b. L'inventaire des extractions et des émissions du système

La deuxième étape, est celle de l'inventaire. Il s'agit de recueillir toutes les données permettant de caractériser le système, d'en évaluer les émissions et les consommations de ressources. Cette étape a recours à des enquêtes et à des descriptions de matériel, de procédés, d'étapes techniques, de mesures de performances. Les données non directement accessibles sont fréquemment modélisées, comme par exemple pour évaluer les rejets des poissons en élevage, ou les transferts de polluants dans les sols, l'eau ou l'air. Les données concernant les extractions de ressources et les émissions de polluants au niveau de l'exploitation sont en général relatives à une année ou un cycle de production particulier ou éventuellement basées sur l'élaboration de scénarios alternatifs (objectif de production, densités, introduction de nouvelles techniques...). L'accessibilité des données représentatives, précises, de qualité, et clairement caractérisées (métadonnées) est un des points clés de cette étape, et de l'ACV en général.

Dans cette phase, il est nécessaire de recourir à des bases de données pour calculer les éléments de l'inventaire. Ces bases de données, publiques ou payantes contiennent des inventaires déjà calculés pour certains produits ou étapes du cycle de vie. De leur qualité dépend la qualité des analyses effectuées. C'est aussi dans cette phase que se pose la question des règles d'allocation des impacts entre les différents co-produits d'un système de production ; par exemple la répartition des impacts de la culture entre le grain et la paille d'un blé.

c. L'évaluation des impacts, par l'agrégation des données

La troisième étape est celle du calcul des impacts. Il s'agit d'agrèger les données d'émission et de consommation issues de l'inventaire, dans des catégories d'impacts représentant des atteintes potentielles à l'environnement. Pour cela on utilise des modèles ou des facteurs de caractérisation qui font le lien entre l'effet d'une substance et celui d'une molécule de référence. On utilise par exemple les modèles du GIEC (http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml) pour mesurer le changement climatique en kg d'équivalent CO₂. Il existe différentes méthodes utilisées en ACV, qui comprennent chacune, un ensemble de catégories d'impact avec leurs règles de calcul et d'agrégation des valeurs de chacun des éléments de l'inventaire. Certaines sont dites mid-point, c'est-à-dire qu'elles sont orientées sur différents problèmes environnementaux comme l'eutrophisation ou l'acidification, alors que les catégories dites end-point sont orientées sur les dommages comme la santé humaine. L'existence de ces différentes méthodes, pousse les utilisateurs à la transparence, en signalant quelles sont celles qui sont employées.

d. L'interprétation des résultats

La quatrième étape est celle de l'interprétation. Elle consiste à présenter et analyser les résultats de l'évaluation de l'impact afin de dégager des conclusions et des recommandations. Compte tenu du manque de valeurs de référence pour les différents produits et impacts, on procède généralement par comparaison des performances. On peut ainsi déterminer quels sont les impacts environnementaux caractéristiques du produit étudié et donc les axes d'amélioration potentiels. Ces comparaisons permettent par ailleurs de vérifier la cohérence des résultats. On peut aussi analyser la contribution de chacun des processus (étapes du cycle de vie, mais aussi d'une substance ou d'une ressource) aux différentes catégories d'impact. Par cette analyse, il est possible de déterminer les leviers utilisables dans une amélioration environnementale du système. L'étape d'interprétation peut comprendre aussi une analyse de sensibilité, qui mesure l'effet de la variation de certains paramètres clés sur le niveau des impacts et donc d'apprécier la robustesse des résultats.

Une analyse de l'incertitude permettant de qualifier la qualité des résultats en fonction des données et modèles utilisés, est également recommandée.

3. Adapter le cadre l'Analyse du Cycle de Vie au domaine de la pisciculture.

Les normes ISO associées à l'ACV fixent le cadre d'une démarche générique. Ce cadre décrit les différentes étapes de la démarche et quelques règles de fonctionnement. A l'intérieur de ce cadre, les méthodes associées, notamment celles qui permettent de produire les inventaires des ressources utilisées et des polluants émis, ne sont pas décrites. C'est une grande force de l'ACV que d'être suffisamment générique pour s'adapter à un grand nombre de systèmes productifs (services, industrie, agriculture...), à différentes échelles (système agricole, usine, processus de transformation, produit...)... Néanmoins, la qualité d'une étude ACV sera dépendante de la qualité du questionnement initial et de la définition du système et des catégories d'impact choisies, mais aussi de la qualité (et quantité) des données recueillies et des modèles qui permettent de mettre en rapport le fonctionnement du système étudié avec la consommation en intrants, l'émission, le transfert et le devenir des émissions polluantes.

a. Mieux évaluer les émissions des systèmes aquacoles

Dans le cadre d'une synthèse bibliographique (Aubin, 2013 ;S.1 ; *encart 3*), j'ai pu montrer la variété des systèmes de production piscicoles dont l'impact environnemental a été étudié par ACV. En 2013, près d'un tiers des études avaient été conduites en collaboration avec notre équipe. Les cas d'étude sont encore dominés par des systèmes industriels développés en occident (élevage de salmonidés, bars, turbots...) dont l'ensemble des ressources sont apportées par l'homme et dont les rejets sont directement déversés dans le milieu aquatique. Dans ce cadre, l'ACV des systèmes piscicoles a pu s'appuyer sur les travaux réalisés antérieurement en agriculture pour caractériser les intrants : les ingrédients de l'aliment, les structures d'élevage, le matériel, les sources d'énergie, etc... Dans la plupart des cas, les études ont utilisé la modélisation pour quantifier les émissions polluantes, notamment l'azote et le phosphore émis dans l'eau, en s'appuyant sur des approches de bilan de masse développées par les nutritionnistes, spécifiques aux poissons (dont les principes sont communs avec ceux des élevages de monogastriques). Dans mes travaux, les émissions de déchets métaboliques de l'élevage sont estimées grâce à un modèle nutritionnel d'évaluation des rejets (Cho et Kaushik, 1990 ; Bureau et al., 2002 ; Papatryphon et al., 2005) puis confrontées aux valeurs issues des autocontrôles de l'éleveur, ou de mesures réalisées sur site.

Si ces modélisations prennent bien en compte les émissions à l'échelle du poisson, elles reflètent mal les modifications qui ont lieu à l'intérieur des sites piscicoles. Ces questionnements ont été abordés notamment avec nos collègues d'Ifremer durant la thèse d'Emmanuelle Roque d'Orbcastel (Roque d'Orbcastel et al., 2008 ; [ACL.27](#)), dont j'ai assuré l'encadrement de la partie ACV. Pour pallier ce problème nous avons mobilisé les mesures de qualité d'eau en entrée et sortie de site, conduites dans les piscicultures de truite françaises dans le cadre du programme IDAqua (financé par le CASDAR et piloté par le CIPA et l'ITAVI). Ces mesures nous ont permis de re-calibrer les modèles d'émission d'azote et phosphore à l'échelle des piscicultures (Aubin et al., 2011 ; [ACL.19](#)). Ces actions de terrain d'envergure ont été l'occasion de l'encadrement de cinq étudiants de niveau Master 2. Les modèles d'émission d'azote et phosphore corrigés ont par la suite été mobilisés pour calculer les impacts environnementaux par ACV des différents types de pisciculture de truite en France (Chen et al., 2014 ; [ACL.3](#)).

Sur le plan environnemental, de grandes différences existent entre les systèmes en étang (souvent en eaux closes) et ceux en eaux libres (rivière, lac, mer). L'étang, en lien avec un

réseau hydrographique dans la majorité des cas, en reçoit des quantités de matières qui peuvent être du même ordre (voire largement supérieures), aux quantités émises par l'élevage des poissons. D'autre part, l'ensemble de ces matières évolue de façon complexe dans l'étang entrant dans les chaînes trophiques, sédimentant ou étant remobilisées depuis les sédiments. Par ailleurs, les phases successives aérobies et anaérobies sont susceptibles d'induire des phénomènes de dénitrification et de méthanisation pouvant induire des émissions gazeuses. Dans les ACV réalisées sur les systèmes d'étangs, l'utilisation des bilans de masse à l'échelle des poissons a été complétée par des modèles de devenir des fractions azotées, issus de la littérature (Gross et al., 2000). C'est notamment le travail que nous avons conduit dans le cadre de la thèse de Thomas Efolé-Ewoukem (Efolé-Ewoukem et al., 2012 ; [ACL.15](#)) sur les étangs familiaux au Cameroun, ou dans l'étude des systèmes d'étangs côtiers aux Philippines (Aubin et al., 2015 ; [ACL.1](#)) dans le cadre du projet ANR EVAD (Evaluation de la durabilité de l'aquaculture, 2005-2008). Néanmoins, ces modèles ne permettent pas encore de représenter de façon précise les émissions de ces systèmes complexes, et ne prennent pas en compte les émissions de méthane. Un travail préliminaire sur ce thème a été conduit avec T. Efolé-Ewoukem montrant l'influence des combinaisons intrants et assemblage de poissons sur les émissions gazeuses (Efolé-Ewoukem et al., 2012 ; [Cong.18](#)). Une meilleure prise en compte de ces phénomènes complexes dans la constitution des Inventaires du Cycle de Vie (ICV) est une nécessité pour caractériser ces systèmes de production en étang qui sont la source principale de la production piscicole à l'échelle mondiale.

b. Proposer des catégories d'impact adaptées

Différentes catégories d'impact potentiel ont été jugées comme pertinentes pour l'aquaculture. Celles qui sont disponibles actuellement sont les suivantes (Aubin, 2013 ; S.1) :

- L'eutrophisation, exprimée en kg d'équivalent phosphates (PO₄-eq), concerne les impacts sur les écosystèmes aquatiques et terrestres dus à un enrichissement en azote et phosphore, comme par exemple une prolifération anarchique d'algues qui consomment l'oxygène disponible au niveau des sédiments pour lmeur décomposition.
- Le changement climatique, exprimé en kg d'équivalent dioxyde de carbone (CO₂-eq), qui évalue la production de gaz à effet de serre par le système.
- L'utilisation d'énergie, exprimée en Méga Joules (MJ), qui regroupe l'ensemble des ressources énergétiques utilisées.
- L'acidification exprimée en kg d'équivalent dioxyde de soufre (SO₂-eq), qui regroupe l'ensemble des émissions de molécules acidifiant les terres et les eaux.
- L'occupation de surface terrestre exprimée en m².année.

Toutes ces catégories d'impact sont exprimées par rapport à l'unité fonctionnelle souvent réduite à la

Encart 3

Aubin, J., 2013. Life Cycle Analysis as applied to environmental choices regarding farmed or wildcaught fish, CAB Reviews.8, N°11 CAB International.

Abstract:

Fish production is facing increasing worldwide demand while fish landings are plateauing. Fish production is the only kind of animal production that is still dominated by extractive activity, endangered due to over-exploitation of natural resources and a rearing activity with a rapid expansion. Life Cycle Assessment (LCA), which estimates local- to global-scale environmental impacts, has been adapted to seafood production systems. Scientific publications increasingly propose methodological improvements and case-study applications of LCA in the fishery and aquaculture sectors, with the double objective of better describing and understanding their biophysical interactions with the environment and supporting decision-making and eco-labeling of seafood products. In particular, development of innovative indicators better defines impacts of fisheries on the marine ecosystem (e.g., benthos damage, by-catch, biotic resource use). Nevertheless, the lack of consensus about methodological questions (e.g., co-product allocation rules, system boundary definition) weakens comparisons between studies and limits generalization of results and dissemination of methods. This paper reviews published applications of LCA to farmed and wild-caught fish.

production d'une tonne de biomasse de poisson.

Certaines catégories d'impact ont aussi été créées pour répondre aux spécificités des élevages de poisson. C'est notamment le cas pour l'utilisation de production primaire nette (UPPN) qui caractérise la pression sur la ressource biotique (calculée en quantité de carbone de production primaire) et permet ainsi de mesurer la pression environnementale due au recours aux farines et huiles de poisson dans les aliments piscicoles (Papathyphon et al., 2004a). Cette catégorie d'impact avait été proposée par l'équipe antérieurement à mon arrivée. Elle a été intégrée de façon systématique à mes travaux. Dans mes premières études, j'ai proposé une approche pour qualifier la dépendance de ces systèmes de production au milieu aquatique (Aubin et al., 2009 ; [ACL.23](#) ; encart 4). La dépendance à l'eau, repose sur la somme de l'eau utilisée pour la production des intrants et celle qui traverse le système piscicole pendant toute la phase de production. Cette catégorie d'impact traduit bien le lien avec le système aquatique mais elle ne permet pas de caractériser l'eau consommée pour produire un kg de poisson. Les mêmes catégories d'impact ont été utilisées dans les systèmes d'élevage aquacoles industriels et dans les systèmes en étang.

L'ACV a donc permis de dresser des profils d'impacts environnementaux de la pisciculture avec une série de catégories d'impact proposée par les méthodes de caractérisation classique comme CML (Guinée et al., 2002) et quelques indicateurs complémentaires (Utilisation de productivité primaire nette, Demande totale en énergie, dépendance à l'eau). Néanmoins, certaines spécificités des élevages aquacoles, parfois communes à toutes les productions animales, ne sont pas couvertes. C'est en particulier le cas de l'utilisation des médicaments vétérinaires et de l'émission de leurs résidus dans le milieu naturel, qui posent la question de la toxicité de ces résidus, de leur rémanence et de l'induction de résistances (pour les antibiotiques) (Naviner et al., 2011). C'est aussi le cas pour la dissémination de pathogènes pouvant affecter les populations sauvages. Un exemple très connu est celui des parasites copépodes (poux du saumon) affectant les élevages de saumon Atlantique et qui infestent maintenant les populations sauvages de salmonidés (Middlemas et al., 2013). Plus spécifiques aux élevages d'animaux aquatiques, les conséquences environnementales des échappements d'individus issus de populations d'élevage dans le milieu naturel ne sont pas prises en compte dans les ACV. Ces échappements peuvent induire différents types d'impact comme la perte de biodiversité génétique des populations sauvages de la même espèce, la concurrence trophique ou la prédation sur des populations sauvages d'autres espèces aquatiques, la modification drastique des biotopes... Les cadres méthodologiques permettant la prise en compte de ces risques environnementaux dans les ACV n'existent pas encore.

c. Prendre en compte la variabilité des pratiques

Dans la plupart des études ACV des systèmes piscicoles, le nombre des exploitations enquêtées est généralement trop faible par rapport aux enjeux de caractérisation environnementale des études. Le nombre de données à récolter par exploitation est en effet très important et il faut donc prendre en considération le temps nécessaire à chaque enquête. Un véritable travail préalable aux études ACV, sur les méthodes d'échantillonnage et la prise en compte a priori de la variabilité des performances dans la définition de la taille des échantillons est à mener : type d'enquêtes à réaliser, choix des pisciculteurs, mobilisation de différentes sources d'information ... (Efolé Ewoukem, 2011). Des traitements statistiques complémentaires peuvent aussi être envisagés pour maîtriser cette variabilité. C'est ce que nous avons développé en utilisant la méthode mathématique bootstrap (Efron, 1979) combinée à une analyse en composante principale pour mieux cerner l'incertitude liée à l'échantillonnage dans la construction d'une typologie environnementale des piscicultures de truite en France (Chen et al., 2014 ; [ACL.3](#)). Pour cela nous nous sommes appuyés sur les compétences en mathématique d'un étudiant en thèse de notre équipe, Xiaobo Chen dont la thèse porte sur l'incertitude en ACV.

Dans l'étude menée sur la pisciculture côtière aux Philippines, (Aubin et al., 2015 ; [ACL.1](#)) l'effectif de 15 exploitations est très limité même s'il permet de mettre en évidence des différences entre les performances. Cette étude, menée dans le cadre du projet EVAD financé par l'ANR (Encart 6), a été l'occasion de co-encadrer Aurèle Baruthio en stage de fin d'études d'ingénieur à l'ENSAT et de mobiliser Ratanawan Mungkung (de l'Université Kasetsart, Bangkok) recrutée comme postdoc dans le projet.

Dans cette étude, l'analyse des causes de la variabilité des performances environnementales montre l'importance de l'interaction entre les pratiques et le contexte physique dépendant du positionnement géographique. Quatre niveaux de facteurs d'hétérogénéité géographique ont pu être distingués :

- Ceux qui interagissent avec les pratiques (ici les niveaux de salinité de l'eau qui conditionnent le choix des espèces et la sensibilité à certaines maladies)
- Ceux qui conditionnent le transfert des polluants
- Ceux qui régissent la sensibilité des milieux aux polluants
- Ceux qui conditionnent la disponibilité des ressources (exemple : accès à l'eau)

La complexité induite par la combinaison de ces facteurs milite pour le développement d'approches spatialisées dans l'ACV à au moins deux niveaux : dans la caractérisation spatiale des éléments d'inventaire du cycle de vie, et dans la répartition géographique de l'expression des impacts. Les possibilités offertes par les systèmes d'information géographiques (SIG) ouvrent des voies intéressantes de réflexion. J'ai donc décidé de proposer un sujet de thèse portant sur la spatialisation de l'ACV dans des territoires agricoles. La thèse de Laure Nitschelm (Nitschelm et al., 2014 ; P.4) dont j'assume une part de l'encadrement a commencé en octobre 2013, et a permis d'associer en plus des compétences sur les ACV en systèmes d'élevage (Michael Corson), les collègues travaillant sur les sols (Christian Walter) et sur les paysages (Valérie Viaud). De façon indirecte, ce type d'approche va aussi nous conduire à reposer la question du choix de l'unité fonctionnelle, généralement définie comme une unité pondérale de produit, qui pourra s'ouvrir à des unités de surface pour mieux envisager le rôle de ces systèmes de production dans les territoires.

d. Adapter les méthodes d'allocation des impacts aux systèmes en polyculture

Un autre domaine d'amélioration méthodologique est pointée dans l'article portant sur la polyculture des Philippines (Aubin et al., 2015 ; [ACL.1](#) ; encart 5). Il s'agit du choix de la méthode d'allocation des impacts entre les différents produits d'un système de production complexe. Ce point est particulièrement débattu dans la communauté scientifique qui étudie l'ACV, en particulier dans le domaine pêche et aquaculture, mais n'a pas encore trouvé un consensus (Tyedmers and Pelletier, 2006; Ayer et al., 2007; Pelletier and Tyedmers, 2008; Pelletier and Tyedmers, 2011 ; Ardente and Cellura, 2012).

La difficulté majeure repose sur le fait que des règles d'allocation différentes induisent des résultats et des classements différents entre produits comme le montre la figure 5.

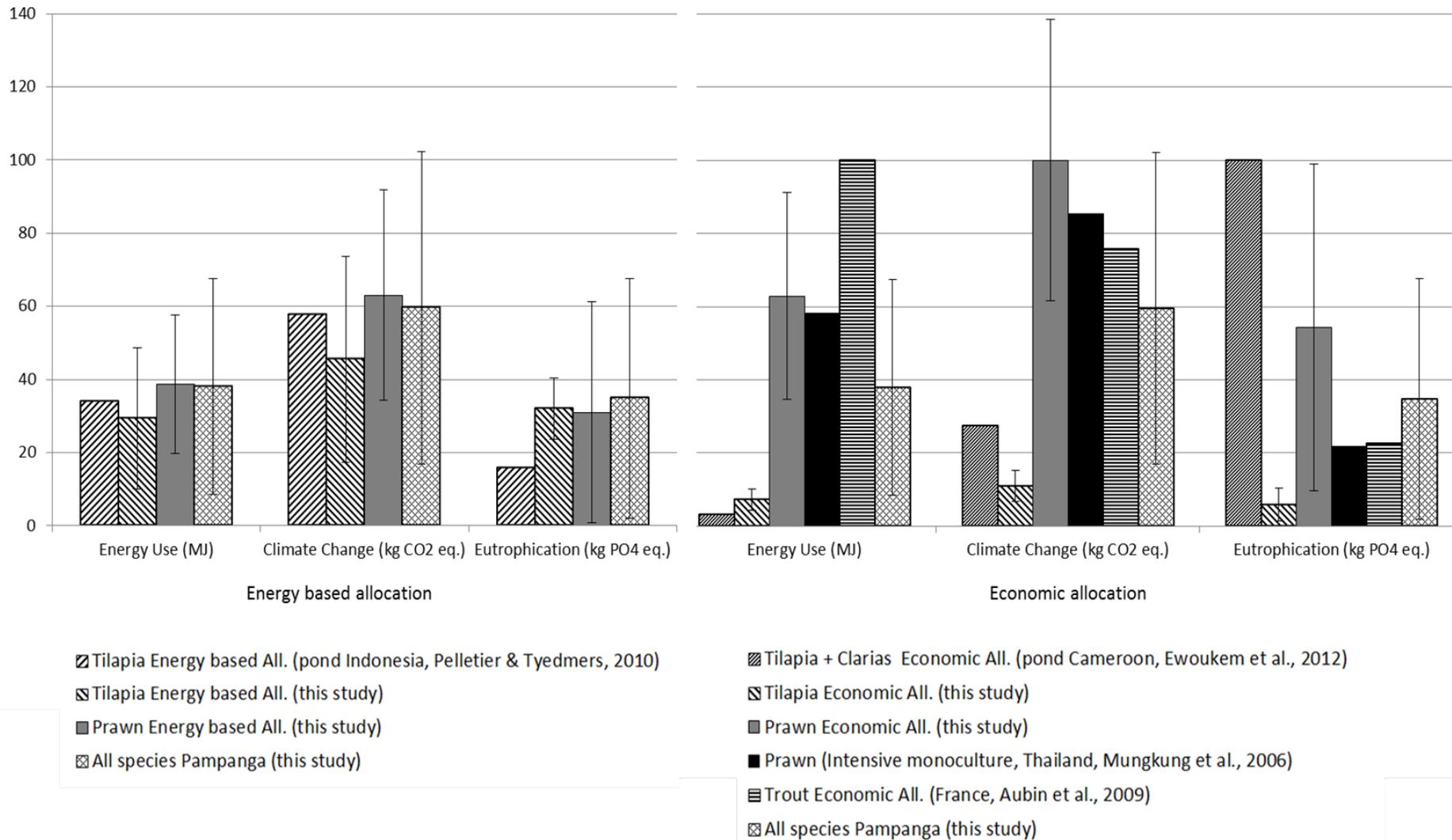


Figure 5 : Impacts relatifs utilisation d'énergie, changement climatique et eutrophisation calculés pour 1 tonne de production, selon les règles d'allocation des impacts par contenu énergétique ou valeur économique. Extrait de Aubin et al., 2015; ACL.1.

Plusieurs idées ressortent de l'étude réalisée aux Philippines :

- La première idée concerne la dépendance étroite entre la définition des objectifs de l'étude et le choix de la méthode d'allocation. Dans cet article, on peut distinguer deux objectifs : celui de caractériser un système de production qui ne nécessite pas de différencier les différents produits et qui ne génère pas de règles d'allocation particulières ; et celui de caractériser chaque espèce issue de ce système de production, pour par exemple comparer l'impact environnemental d'1 kg de crevette issu d'un système de polyculture avec 1 kg de crevette issu de monoculture intensive, ce qui induit une modification de la représentation de la structure du système (flow chart) et l'application d'une règle d'allocation entre les différents produits (Fig.6).

- La deuxième idée est que la règle d'allocation doit être dépendante de la fonction des produits. On peut distinguer deux niveaux dans cette notion de fonction : la fonction associée à la destination du produit et la fonction associée à la contribution du produit au fonctionnement du système de production. Notre étude montre que dans le cas de la polyculture la question de fonction-destination pose une difficulté : comment définir une règle d'allocation au travers d'une fonction commune entre un produit de luxe (crevette) et un produit de base (Tilapia et milkfish) ? On voit que les deux solutions testées : l'allocation économique basée sur la valeur des produits sur le marché, et l'allocation basée sur le contenu énergétique des produits donnent des résultats différents et un peu contradictoires. Un produit n'aura donc pas les mêmes impacts selon que l'on orientera son étude selon une approche « marché » ou « nutritionnelle » (on aurait aussi pu tester aussi une règle basée sur le contenu en protéines qui aurait donné encore des résultats différents). Ceci limite beaucoup la possibilité de comparaison des études entre elles et donc les démarches de certification ou labellisation demandées par les marchés. La seconde voie allocation-contribution au système, est encore à construire pour les systèmes de polyculture. Cette voie nécessite de se pencher sur le rôle de chacune des espèces dans l'exploitation de la biomasse globale du milieu et des ressources nutritives, et dans leur transformation au sein du système. Une réflexion plus poussée sur la prise en compte des niveaux trophiques des différentes espèces est sans doute à mener dans le cas des systèmes complexes que sont les étangs de polyculture, pour définir des règles d'allocation entre espèces.

Des choix méthodologiques communs sont à arrêter à l'échelle internationale si l'on souhaite aller vers l'harmonisation de l'application des méthodes en pisciculture. On voit néanmoins, que ces questions font appel à des champs de connaissance à la fois divers et approfondis et qu'ils nécessitent pour leur résolution la mobilisation de compétences spécialisées dans plusieurs domaines (physique, économie, biologie...).

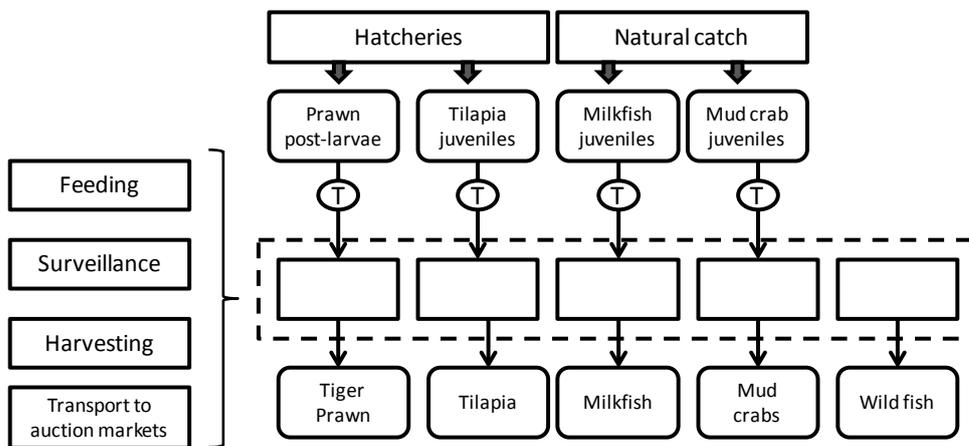
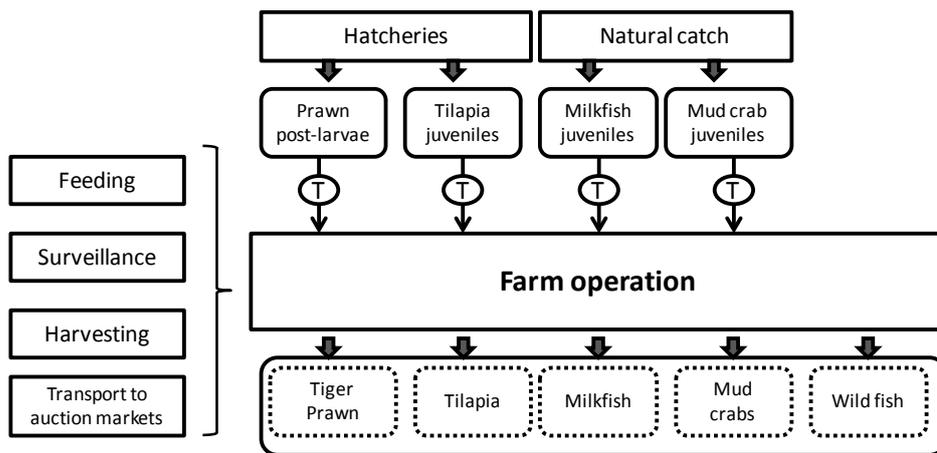


Figure 6 : Représentation du système de production en étang côtier à Pampanga, Philippines, selon deux points de vue :

En haut, système permettant d'évaluer la production dans sa globalité ; en bas, système permettant d'évaluer la production espèce par espèce.

4. Caractériser et faire évoluer les systèmes piscicoles.

a. Déterminer les points critiques pour la pisciculture et établir un diagnostic

Comme nous l'avons vu, la pisciculture recouvre des formes très variées si on considère sa répartition mondiale. Pour en comprendre les mécanismes, j'ai été amené à étudier différents systèmes de production dans différents contextes. L'analyse de la bibliographie (Aubin, 2013 ; S.1), montre que ce sont principalement les systèmes d'élevage de types industriels dans les pays développés qui ont été étudiés et analysés par ACV. La dépendance de ces systèmes aux intrants techniques (aliments formulés, électricité, oxygène liquide...) dont les flux sont facilement maîtrisables, et leur logique de production qui s'adapte bien aux approches de traçabilité et d'assurance qualité, facilite l'application de l'ACV qui a été conçue pour un cadre industriel. De ce fait, après mes premiers travaux qui se sont appliqués à des systèmes d'élevage intensifs en Europe (élevage de truite en circuit ouvert ou fermé (Roque d'Orbcastel et al., 2009), élevage de bars en cages ou à terre (Aubin et al ; 2009 ; [ACL.23](#) ; Jerbi et al., 2012 ; [ACL.16](#)), élevage de turbots en système recirculé (Aubin et al., 2006), je me suis tourné vers des systèmes plus artisanaux en étant dans des pays en voie de développement, tilapia-Clarias au Cameroun (Efolé Ewoukem et al., 2012 ; [ACL.15](#)), cages de carpes et tilapias en Indonésie (Mungkung et al., 2013 ; [ACL.11](#)), polyculture côtière aux Philippines (Aubin et al., 2015 ; [ACL.1](#)) à l'occasion des projets ANR EVAD (Encart 6) puis PISCEnLIT. En l'absence de références sur ces systèmes, il s'agissait de mieux comprendre leurs impacts potentiels sur l'environnement avec le prisme de l'ACV, de déterminer les points critiques et les mécanismes en jeu et de déterminer les voies d'amélioration possibles. Au-delà, il s'agissait aussi de vérifier l'applicabilité et la pertinence de l'ACV dans des systèmes plus dépendant des ressources naturelles, et mener une réflexion sur la relation entre le niveau des impacts et l'intensification des systèmes de production. Ces différents travaux, ont été l'occasion de participer à l'encadrement de trois doctorants : Emmanuelle Roque d'Orbcastel (2008), Thomas Efolé Ewoukem (2011), Mohamed Ali Jerbi (2013).

Dans les systèmes agricoles les moins intensifs, le niveau des impacts environnementaux calculés par kg de produit sont souvent plus élevés que dans les systèmes intensifs. C'est par exemple le cas quand on compare les élevages bio aux élevages standards (Cederberg and Stadig, 2003 ; Basset-Mens and van der Werf, 2005). La gestion des flux de matières au

Encart 4

Aubin, J.; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Chatzifotis, S. 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 17 (3) : 354-361

Abstract:

When evaluating the environmental impacts of finfish production systems, both regional impacts (e.g., eutrophication) and global impacts (e.g., climate change) should be taken into account. The Life Cycle Assessment (LCA) method is well suited for this purpose. Three fish farms that represent contrasting intensive production systems were investigated using LCA: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in freshwater raceways in France, sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in sea cages in Greece, and turbot (*Scophthalmus maximus*) in an inland re-circulating system close to the seashore in France. Two main characteristics differentiated the three farm systems: feed use and energy use. Emission of nitrogen and phosphorus accounted for more than 90% of each farm's potential Eutrophication impact. In the trout and sea-bass systems, feed production was the major contributor to potential Climate Change and Acidification impacts and Net Primary Production (NPP) Use. In these systems, the main source of variation for environmental impacts was the Feed Conversion Ratio. Results from this study indicate that the sea-bass cage system was less efficient than the trout raceway system, with a higher level of potential Eutrophication (65% greater) and NPP Use (15% greater). The turbot re-circulating system was a high energy-consumer compared to the trout raceway system (4 times higher) and the sea-bass cage system (5 times higher). Potential Climate Change and Acidification impacts were largely influenced by energy consumption in the turbot re-circulating system. In the turbot re-circulating system 86% of Energy Use was due to on-site consumption, while in the sea-bass cage farming system 72% of Energy Use was due to feed production. These results are discussed in relation to regional contexts of production and focus attention on the sensitivity of each aquatic environment and the use of energy carriers.

sein de l'exploitation apparaît comme un facteur majeur de la performance environnementale. Ainsi, les facteurs de performance zootechniques : taux de survie et taux de conversion alimentaire, influent directement sur la capacité du système à valoriser les intrants et donc se traduisent en niveaux d'émission de polluants ou de consommation de ressources, directement en lien avec les impacts environnementaux. Le niveau des impacts est une traduction indirecte de la performance globale du système, avec en plus la quantification et la destination des pertes. La notion d'efficacité explique en bonne partie les différences observées entre les profils environnementaux des systèmes intensifs (souvent plus maîtrisés) et ceux des systèmes extensifs (Aubin et al., 2015 ; [ACL.1](#)), quand on calcule les impacts par unité de masse de produit (Unité Fonctionnelle).

Grâce aux analyses de contribution aux impacts des parties du système (processus), l'ACV permet d'analyser l'origine des impacts. L'ACV ne dit rien sur les modalités d'amélioration à mettre en œuvre mais permet de définir des objectifs et des processus cibles. Ainsi, si l'on voit que l'aliment est un processus clé qui régit le niveau de nombreux impacts des élevages de poissons (Aubin et al, 2006 ; [ACL.30](#) ; Aubin et al, 2009 ; [ACL.23](#) ; Boissy et al. 2011 ; [ACL.20](#) ; Mungkung et al., 2013 ; [ACL.11](#)), il s'agira de réfléchir sur la qualité (composition de l'aliment) mais aussi sur l'efficacité alimentaire qui dépend des conditions et pratiques d'élevage. Ainsi, l'ACV permet de définir les catégories d'impact pertinentes pour chacun des systèmes et de mettre en évidence le rôle des parties du système dans l'origine et le niveau de ces impacts.

Les études que nous avons réalisées mettent en évidence 3 facteurs clés dans la performance environnementale des élevages de poissons des systèmes intensifs :

- l'aliment, sa composition et sa gestion
- l'énergie, sa consommation et son origine
- l'eau, sa disponibilité et son besoin pour l'élevage

Ces facteurs vont se combiner avec les caractéristiques du cadre économique et environnemental proche pour permettre de proposer des priorités dans les voies d'amélioration à proposer.

La comparaison des différents systèmes de production de poissons carnivores (Aubin et al., 2009 ; [ACL.23](#)) montre aussi comment le changement de type de pratiques (ici milieu ouvert ou circuit recirculé) induit des profils d'impact environnementaux différents. Une balance peut être mise en évidence entre l'application de solutions pour réduire des impacts locaux (eutrophisation) par des solutions pouvant aggraver les impacts globaux (changement climatique) pour lesquels les gestionnaires des élevages sont moins sensibilisés.

L'ACV propose une vision agrégée sous formes d'indicateurs complémentaires de la performance des systèmes de production piscicole. En cela, c'est un outil qui va au-delà du simple bilan environnemental, en étant intégratrice et indicatrice des points d'amélioration potentielle de la performance globale.

b. Construire une démarche d'écoconception et tester des hypothèses d'évolution

Le caractère intégrateur de l'ACV peut aussi donner un cadre pour une analyse ex-ante des systèmes et tester des hypothèses d'évolution en introduisant des modélisations et des résultats d'expérimentation. Dans ce cas, il s'agit de tester la capacité de l'ACV à soutenir la prise de décision et à orienter les systèmes. C'est ce que nous avons mené dans le cadre de travaux sur l'alimentation des élevages piscicoles.

Nous avons montré l'importance de l'aliment (ses ingrédients, sa fabrication et sa valorisation au sein des élevages) dans la genèse des impacts environnementaux des poissons carnivores d'aquaculture (Aubin et al., 2009 ; [ACL.23](#) ; encart 4). Une des

interrogations majeures, qui est aussi un reproche régulier adressé à la pisciculture, est sa dépendance aux ressources halieutiques pour produire du poisson. Ce système d'élevage ne serait-il pas un destructeur plutôt qu'un producteur de protéines animales ? Face à ce constat, des travaux scientifiques ont exploré la possibilité de s'affranchir des huiles et farines de poisson dans les aliments pour poissons carnivores en les substituant par des ressources d'origine végétale. Cette étude a été conduite dans le cadre du projet au travers de plusieurs WP du projet Européen Aquamax (Framework Program 6), qui avait pour objectif d'étudier les implications de la substitution des ingrédients d'origine halieutique par des ressources végétales dans les rations alimentaires des poissons, sur la zootechnie, la biologie, la qualité de la chair, la sécurité sanitaire et les performances environnementales. Les calculs d'ACV ont été réalisés par Joachim Boissy (ingénieur en CDD), avec l'aide d'Abdeljalil Drissi (étudiant de Master 2) sous ma direction, avec l'aide d'Hayo van der Werf, en collaboration avec Sadasivam Kaushik de l'UR NUMEA (St Pée sur Nivelle) et Gordon Bell de l'Université de Stirling (UK). Ce travail est aussi l'occasion d'utiliser l'ACV, sur la base de résultats expérimentaux en conditions d'élevage commercial.

Différentes espèces et systèmes d'élevage ont été étudiés dans ce programme : daurades en bassins et en cages (Espagne, Grèce), monoculture de carpes en étang (Hongrie), polyculture de carpes indiennes en étang (Inde), truite arc-en-ciel en bassin (France) et saumon Atlantique en cage (Ecosse). Seuls les résultats obtenus chez les salmonidés ont été valorisés par une publication (Boissy et al., 2011 ; [ACL.20](#)) et sont présentés ici (Fig.7), sachant que dans les grandes lignes les résultats sont semblables chez les autres espèces.

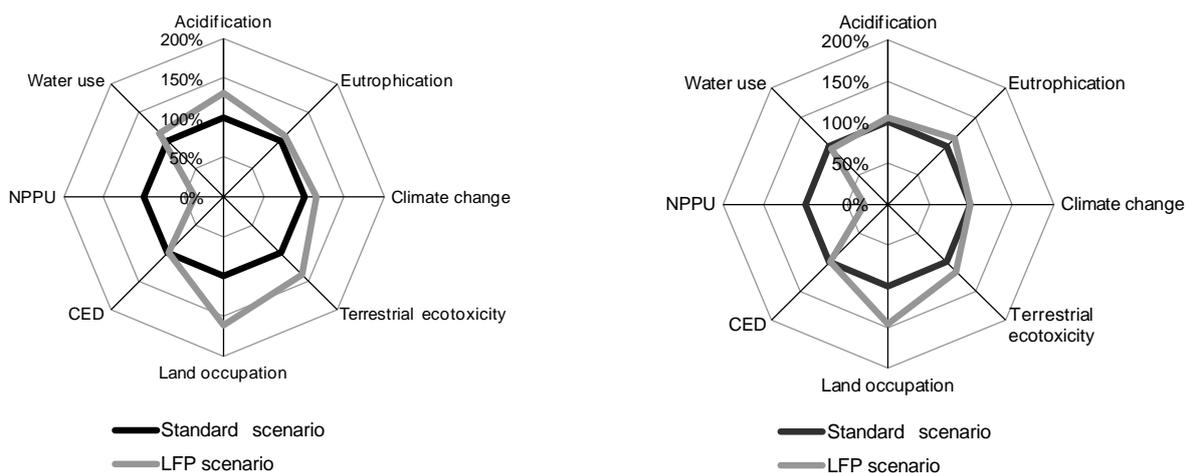


Figure 7: Graphique radial du profil environnemental relatif du scénario standard et du scénario bas niveau de produits de poisson dans l'aliment (LFP), pour une tonne de saumon (gauche) et une tonne de truite (droite). Le niveau des impacts de LFP est exprimé relativement au standard dans chaque graphe. Issu de Boissy et al. (2011).

La démarche réalisée dans le cadre du projet Européen Aquamax (FP6) porte sur le démarrage d'une boucle d'écoconception : analyse d'une situation, conception d'hypothèses, réalisation d'expériences, diagnostic. La démarche a pour vocation à progresser par le test de nouvelles hypothèses issues du premier diagnostic et donc de poursuivre la boucle.

L'étude partait du postulat qu'un aliment contenant moins de farine et d'huile de poisson était meilleur pour l'environnement. L'introduction de la méthodologie ACV dans le processus d'écoconception permet d'ouvrir le champ des critères selon lesquels est évaluée la performance de l'hypothèse de départ. L'hypothèse de départ est validée au travers de la catégorie d'impact Utilisation de Production Primaire Nette (UPPN) dont la diminution montre bien la baisse de pression sur les chaînes trophiques induite par le recours à des végétaux terrestres plutôt qu'à des produits de poisson dans la composition de l'aliment (Fig.7).

Un des intérêts reconnus de l'ACV concerne son aptitude à mettre en évidence les transferts d'impacts. On peut différencier plusieurs types de transferts d'impacts : entre catégories d'impact, entre processus, entre zones géographiques. Dans l'étude présentée ici, on observe d'abord un intéressant transfert entre processus. La demande en énergie associée aux rations avec ou sans substitution des produits halieutiques est identique. Cette caractéristique indique un transfert total entre le besoin en énergie pour la pêche et la production des huiles et farines de poisson et le besoin en énergie pour la production agricole et la transformation des ingrédients végétaux concentrés (élaborés) comme les glutens et les tourteaux, ou les huiles végétales. Le coût énergétique des apports de calories et de protéines dans les différents types d'aliment semble donc être le même. Par contre, on assiste bien à un transfert d'impacts : entre l'UPPN de l'aliment standard et l'utilisation de surface, l'acidification et l'écotoxicité terrestre, plus marquées dans le cas de la substitution des huiles de poisson chez le saumon. On assiste ici au transfert d'un impact majeur associé à la pêche (UPPN) vers des impacts associés à l'activité agricole. Ces résultats attirent l'attention sur le fait que la diminution de la pression sur la ressource halieutique se fait au prix d'une utilisation de terres agricoles accrue, ce qui implique une entrée plus marquée des productions aquacoles dans la compétition de l'usage des terres pour l'alimentation des animaux et des humains. Ce type d'étude ouvre sur la possibilité de mener conjointement des formulations d'aliments sur la base des caractéristiques nutritionnelles, économiques et environnementales des ingrédients. Néanmoins, ce type de travaux ne pourra se développer qu'à la condition du développement de bases de données complètes et transparentes sur les ingrédients de l'alimentation animale.

Le caractère multicritère de l'ACV permet ici d'offrir une vision élargie des implications environnementales d'un changement de pratiques (ou d'une innovation) et d'arbitrer entre différentes solutions. Cependant, il est toujours possible d'améliorer le niveau d'exhaustivité de l'analyse. En effet, certaines émissions de polluants n'ont pas été prises en compte dans cette étude. L'utilisation des pesticides n'a par exemple pas été comptabilisée dans la catégorie d'impact écotoxicité terrestre (qui n'a considéré que les émissions de métaux lourds) et d'autres catégories d'impacts spécifiques à la pêche auraient pu aussi être introduites (prise en compte des espèces en danger, dégradation des fonds marins...). Une des difficultés repose donc sur un choix a priori d'un jeu de catégories d'impact suffisamment complet pour couvrir l'ensemble des impacts pertinents, sans que les objectifs environnementaux soient redondants, et que le nombre de catégories d'impact ne soit trop élevé pour permettre une prise de décision.

La question du rôle de l'ACV dans une démarche d'écoconception est importante. Nous l'avons régulièrement utilisée pour évaluer la pertinence environnementale de nouveaux

Encart 5

Aubin, J., Baruthio, A., Mungkung, R., Lazard, J., 2014. Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. *Aquaculture*, 435, 217-227. [ACL.1](#).

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) was applied to assess the environmental performance of brackish water polyculture of black tiger prawn, mud crabs, tilapia and milkfish in a pond aquaculture system. The study was conducted on 15 production sites, located in Pampanga province of the Philippines. The scope of analysis covered the hatchery or capture of juveniles from the wild up to the delivery of products to auction markets. Impact categories included eutrophication, acidification, climate change, land occupation, net primary production use, total cumulative energy demand (TCED), and total human labour. Life cycle impact indicators were calculated for one tonne of product (total production or that of individual species) using both energy-based and economic allocations. The results indicated that the main impacts from farming operations were eutrophication, land occupation, acidification and human labour. Feed (molluscs harvested from aquatic ecosystems) mainly influenced net primary production use, TCED and climate change, and harvesting and delivery mainly influenced climate change and TCED. Differences in farm practices and yields induced high variability in impacts. Production site size had no significant effect; however, its distance from the sea appeared to affect its efficiency and, consequently, impacts. Changing the allocation method changed the ranking of species' impacts within each impact category, milkfish having the highest impacts with energy-based allocation and prawn and crabs having the highest impacts with economic allocation. The lack of differences in impacts between intensive monocultures of prawn and tilapia recorded in the literature and the same species in Pampanga's polyculture suggests that the degree of intensification is not a relevant concept for distinguishing impacts of aquaculture systems.

systèmes de productions. C'est le cas pour les systèmes en eau recirculée (Aubin et al., 2006 ; [ACL.30](#) ; Roque d'Orbcastel et al., 2009 ; [ACL.25](#) ; Wilfart et al., 2013 ; [ACL.10](#)) ; ou encore pour des associations d'espèces sensées apporter un meilleur bilan environnemental (Mungkung et al., [ACL.11](#)).

De façon similaire, j'ai participé à l'encadrement d'études dans d'autres domaines que l'aquaculture, afin de tester la capacité de l'ACV à aider à l'accompagnement d'innovations. C'est par exemple le cas de l'étude du remplacement du maïs par du sorgho pour le gavage des oies pour la production du foie gras, dans le cadre de la thèse de Julien Arroyo (Arroyo et al., 2013 ; [ACL.12](#)), dirigée par Laurence Lamothe (INRA Tandem – Toulouse).

Nous déclinons à nouveau cette thématique en explorant le lien entre schémas de sélection génétique en élevages piscicoles et impacts environnementaux. Une première étape a d'abord été conduite dans le cadre du projet Fild'Or, où nous avons réalisé une évaluation environnementale de schémas de sélections sur le rendement en filetage chez la daurade. Cette évaluation a été réalisée depuis l'élevage jusqu'au stade de consommation chez les particuliers, en prenant en compte la gestion des déchets. Cette étude a été réalisée en collaboration avec le Sysaaf (Syndicat de sélection avicole et aquacole français), le LPGP de l'INRA et des professionnels de la pisciculture. Il a été conduit par Ivone Acosta-Alba en post doc dans notre équipe (Acosta-Alba et Aubin, 2011 ; [R.2](#)).

La réflexion se poursuit maintenant dans le cadre de la thèse de Mathieu Besson co-encadrée avec des collègues généticiens de l'INRA (Marc Vandeputte, Edwige Quillet) et des collègues de l'Université de Wageningen (Pays Bas), en sciences animales (Hans Komen, Johan van Arendonk) ou de l'environnement (Imke de Boer). Dans un premier temps, nous caractérisons les conséquences environnementales des schémas de sélections (Besson et al., 2014 ; P.2), espérant finalement inverser la démarche, en tentant de poser la performance environnementale comme objectif de sélection. Cette étude repose à la fois sur des inventaires de productions existantes et sur la modélisation de leur évolution.

Ces travaux posent généralement la question de la référence qui permet la comparaison. Dans le meilleur des cas, l'étude est conçue avec un témoin en référence, comme dans l'étude de Roque d'Orbcastel et al. (2009) ou celle d'Arroyo et al. (2013), mais généralement il faut se contenter de données publiées, portant sur des productions souvent réalisées dans des contextes différents, voire avec des hypothèses (règles d'allocation, limites de système...) sensiblement différentes pour porter un jugement. Cela fait partie des limites des travaux qui n'ont pas été conçus dans la perspective de cette comparaison, mais qui souhaitent utiliser l'ACV comme outil de caractérisation a posteriori.

Un deuxième volet d'interrogation concerne, la prise en compte de catégories d'impact pertinentes ; la sélection d'autres catégories d'impact aurait elle conduit aux mêmes résultats ? Par ailleurs, dans un objectif d'écoconception de systèmes de production, on ne saurait se limiter au champ de l'environnement. La prise en compte de critères économiques et sociaux est un enjeu majeur de l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes alimentaires en général qui nécessite encore de construire des cadres conceptuels adaptés (Aubin et al., 2011 ; [O.4](#)).

- **Partie 3 : EVALUER LA DURABILITE ET CONCEVOIR L'INTENSIFICATION ECOLOGIQUE DES SYSTEMES PISCICOLES**

1. Analyses multicritères et développement durable

a. Définir un cadre scientifique à l'analyse de la durabilité en aquaculture.

Au-delà des travaux de caractérisation des systèmes aquacoles et de leurs performances environnementales en utilisant et adaptant l'Analyse du Cycle de Vie, les sollicitations de mes collègues ont rapidement orienté mes approches vers celles de l'analyse de la durabilité des systèmes aquacoles. C'est en grande partie grâce au programme ANR-EVAD (EVALuation de la Durabilité des systèmes aquacoles, ANR-05-PADD-008), piloté par Jérôme Lazard du CIRAD, que cette thématique est entrée dans mes sujets de recherche. Ce projet avait pour objectif de proposer une méthode pour l'évaluation de la durabilité basée sur une co-construction d'indicateurs avec les acteurs des territoires (Rey-Valette et al., 2008 ;O.7 ; Lazard et al., 2010 ; ACL.22). Dans ce projet, l'ACV apparaît plus comme un complément normatif à l'approche procédurale employée et resitue les questions d'environnement réelles ou perçues de chaque terrain. Ce projet a été conduit sur différents terrains et systèmes d'élevage ayant tous des questions de durabilité ou de développement



différentes : l'élevage de truite en Bretagne, l'élevage de bar et daurade en Méditerranée, la polyculture familiale de tilapia et Clarias au Cameroun, l'élevage combiné carpe –tilapia en cage à Java, l'élevage de panga (*Pangasianodon hypophthalmus*) en étang à Sumatra, et la polyculture de crevettes crabes tilapia et milkfish en zone côtière à Pampanga aux Philippines.

Sous la houlette d'Hélène Rey-Valette (Lameta, Univ. Montpellier1), nous avons exploré la question de la construction des indicateurs de développement durable. L'apport majeur de ce projet a été la confrontation de nos approches biotechniques aux sciences sociales, qui nous ont incitées à

Figure 8 : Procédure de mise en œuvre de la démarche de co-construction mise en œuvre dans le projet EVAD (Rey-Valette et al., 2008 ;O.7)

changer notre positionnement de recherche, par l'inclusion des acteurs des filières et des

territoires comme partie prenante du processus de définition du cadre de l'évaluation (Lazard et al., 2010 ; [ACL.22](#)). Nous avons repris le cadre Principes – Critères – Indicateurs, construit une méthode et analysé les conséquences de la co-construction des indicateurs avec les acteurs. Ce travail nous a permis de poser 4 postulats que nous avons présentés dans un guide (Rey-Valette et al., 2008 ; [O.7](#), [O.8](#) ; encart 6) :

- Un indicateur n'est pas un simple outil de mesure
- En tant que processus d'innovation la mise en place du développement durable exige un apprentissage organisationnel et une démarche de co-construction
- La démarche de co-construction d'indicateurs favorise l'apprentissage organisationnel et facilite la concertation
- La démarche de co-construction constitue une opportunité et génère fréquemment des innovations institutionnelles.

Encart 6

Rey-Valette, H.; Clément, O.; **Aubin, J.**; Mathé, S.; Chia, E.; Legendre, M.; Caruso, D.; Mikolasek, O.; Blancheton, J.-P.; Slembrouck, J.; Baruthio, A.; René, F.; Levang, P.; Morissens, P.; Lazard, J. 2008. **Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture - EVAD.** : 144 p.

Résumé

L'aquaculture n'a certes pas manqué le rendez-vous du développement durable, si l'on juge par le lot de normes, de guides et d'indicateurs qu'elle a produit, le plus souvent sous l'égide d'organisations internationales telles que la FAO, l'Union Européenne ou certaines ONG. On note cependant que ceux-ci sont encore bien souvent considérés comme des contraintes plutôt que comme des objectifs partagés par les acteurs de terrain. Face à ce constat, qui n'est pas propre à l'aquaculture mais bien au contraire très général quels que soient les secteurs, les contextes et les échelles, l'ambition de ce guide est de proposer une démarche générique qui permette par un processus de construction collective, c'est à dire de Co-construction, de favoriser la mise en œuvre et l'appropriation du développement durable.

L'originalité de cette démarche tient au caractère participatif de la construction qui permet d'associer les acteurs et de prendre en compte leurs représentations et au caractère territorialisé de la démarche qui porte à la fois sur les systèmes aquacoles et sur les territoires dans lesquels ils s'insèrent. Elle s'appuie sur un processus de sélection élabore de principes et de critères qui, en reliant les indicateurs aux enjeux et aux représentations des acteurs, favorise leur appropriation du développement durable et des indicateurs produits.

Conçue comme un mode d'emploi le plus souple possible, la démarche fait alterner diverses séquences qui permettent de moduler l'éventail et l'implication parties prenantes et qui mettent l'accent sur le processus d'apprentissage collectif. Ce guide est le fruit des travaux de terrain réalisés par un collectif de chercheurs français en partenariat avec des équipes de scientifiques et d'acteurs en France, en Europe et dans les pays du Sud. Une large diversité de systèmes aquacoles représentatifs des systèmes d'élevage et des formes de gouvernance ont été étudiées.

Ce guide s'adresse tout aussi bien à des groupements de producteurs aquacoles, aux administrations de tutelle du secteur qu'aux organismes de recherche, aux ONG et à tout collectif souhaitant mettre en action le développement durable dans le domaine de l'aquaculture et même dans d'autres domaines. Il peut être d'une grande utilité aux enseignants et aux étudiants qui souhaitent étudier le fonctionnement de l'aquaculture dans une région donnée.

Nous avons aussi conçu une méthode itérative de co-construction des indicateurs que nous avons testée dans différents terrains (Fig.8).

Ce projet a aussi été l'occasion de réfléchir à la place de l'ACV, approche normative issue de la recherche, dans un processus d'évaluation du développement durable

essentiellement basé sur la définition des enjeux et la perception des acteurs. La complémentarité des deux types d'approche apparaît assez clairement, notamment par le fait que les acteurs des territoires (producteurs notamment) sont plus sensibles aux enjeux locaux (et parfois de court

terme), alors que l'ACV permet d'aborder des enjeux plus globaux (comme le changement climatique) et de plus long terme (comme l'épuisement de certaines ressources).

En appliquant l'ACV sur les différents systèmes de production du projet EVAD : truite en France, bar et daurade en Méditerranée, polyculture tilapia-Clarias au Cameroun, polyculture côtière aux Philippines, systèmes de cages et étangs en Indonésie ; nous avons été

confrontés à des systèmes peu industrialisés et donc à des questions de disponibilité de données, de robustesse et de praticabilité de la méthode mais aussi à des changements de point de vue sur l'efficacité des systèmes et les impacts environnementaux des systèmes les plus extensifs. Ces réflexions nous auront conduit à proposer par la suite, un nouveau projet sur l'intensification écologique des systèmes aquacoles, financé par l'ANR : PISCEnLIT (Aubin et al., 2014 ; Cong.2; O.2).

Le programme EVAD m'a permis de co-encadrer la Thèse de Thomas Efolé-Ewoukem portant sur l'optimisation biotechnique de la pisciculture familiale au Cameroun (Efolé-Ewoukem et al., 2012 ; ACL.15 ; Efolé-Ewoukem, 2011; Cong.18). Nous avons aussi progressé dans la maîtrise des ACV en aquaculture par l'encadrement du post-doc de Rattanawan (Tam) Mungkung de l'Université Kasetsart de Bangkok (Mungkung et al., 2013 ; ACL.11 ; Aubin et al., 2015 ; ACL.1), avec qui nous avons poursuivi des collaborations par la suite sur l'empreinte carbone des produits agroalimentaires en Thaïlande (Mungkung et al., 2012 ; ACL.14).

b. Construire des outils opérationnels pour l'évaluation de la durabilité

En parallèle du programme EVAD, les questionnements des professionnels de la pisciculture en France nous ont conduits à proposer la construction d'un système d'indicateurs de durabilité comme outil de pilotage des entreprises aquacoles. C'est le projet IDAqua, qui a été piloté par Tristan Gueneuc du CIPA et Aurélien Tocqueville de l'ITAVI. Ce projet a profité des avancées méthodologiques d'EVAD et en retour a fourni des indicateurs opérationnels pour l'évaluation des terrains d'étude d'EVAD (au moins en France et Méditerranée). Les questions que nous avons eu à traiter sous un angle pratique dans le cadre de ce projet portent sur la mobilisation d'avis d'experts, la définition de seuils, la mesure des indicateurs, l'agrégation des indicateurs et la représentation des résultats. Ces travaux ont mobilisé des réflexions scientifiques auxquelles j'ai largement contribué et constituent une sortie opérationnelle de réflexions plus amont. Ils ont été valorisés au travers d'un guide méthodologique (Gueneuc et al., 2010 ; M.2) et implémentés dans un site internet dédié, où les pisciculteurs peuvent s'autoévaluer et comparer leurs performances à la moyenne de leur secteur d'activité. Ce travail a aussi contribué à rendre visible notre réflexion sur le développement durable de la pisciculture et nous a conduit à collaborer à la production d'un guide sur le développement durable de la pisciculture de truite commandité par le Ministère de l'Agriculture à l'UICN (Le Gouvello et al., 2011 ; M.1).

Encart 7

Auberger J.; Gésan-Guiziu G.; Haese C.; **Aubin J.**; van der Werf H., 2013. **MEANS : une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires.** Innovations Agronomiques, 31, 169-181.

Résumé :

La plateforme MEANS (MulticritEria AssessmeNt of Sustainability), lancée en 2012, va permettre aux équipes de recherche INRA de réaliser des analyses multicritères de la durabilité des systèmes de production agricole et de transformation des produits. La principale mission de MEANS est de créer et mettre à disposition des outils de calcul et des bases de données nécessaires à la réalisation d'analyses multicritères. La plateforme est en développement. L'architecture de la plateforme est construite comme une traduction informatique de la démarche commune aux méthodes d'analyse multicritère, ce qui lui permet d'héberger plusieurs méthodes d'analyse multicritère. Dans un premier temps, l'outil logiciel de la plateforme est développé pour mettre en oeuvre des analyses relevant du cadre méthodologique de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée aux systèmes agricoles et agroalimentaires.

L'ACV permet de valoriser différents niveaux de modèles (simulateur d'itinéraire technique, modèles de calcul des flux de polluants, méthodes d'analyse d'impact). Des bases de données associées aux outils fourniront des informations décrivant les systèmes et des données nécessaires aux calculs des indicateurs. A terme, la plateforme MEANS permettra de capitaliser les ressources de l'INRA pour l'analyse multicritère (méthodes d'analyse, modèles de simulation, données).

c. Elargir les concepts aux systèmes agricoles et alimentaires

La diffusion des travaux d'EVAD (Aubin et al., 2009 ; *Cong.51*) et des travaux sur l'utilisation de l'ACV (Aubin et van der Werf, 2009 ; *Cong.52*) au sein de l'INRA ont concouru à me faire reconnaître comme un « expert » sur la question de l'analyse multicritère de la durabilité en agriculture dans mon domaine de compétence aquacole mais aussi au-delà. Ainsi, j'ai été sollicité pour animer avec Catherine Donnars (INRA, Délégation à l'Expertise, à la Prospective et aux Etudes, DEPE) une réflexion sur les méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes alimentaires, dans le chantier INRA-CIRAD duALIne (Durabilité de l'Alimentation face aux Nouveaux Enjeux), coordonné par Catherine Esnouf, Marie Russel (INRA) et Nicolas Bricas (CIRAD). Ce travail qui a mobilisé certains acteurs des filières alimentaires et de la recherche, ainsi qu'une importante bibliographie, a fait l'objet de différentes communications (*Cong. 24, 35, 36*) et d'un chapitre d'ouvrage en français (Aubin et al., 2011 ; *O.4*) et en anglais (Aubin et al., 2013 ; *O.3*). Même si ce travail a été difficile à conduire, il m'a permis de prolonger ma réflexion au système alimentaire dans sa complexité, alors que nos travaux étaient jusque-là cantonnés aux limites de l'exploitation. Il m'a aussi permis de m'ouvrir à d'autres méthodes (notamment économiques et sociales) qui complètent l'analyse de la durabilité, pas seulement environnementale avec le prisme de l'ACV. Cette étude a aussi montré la nécessité d'entrer par les enjeux et les fonctions du système alimentaire avant de se lancer de but en blanc dans l'évaluation.

Cette expérience m'est aussi utile dans la coordination en cours d'un ouvrage sur l'évaluation multicritère des systèmes d'élevage et de culture, menée avec Isabelle Bouvarel (ITAVI) Christian Bockstaller (INRA, Colmar) et dont la rédaction est assurée par Juliette Lairez et Pauline Feschet, pour le compte des GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) Elevage Demain et Grandes Cultures HP2E.

Par ailleurs, l'équipe ASAE de l'UMR SAS que j'anime, héberge la plateforme MEANS (MulticritEria AssessmeNt of Sustainability), projet soutenu par sept départements de recherche de l'INRA. Il s'agit d'une plateforme d'analyse multicritère des productions animales, végétales et de transformation des produits, en cours de développement, pilotée par Julie Auberger. Je fais partie du Directoire de la plateforme avec Hayo van der Werf et Geneviève Gesan Guiziou (INRA CEPIA, STLO). Cette plateforme a pour vocation de fournir des outils d'analyse des systèmes agricoles, en se basant sur le cadre de l'ACV dans un premier temps (Auberger et al., 2013 ; *ACL.8* ; encart 7). Ce projet, d'abord interne à l'INRA est sur le point de s'ouvrir à d'autres partenaires institutionnels et professionnels dans le cadre d'AgriBalyse, projet ADEME, ayant pour objectif la construction de bases de données d'inventaires de produits agricoles pour préparer l'affichage environnemental (<http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-laction/loutil-agribalyse>).

2. Proposer un cadre théorique pour l'intensification écologique des systèmes aquacoles

C'est à partir des travaux d'EVAD (2005-2008) que nous est apparu la pertinence de travailler sur la notion d'intensification écologique des systèmes aquacoles. Le projet ANR PISCEnLIT (PISCiculture EcoLogiquement InTensive) : une approche par écosystème ; ANR-09-STRA-08) que j'ai piloté, a étudié ce thème. Il a associé les universités de Montpellier et de Lorraine, l'IRD, le CIRAD, l'IFREMER, EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Brésil), l'AMAFRAD (Agency for Marine and Fisheries Research and Development, Indonésie), la DGA (Directorate General of Aquaculture, Indonésie), et des partenaires du développement comme l'ITAVI. Le projet a

commencé en janvier 2010 et a duré 48 mois. Il a bénéficié d'un soutien financier de l'ANR et de l'AIRD.

Nous nous sommes saisis de la notion d'intensification écologique proposée en agriculture (Griffon, 2010 ; Griffon, 2013), dont le contenu théorique restait flou. Notre objectif était de définir un cadre théorique à l'intensification écologique en aquaculture, en apportant un point de vue reposant sur les principes de l'agroécologie (Altieri, 2002), notamment l'utilisation intensive des fonctions des écosystèmes, et sur la prise en compte des services rendus par « l'aqua-écosystème » :

l'écosystème productif, selon le cadre proposé par le Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) pour les écosystèmes naturel.

L'approche qui a été développée dans le projet PISCEnLIT repose sur (1) la définition de l'intensification écologique de l'aquaculture, basée sur les principes de l'agroécologie et sur la prise en compte des services rendus par l'écosystème aquacole, (2) la définition des enjeux de différents terrains d'aquaculture dans le monde. Ainsi, nous avons appliqué une méthode reposant sur une phase de diagnostic biophysique et écologique (reposant notamment sur l'Analyse du Cycle de Vie et l'Emergy) couplée à l'analyse de la perception des services écosystémiques par les acteurs des territoires. Cette démarche a conduit à la définition de scénarios d'évolution en impliquant les acteurs des territoires et des filières, et à réaliser des expérimentations sur les scénarios d'évolution de système. L'Emergy (Odum, 1996) est une méthode d'analyse énergétique qui transforme tous les flux utilisés par un système de production, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique, en équivalent d'énergie solaire. Son utilisation permet de comprendre l'origine des flux et leur dépendance aux ressources naturelles.

Système écologiquement intensif

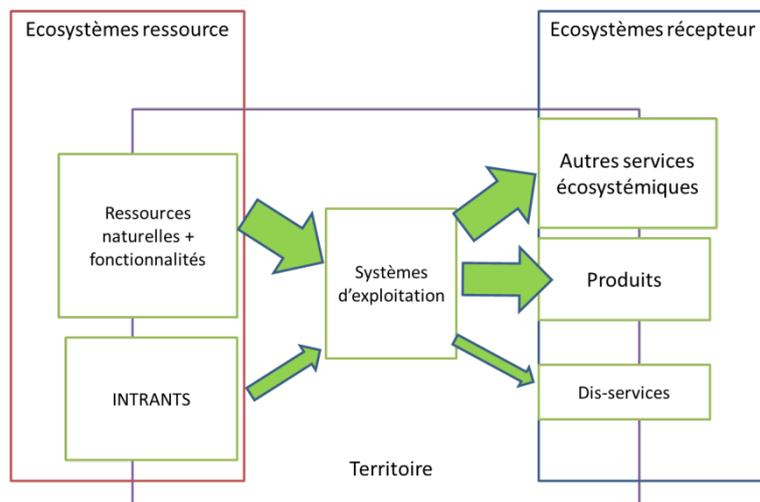


Figure 9 : Représentation de l'aqua-écosystème et des flux entre ses différents compartiments définissant un système aquacole écologiquement intensif. (Aubin et al., 2014 ; O2)

La démarche de PISCEnLIT a été conduite sur six terrains choisis pour couvrir une diversité de systèmes aquacoles, d'écosystèmes et de contextes socio-économiques : en France dans les régions de Lorraine, de Brenne et de Normandie et dans des pays du sud, dans l'Etat du Santa Catarina au Brésil ainsi que sur l'île de Sumatra en Indonésie. Les modes d'exploitation concernent des systèmes de polyculture extensive avec très peu d'apports en intrants, des systèmes de polyculture intégrés intensifs et des élevages en monoculture, avec un apport d'aliment exogène, en système ouvert et en système hors sol en eau recirculée.

Le projet a proposé un point de vue sur l'intensification écologique de l'aquaculture en s'appuyant sur une définition de l'aqua-écosystème (Fig. 9) et en prenant en compte 5 dimensions :

1. **Une dimension Production**, qui repose sur la nécessité de maintenir ou d'augmenter le niveau de production.
2. **Une dimension Flux**, qui implique d'un côté, de diminuer la dépendance aux intrants, notamment les intrants non renouvelables (comme les ressources énergétiques fossiles) ou partiellement renouvelables comme les ressources halieutiques, les sources fossiles d'énergie, l'eau douce, les sols... ainsi que le

recours aux intrants ayant des effets toxiques comme les pesticides et produits médicamenteux. D'un autre côté, il s'agit de diminuer les émissions polluantes, en améliorant la rétention, la valorisation, le recyclage de l'azote et du phosphore dans le système ; en limitant la production de gaz à effet de serre, et en évitant la diffusion de molécules toxiques dans l'environnement (pesticides, médicaments), de pathogènes et d'espèces invasives

3. **Une dimension Ecosystème**, qui favorise les fonctions trophiques internes au système, la diversité et les rôles fonctionnels des espèces et compartiments de l'écosystème, et qui prend en compte la solidarité avec les écosystèmes ressources et récepteurs (proches et éloignés).
4. **Une dimension Services Ecosystémiques**, qui d'une part, génère et valorise les services rendus aux populations et les services de maintien ou de développement du capital naturel de l'aqua-écosystème ; et d'autre part, mobilise les services écosystémiques internes et externes pour produire (Fig. 10).
5. **Une dimension Humaine et territoriale**, qui favorise l'intégration territoriale, s'appuie sur les connaissances et savoir-faire des acteurs, et conduit à développer la gouvernance territoriale et la participation des acteurs dans les décisions d'orientation des systèmes productifs et des territoires.

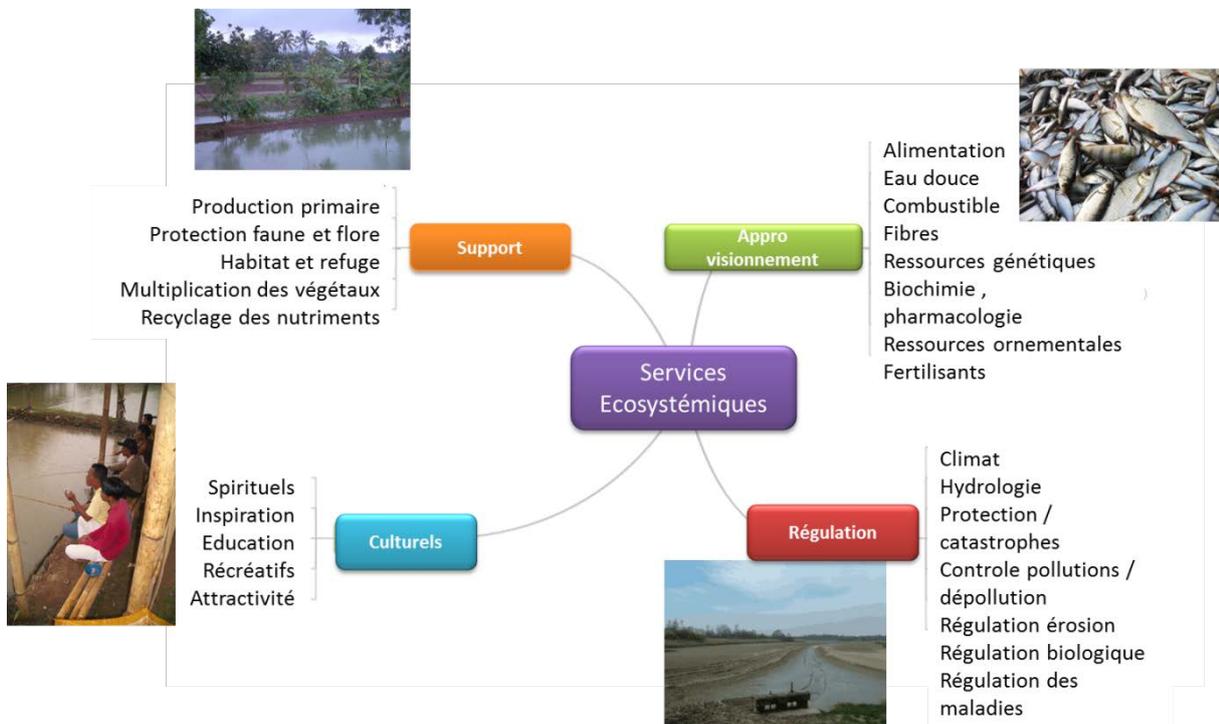


Figure 10 : Adaptation des services écosystémiques du Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), à l'aquaculture, proposée dans le projet PISCEnLIT.

Le projet PISCEnLIT a permis de définir sept objectifs (Encart 8) pour guider la démarche d'intensification écologique et une série d'indicateurs pour suivre son application qui ont été développés dans un guide (Aubin et al., 2014 ; [0.2](#)). Dans ce guide sont présentés aussi les profils de mise en œuvre de l'intensification écologique, basés sur des niveaux croissant de prise en compte de sa complexité par les producteurs (Rey-Valette et al., 2014 ; [ACL.7](#)).

Selon les terrains, les expériences réalisées ont montré le potentiel environnemental et économique de certaines pratiques. En particulier les réflexions avec les acteurs de terrains sur le recyclage des nutriments et l'association d'espèces piscicoles et/ou végétales, ont conduit à proposer des systèmes à compartiments : un compartiment dédié à une espèce cible conduit de façon intensive et un compartiment plus extensif ayant soit un rôle de traitement combiné à un rôle de support de la biodiversité, soit un rôle productif basé sur une seconde espèce plus exigeante mais à forte valeur ajoutée. Le système d'élevage testé en Indonésie a été adopté et est en cours de développement par les pisciculteurs locaux. Il est constitué d'une cage intensive de Panga (*Pangasianodon hypophthalmus*) placée dans un étang où sont élevés des gouramis géants (*Osphronemus goramy*), qui se nourrissent des lentilles d'eau produites par l'étang grâce aux nutriments émis par la cage de Panga. Au Brésil, la mise en place des systèmes de traitement par végétaux flottants et la vulgarisation des notions de services écosystémiques ont modifié la perception de l'administration sur les étangs piscicoles et l'application de la réglementation environnementale.

Encart 8

Objectifs d'intensification écologique pour les systèmes aquacoles

1. Minimiser la dépendance aux ressources externes
2. Accroître la performance des systèmes de production aquacoles et la qualité des produits
3. Améliorer la robustesse, la plasticité et la résilience des systèmes par l'intégration et la complémentarité fonctionnelle
4. Diversifier les services écosystémiques marchands des systèmes aquacoles
5. Promouvoir la reconnaissance des services et valoriser les compétences et le savoir-faire
6. Améliorer l'intégration territoriale des systèmes aquacoles en favorisant la production de services écosystémiques non marchands
7. Adapter les dispositifs et instruments de gouvernance territoriale et faire participer les parties prenantes.

Aubin J., Rey-Valette H., Mathé S., Wilfart A., Legendre M., Slembrouck J., Chia E., Masson G., Callier M., Blancheton J.P., Tocqueville A., Caruso D., Fontaine P., 2014. Guide de mise en œuvre de l'intensification écologique pour les systèmes aquacoles © Diffusion INRA-Rennes, 131 p. ISBN: 978-2-9547969-1-8

Je poursuis actuellement l'expérience réalisée dans les étangs du Rheu (gérés par l'unité U3E de l'INRA), initiée dans le cadre de PISCEnLIT, sur la combinaison d'étangs de polyculture (carpe, gardon) nourris et de lagune plantée, en analysant les flux de nutriments et la productivité. En parallèle, des suivis du phytoplancton et l'utilisation de marqueurs isotopiques de l'azote et du carbone permettront d'éclairer le fonctionnement du système (Encart 9). Ce projet est soutenu par un petit financement de l'OSUR (Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes).

Encart 9

Intensification écologique des systèmes étang : expérimentation.

Projet scientifique

Ce projet prend la suite d'une première expérience réalisée dans le cadre du projet ANR – Systerra PISCEenLIT : Pisciculture écologiquement intensive, une approche par écosystème, terminé en janvier 2014. www.piscenlit.org/. Le principe de cette étude était de mobiliser les services écosystémiques rendus par l'aquaécosystème (combinant le système productif et son système naturel associé) pour concevoir un nouveau système de production aquacole et d'en mesurer les performances.

Les questions scientifiques abordées dans le présent projet portent sur la mobilisation des éléments nutritifs dans différents compartiments du système complexe et la structuration des réseaux trophiques : les poissons et le phytoplancton, et l'évolution de leur concentration dans l'eau et les vases. Les deux variables étudiées sont : le forçage par une alimentation exogène formulée et le rôle épurateur d'une zone plantée de macrophytes.

Ce projet multidisciplinaire doit permettre une nouvelle forme de collaboration entre UMR SAS, U3E, UMR ESE et UMR Ecobio.

1- Le dispositif

L'expérience consiste à comparer les performances de trois systèmes de production de carpe-gardon conduits en étangs expérimentaux de 500 m², en duplicat. Le choix des deux espèces repose sur leur complémentarité trophique et comportementale, permettant de valoriser au mieux les ressources du milieu : la carpe (*Cyprinus carpio*), espèce principale, se nourrissant sur le benthos ayant vocation à être valorisée pour la consommation ou le ré-empeuplement ; et le gardon (*Rutilus rutilus*) pour son rôle ubiquiste à tendance planctonophage, profitant de la colonne d'eau, orientée repeuplement.

Le premier système reproduit un élevage extensif avec une faible densité d'élevage, les poissons se nourrissant uniquement sur la biomasse produite par l'étang à partir des nutriments disponibles dans le milieu.

Le second système reproduit un élevage intensif, avec une densité d'élevage double de celle du système extensif, où les poissons sont nourris avec un aliment formulé du commerce.

Le troisième système reproduit le système « intensif » en lui associant un étang supplémentaire de même taille, planté de végétaux issus du milieu naturel (menthe, Typha, glycérie, nénuphar, cératophylle, Phalaris), ayant pour rôle d'épurer le milieu et d'être support de biodiversité.

Le dispositif est présenté dans la figure 1.

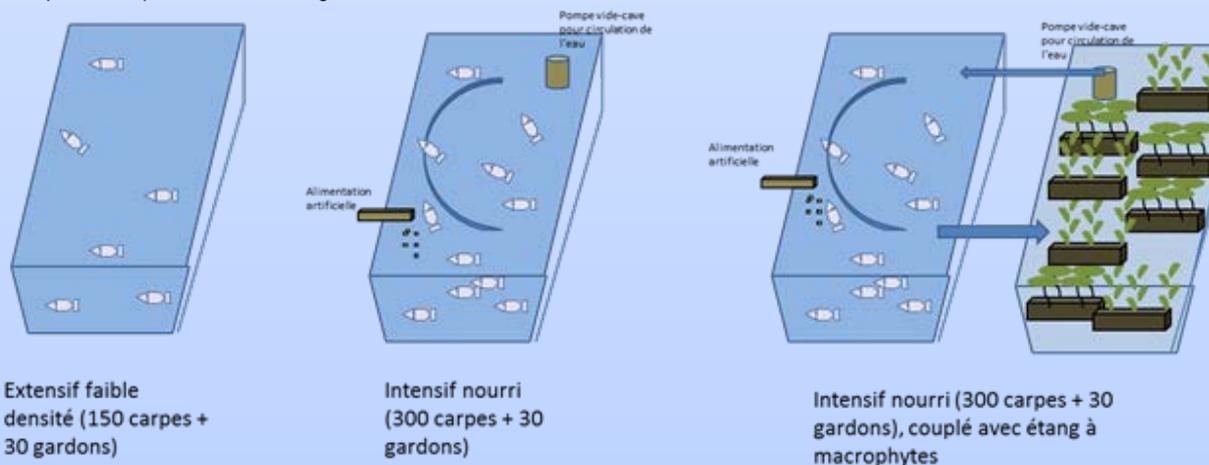


Figure: schéma du dispositif. L'expérience est réalisée dans des étangs de 500 m² en duplicat.

2- Les approches mobilisées

Dans ce projet plusieurs approches seront mobilisées :

- Une approche zootechnique (Coll. U3E), qui permettra de suivre les performances de croissance et de production du poisson, et de valorisation des aliments (rationnement)

- Une approche isotopique (Coll. UMR ESE). Cette approche permettra de tracer le devenir de l'aliment dans les chaînes alimentaires des étangs des différents systèmes. Les isotopes stables de l'azote et du carbone seront analysés dans l'aliment, la matière organique particulaire, les producteurs primaires, les poissons adultes et juvéniles.

- Une approche physico-chimique (Coll. UMR SAS, U3E), qui permettra de suivre l'évolution des concentrations des composés azotés (N tot, NO₂, NO₃, NH₄) et phosphorés (Ptot, PO₄), de l'eau, ainsi que les rapports C/N/P dissous et particulaires, au long de l'expérience et dans les vases (début et fin de cycle). Des prélèvements séquentiels sur 24h permettront de mettre en évidence les variations journalières de concentration dans les étangs et de montrer l'efficacité du rôle épurateur de la zone à macrophytes (entrée/sortie). En parallèle, un suivi de l'évolution du pH de la conductivité, de la température et de l'oxygène permettra d'évaluer le fonctionnement du système biologique.

- Une approche par analyse des communautés de phytoplancton (Coll. Ecobio). La caractérisation des structures de communautés, par une approche morpho-fonctionnelle, permettra de montrer, en parallèle de la physicochimie de l'eau, l'effet du forçage par l'aliment et de la captation des nutriments par les macrophytes.

• Partie 4 : BILAN ET PERSPECTIVES

1. Quel bilan ?

a. Sur le parcours

Mon activité scientifique a évolué depuis des approches expérimentales jusqu'à des approches analytiques, en s'appliquant à des objets qui étaient d'abord des fonctions à l'échelle de l'animal pour maintenant s'appliquer à des systèmes. J'ai jusqu'ici réussi à conserver une palette large de compétences qui m'est très utile pour la conduite d'analyses environnementales et de réflexions sur l'évolution et la conception des systèmes de production aquacoles. A l'issue de mon premier métier, j'ai acquis d'une connaissance pratique des systèmes aquacoles que je mobilise pour les analyses environnementales, notamment pour acquérir rapidement les données clé nécessaires et entrer plus facilement en contact avec mes interlocuteurs de la production, en particulier les pisciculteurs, qui sont rassurés par les discussions techniques. Le travail que je mène actuellement est le fruit d'un parcours qui a contenu des phases d'ingénierie, d'observation de terrain et du milieu naturel (notamment au travers des programmes CASDAR IDAqua et Propre), d'expérimentations qui se poursuivent sur les étangs du Rheu, et d'analyses plus globales. J'ai développé et utilisé les outils très intégrateurs de l'analyse environnementale, puis de l'analyse de la durabilité et enfin étudié le concept d'intensification écologique. Le volet d'enquêtes et de mesures de terrain de ces travaux est loin d'être négligeable (métriques d'indicateurs biologiques, séquences de prélèvements d'eau, enquêtes techniques...), mais permet de se confronter à des réalités difficilement envisageables autrement. Le fait de revoir des scientifiques dans les piscicultures a aussi été un atout pour aborder la question de la durabilité avec les aquaculteurs.

Au cours de ces années, j'ai eu la chance de voyager de par le monde, pour me confronter à différents systèmes aquacoles, différents jeux de contraintes, différents modes de pensée...

J'ai pu tisser un réseau très riche au travers des contacts de scientifiques et d'anciens étudiants, au Brésil, en Thaïlande, en Indonésie, en Inde, au Cameroun, en Tunisie... et bien sûr en France, notamment dans la plupart des organismes de recherche impliqués en aquaculture et chez les producteurs, de truite principalement.

Arriver dans un laboratoire pour travailler en analyse environnementale sans n'en connaître rien, était un pari, que je pense avoir réussi. La responsabilité de l'équipe ASAE (12 scientifiques permanents), nouvellement créée, que l'on m'a confiée en 2012, est la reconnaissance de ce parcours, et aussi la reconnaissance de la pertinence des sujets que je développe (même si leur domaine d'application est essentiellement dans le domaine aquacole).

Les sujets de recherche de l'équipe ASAE (analyse agro-environnementale des systèmes culture élevage) de l'UMR SAS, sont concordants avec les thématiques que j'aborde. Ils sont structurés autour de trois questions :

1. Comment mener des analyses environnementales et multicritères des systèmes agricoles ?
2. Comment proposer des voies d'intensification écologique des systèmes agricoles ?
3. Comment prendre en compte la variabilité et la sensibilité des milieux dans l'évaluation des systèmes agricoles, et dans la conception de systèmes plus durables ?

Un grand nombre de questions sont communes entre les élevages terrestres et aquatiques. Les élevages aquacoles offrent une gamme très large de systèmes avec des liens avec le milieu « naturel » très variés (du très intégré au « hors sol »), et des niveaux d'intégration

(trophiques notamment) plus ou moins complexes, et avec des dynamiques de croissance très contrastées au niveau mondial. Ainsi, ces systèmes sont des laboratoires pour la genèse de nouvelles solutions pour les systèmes d'élevage et l'agriculture en général, notamment par les combinaisons d'espèces (animales et végétales) qu'ils proposent et leur intégration dans les milieux naturels ou anthropisés, marins et d'eau douce, aquatiques et terrestres. Le choix de conserver mon objet de recherche (la pisciculture), ne pose pas semble-t-il de questions à mes collègues centrés sur des productions terrestres.

Conserver un panel large d'approches scientifiques et de systèmes étudiés, n'est pas exempt de certains risques, comme celui de lancer plus d'actions que celles que l'on peut réellement conduire ou valoriser. Certains travaux n'ont pas été publiés, des données dorment encore dans des disques durs. Les sollicitations de divers ordres sont parfois nombreuses, difficiles à arbitrer, considérant leur pertinence et les limites de ma capacité de travail. Faut-il alors restreindre le champ d'investigation, pour creuser plus en profondeur certaines questions ? Ou conserver et cultiver le côté scientifique généraliste qui permet d'aborder une variété de sujets large, avec le risque de rester à la surface des choses ?

J'ai vécu ce dilemme dans le cadre du projet EVAD, qui a véritablement constitué un virage dans mes travaux. Alors que je commençais juste à maîtriser les ACV et que m'apparaissaient plus clairement, les questions méthodologiques, j'ai eu à la fois la chance et la difficulté, d'être confronté à une variété de terrains à étudier (et notamment en milieu tropical), et à un élargissement de mon champ d'étude pour aborder l'analyse de la durabilité, et la prise en compte de méthodologies des champs social et économique.

Je viens encore de vivre une nouvelle orientation par la prise en compte des services écosystémiques dans le projet PISCEnLIT. Jusqu'à quel point s'y impliquer ? Est-ce une thématique qui permet de réinterroger des champs plus disciplinaires ? A quel niveau d'intégration doit-on s'y investir ?

Ces questions interrogent le « *design* » des projets à construire, et la place qu'on entend y prendre (contribution, direction...). Compte tenu de l'ampleur (du champ) des questions associées à la durabilité des systèmes agricoles (et alimentaires en général) et à leur intensification écologique, la question du positionnement ne peut se résoudre à l'échelle individuelle. C'est probablement au travers de collectifs que l'on peut aborder des champs aussi larges.

Les questions associées à la construction et à la vie d'un collectif, à la place de chacun avec ses compétences ; la mise en évidence des manques et de comment on les pallie, sont aussi particulièrement complexes. J'y suis confronté en tant qu'animateur de l'équipe ASAE, compte tenu des objectifs larges qu'elle s'est donnée (évaluation et conception de systèmes agricoles), mais aussi au sein du collectif informel de scientifiques impliqués en aquaculture en France. Il faut à la fois maintenir, une recherche de qualité valorisable sur un plan individuel et aussi qu'elle s'insère dans des projets plus globaux, permettant de traiter de questions pluridisciplinaires comme la durabilité ou l'intensification écologique. Qui fait ces choix ? Comment sont prises les décisions d'orientation au niveau collectif ? Comment définir les questions à traiter ? S'il n'est pas possible d'être exhaustif, alors quels sont les champs que nous devons traiter et ceux qu'il faut abandonner ? Comment poser des priorités ?

Je fais le pari que c'est au travers du fonctionnement d'un collectif que l'on doit arriver à répondre à ces questions, même si le dernier mot reste à celui à qui l'on a confié la responsabilité.

Par ailleurs, on ne peut, à l'INRA, rester sourd aux demandes de la Société pour des productions, à la fois plus sûres, de meilleure qualité, en quantité suffisante et finalement intégrées dans des territoires et des filières durables ; les exigences d'une recherche publique au service des citoyens et non du plus offrant. En aquaculture, en France, les

interlocuteurs sont à la fois rares et très éclatés ce qui ne simplifie pas l'émergence des questions scientifiques, souvent polluées par les jeux d'acteurs, et ce malgré des efforts de structuration (GIS Pisciculture Demain).

Mon activité scientifique s'est aussi appuyée et s'appuiera encore sur l'encadrement d'étudiants. C'est un volet de mon travail qui est très valorisant. Tous les ans, j'encadre plusieurs étudiants de près ou de loin, essentiellement de niveau Master 2 –Ingénieur ou en thèse. Je le conçois comme une responsabilité, avec des facettes multiples. Il s'agit de transmettre un savoir et des savoir-faire, mais aussi au travers des missions confiées, de réaliser un projet ensemble où l'on doit savoir guider tout en permettant d'exprimer la créativité de l'étudiant ; de susciter sa réflexion. C'est aussi lui apprendre l'autonomie tout en l'inscrivant dans le collectif de l'équipe ou du réseau qui l'accueille. Nous avons la chance de recevoir tous les ans beaucoup d'étudiants au niveau du laboratoire ce qui crée un pôle de dynamisme qui participe activement aux activités de l'équipe et aux réflexions d'orientation de nos travaux. Ils sont aussi d'origines géographiques variées ce qui donne un côté « mélange des cultures » très vivant. Je garde longtemps des liens avec mes anciens étudiants, en veillant aussi à leur faire profiter de mon réseau lors de leurs recherches d'emploi. Ils sont ensuite des interlocuteurs professionnels scientifiques ou techniques sur qui on peut compter, et qu'il est intéressant de voir évoluer dans leurs responsabilités. Je regrette parfois de ne pas leur consacrer plus de temps et d'apprendre mieux à les connaître.

b. Sur l'ACV en pisciculture

i. Des avancées

L'Analyse du Cycle de Vie des produits aquatiques est en plein développement. Le nombre d'études augmente régulièrement, le nombre de systèmes différents décrits augmente également. Les catégories d'impacts spécifiques aux productions aquacoles et halieutiques sont de plus en plus élaborées. Nous sommes dans une forme de paradoxe, où la science poursuit des travaux sur ces outils alors qu'on cherche déjà à les employer dans des labels de qualité, pour « informer » les consommateurs, et développer des schémas de certification, de développement durable notamment. Les approches ACV sont maintenant utilisées dans les cahiers des charges tels que ceux développés par l'agro-business comme « Global-Gap » (Global - Good Agriculture Practices) ou dans des démarches d'affichage environnemental de l'ADEME en France (Koch et Salou, 2013).

Les travaux que nous avons pu mener montrent que l'ACV permet de prendre en compte une bonne part des spécificités des systèmes aquacoles pour en proposer un bilan environnemental à la fois générique (permettant de comparer différents systèmes piscicoles entre eux quel que soit leur contexte) et spécifique (permettant dans sa mise en œuvre de s'adapter à la particularité d'un système ou à son contexte). Le cadre méthodologique est applicable à tous les systèmes de production aquacoles, qui sont d'une grande variété, par les espèces qu'ils exploitent, les modalités d'élevage, les objectifs de production et les zones géographiques où ils sont implantés. Les liens à l'eau et aux ressources alimentaires spécifiques à l'aquaculture ont pu être traduits dans les méthodes de calcul des impacts environnementaux, au même titre que les caractéristiques génériques aux systèmes de production agricole. Le bilan environnemental qui est ainsi proposé permet de caractériser les systèmes avec un jeu de critères pertinents permettant de répondre à des attentes environnementales à des échelles variées, d'ordre local jusqu'au niveau global. Les injonctions du développement durable ont pu trouver un écho dans l'application de cette méthode, en quittant une vision uniquement centrée sur des impacts locaux dans les écosystèmes aquatiques (essentiellement pour des raisons réglementaires), pour l'appréhension d'un système de production élargi avec des impacts associés plus divers à des échelles plus vastes.

Le caractère multicritère de l'ACV permet d'analyser les changements de pratiques et l'application d'innovations dans les systèmes de production en mettant en évidence les éventuels transferts d'impacts. Ainsi, l'ACV permet de guider les choix en éclairant l'ensemble des conséquences associées à ces évolutions, comme par exemple lors du changement de formulation des aliments aquacoles, où l'on peut observer des transferts d'impacts, entre catégories d'impact, entre ingrédients (processus) et entre zones géographiques. Les méthodes pour aborder la prise de décision multicritère existent (Botreau, 2008) et peuvent relever des mathématiques ou des sciences sociales. Dans nos travaux, nous nous sommes arrêtés à l'établissement du diagnostic, mais une étape reste à franchir si nous souhaitons aller jusqu'à l'écoconception de nouveaux systèmes sur la base des résultats d'ACV.

Nécessitant un descriptif précis des pratiques et un inventaire détaillé des ressources et des émissions, l'ACV nous a conduit à revoir la notion d'efficacité des systèmes et nous offre une autre lecture des niveaux d'intensification des systèmes aquacoles. L'analyse des flux de matières entrant et sortant met en évidence la capacité des élevages aquacoles à transformer et valoriser les intrants qui lui sont apportés. Ainsi, les systèmes extensifs souvent considérés d'emblée comme peu polluants, montrent une capacité de transformation des intrants modérée et ainsi, des impacts environnementaux ramenés au kg de produit assez élevés.

L'ACV mobilise un nombre important de connaissances et permet de valoriser les démarches de modélisation des processus de production. Dans le cas de l'application aux systèmes piscicoles, nos travaux ont repris les approches par bilan de masse qui sont au cœur des évaluations des émissions de polluants et des consommations de ressources.

ii. Des évolutions à mener

Il reste des marges importantes d'amélioration des modalités d'application des ACV aux systèmes aquacoles.

Sur le plan méthodologique, la définition de règles claires acceptées par tous, dans le choix des modalités d'allocation des impacts entre les différents produits d'un système reste à mener. Dans le cas de systèmes de production complexe comme ceux en polyculture cette question est importante. L'application de règles biophysiques ou basées sur les niveaux trophiques des différentes espèces sont encore à explorer en aquaculture.

Dans la conduite des ACV, la prise en compte de la variabilité des systèmes et des pratiques est une nécessité qui demande des efforts supplémentaires. Ces efforts sont à poursuivre dans la constitution des échantillons de piscicultures qui sont pris en compte dans les analyses. Ils doivent être à la fois plus larges et définis de façon à couvrir l'ensemble de la variabilité des systèmes. Par ailleurs, l'existence de variabilité dans les caractéristiques physiques et biologiques des écosystèmes supports, induit des variations importantes dans les pratiques et les performances au sein des systèmes mais aussi dans le devenir des émissions polluantes. Des approches combinant les analyses du cycle de vie et les systèmes d'information géographique sont à développer (Nitschelm et al. 2014 ; [Cong. 8](#)).

Par ailleurs, l'ACV ne prenant pas en compte les flux d'origine naturelle (énergie solaire, pluie, vent...), l'association dans une démarche couplée avec d'autres méthodes comme l'Emergy devrait être envisagée (Wilfart et al., 2013 ; [ACL.10](#)). En dehors du champ de la méthodologie de l'ACV proprement dite, il manque encore des informations précises sur les émissions des systèmes piscicoles notamment dans le cas des étangs. Il n'existe pas encore de modèles simples et fiables sur les émissions gazeuses (ammoniac et méthane notamment) et sur le cycle de l'azote au niveau des interfaces sédiment-eau-air. Des travaux de caractérisation sont encore à conduire. Les systèmes extensifs sont mal décrits selon les

critères de l'ACV et les données sont difficilement disponibles compte tenu de leur niveau de maîtrise zootechnique, souvent faible.

De façon générale, il manque encore des données d'analyse environnementale dans les systèmes aquacoles. Elles sont nécessaires pour prendre du recul et proposer des valeurs seuils permettant d'émettre un jugement sur les niveaux des impacts. Les systèmes aquacoles tropicaux, en particulier en Asie, sont encore insuffisamment décrits alors qu'ils constituent la plus grande partie de la production aquacole mondiale et qu'ils contribuent à l'alimentation en protéines d'une part importante de l'humanité. En Afrique, le développement d'une pisciculture durable nécessiterait de s'appuyer sur des analyses environnementales plus robustes.

L'ACV des systèmes aquacoles doit continuer à mûrir et à consolider ses bases méthodologiques et développer ses modalités d'application. Dans le même temps, elle contribue déjà à éclairer la notion de développement durable (à l'échelle d'un produit ou d'un territoire), où elle peut servir à documenter de façon très large le pilier environnemental, en parallèle à d'autres approches permettant d'aborder les piliers économiques et sociaux.

L'ensemble des travaux d'analyse environnementale des systèmes aquacoles par ACV ont largement modifié le regard porté sur le lien entre aquaculture et environnement. La compréhension et la sensibilisation à des conséquences environnementales interconnectées est maintenant partagée en Occident dans les filières de production, chez les citoyens et chez les politiques.

Différents niveaux d'acteurs (administration, producteurs, personnes chargées du développement, fournisseurs...) sont en attente de résultats ou d'études permettant soit de justifier le bienfondé de leur activité, soit pour guider des améliorations et la mise en place de projets. L'entrée de certains de ces indicateurs dans des schémas de certification est aussi en cours ou attendue par le secteur marchand qui cherche à assurer la qualité environnementale des produits ou la différenciation du marché selon ces critères dont on pense qu'ils sont de plus en plus pris en compte par les consommateurs. Cette attente est particulièrement importante pour les produits aquatiques qui font partie des tous premiers échangés dans le monde.

2. Quelles perspectives?

a. Une suite pour PISCEnLIT ?

Les travaux de PISCEnLIT ont montré l'importance de la manipulation de différents compartiments des systèmes aquacoles pour améliorer leur bilan environnemental et économique. Cette manipulation et la réflexion sur la complémentarité des différents éléments des systèmes aquacoles est une des voies majeures d'une intensification écologique de ces systèmes. C'est aussi une des voies développées de façon ancestrale au travers des systèmes de polyculture (polyculture de carpes en Chine), où traditionnellement, différentes espèces étaient élevées dans le même milieu pour exploiter différents niveaux trophiques et améliorer la productivité globale du système. Les interactions entre les espèces dans le milieu sont complexes à appréhender et ces systèmes anciens ont été construits de façon empirique sur des durées très longues. La pisciculture moderne s'est éloignée de ces systèmes de polyculture pour se centrer sur la production en monoculture (souvent de poissons carnassiers), d'une espèce dont on cherche à couvrir les besoins nutritionnels par un aliment exogène élaboré. Cette nouvelle pisciculture a permis des niveaux de productivité très élevés, mais en faisant porter par l'environnement l'assimilation et le recyclage de ces déchets, induisant des pollutions ; mais aussi en prélevant des ressources limitées (comme les farines et huiles de poisson) ou des matières premières d'origine agricole, entrant en compétition avec les élevages terrestres. Il est temps de faire

converger ces approches. Les solutions potentielles apportées par les systèmes multitrophiques, avec des compartiments séparés ou associés dans les mêmes structures d'élevage sont à reconsidérer. Il s'agira d'associer différentes espèces animales (poissons, mollusques, crustacés...) et/ou végétales (aquatiques ou terrestres), afin d'améliorer la productivité du système, limiter ses impacts négatifs et globalement d'améliorer les services rendus. Cette vision est celle que nous avons développée dans le projet PISCEnLIT.

Les questions que posent ces systèmes ont des points de similitude avec celles rencontrées par les élevages terrestres. Dans l'équipe ASAE, les questions de complémentarité entre les élevages et les cultures, la gestion de leurs interactions à différentes échelles spatiales, leurs impacts sur les différents compartiments de l'environnement (sol, air, eau), leurs rôles dans les paysages et les territoires, sont au cœur de nos questions de recherche. La transposition de ces questions à l'aquaculture est tout à fait pertinente. La nécessité de développer des outils adaptés pour analyser la performance de ces systèmes et guider leur développement, est commune aux élevages aquatiques et terrestres.

b. Etudier les systèmes multitrophiques

Dans les prochaines années, je souhaite poursuivre mes travaux en les orientant sur l'analyse et la conception de systèmes aquacoles multitrophiques. Une présentation du cadre général de ma réflexion est présentée dans la Figure 11.

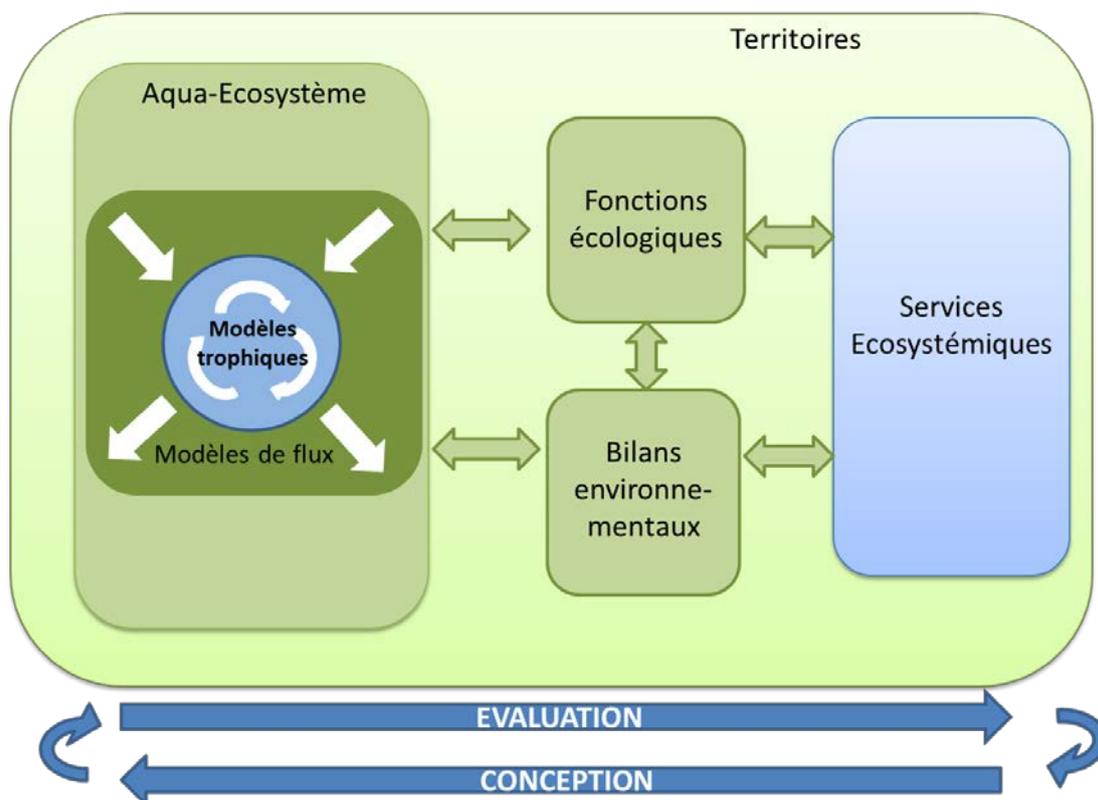


Figure 11 : Schéma général de projet scientifique

Il s'agira d'associer les modèles de flux de matières que j'utilise déjà à des modèles trophiques permettant de qualifier les liens entre les différents compartiments d'un système multitrophique, soit en combinant les différents compartiments en polyculture soit en séparant les compartiments. Ces modèles trophiques ont été développés dans le domaine halieutique (Pauly, 2000) et encore peu utilisés pour caractériser les chaînes trophiques dans les systèmes aquacoles (Lopez, 2011). Il s'agira avec ces modèles de représenter le fonctionnement des systèmes dans l'objectif de les faire évoluer et de produire les éléments nécessaires aux analyses environnementales permettant de caractériser leurs performances. Deux approches seront utilisées pour l'évaluation : l'ACV qui permettra de bien mettre en évidence les flux issus de la technologie et l'Emergy qui permettra de traduire en flux d'énergie les flux issus de la nature et de l'économie (Wilfart et al., 2013 ; [ACL.10](#)). Les deux analyses Emergy et ACV donnent des réponses complémentaires pour l'analyse environnementale des systèmes, l'une plus axée sur les flux associés aux activités humaines, l'autre montrant l'influence des ressources naturelles. Nous chercherons ensuite à faire le lien entre ces éléments d'analyse environnementale avec différents services écosystémiques, comme nous l'avons initié dans le cadre de PISCEnLIT (Aubin et al., 2014 ; [Cong.2](#)). Ce travail pourrait faire l'objet d'un co-encadrement de thèse avec Aurélie Wilfart (UMR SAS) et Hélène Rey-Valette (U. Montpellier1).

A plus long terme, la démarche pourrait être inversée en proposant une démarche d'éco-conception basée sur l'optimisation des services écosystémiques et les fonctions écologiques qu'ils sous-tendent, pour en déduire des spécificités des systèmes de production à développer. L'étude des fonctions écologiques est envisageable mais avec des partenariats adaptés avec des collègues écologues.

Ces travaux pourraient faire appel à de la modélisation des flux et des liens trophiques et à des approches expérimentales, comme celles qui sont conduites aux étangs du Rheu (encart 9), ou dans d'autres milieux comme des marais côtiers.

En complément d'une meilleure compréhension et modélisation des liens entre espèces à l'intérieur du système, il s'agira de poursuivre la description des flux de matières et leur modélisation. C'est particulièrement le cas pour les émissions gazeuses qui sont très mal renseignées dans les systèmes aquacoles. Il est par exemple nécessaire d'analyser le rôle des étangs vis-à-vis du changement climatique, comme puits et source : stockage de carbone dans les boues de fond d'étang d'une part, et émissions de CH₄ et N₂O d'autre part. Des données et modèles manquent cruellement sur ces sujets, pour affiner le bilan environnemental de la pisciculture d'étang en milieux tempérés et tropicaux. C'est un sujet sur lequel je souhaite me pencher.

c. Les analyses multicritères comme cadre général

L'Analyse du Cycle de Vie restera au cœur de mon activité scientifique comme cadre de réflexion, comme sujet à approfondir et comme méthode à améliorer.

La définition d'un bilan environnemental à l'échelle d'un territoire, permettant de prendre en compte les interactions des activités agricoles et/ou aquacoles est un enjeu important, pour placer l'écoconception, pas seulement à une échelle produit mais aussi à celle d'espaces. Pour cela, il est nécessaire de faire évoluer le cadre des ACV. Il s'agit de rendre l'ACV spatialement explicite, au travers des différentes étapes de sa méthodologie :

- Spatialiser l'inventaire
- Spatialiser la sensibilité du milieu aux impacts (capacité d'accueil de polluants ? charges limites admissibles ?) et la disponibilité en ressource

- Spatialiser les impacts et trouver un mode de représentation explicite

Ce travail qui croisera l'ACV avec les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), est commencé grâce au co-encadrement de la thèse de Laure Nitschelm qui a débuté en novembre 2013 (Nitschelm et al., 2014 ; [Cong.7](#) ; [Cong.8](#)). Il permet de mobiliser les compétences de collègues d'ASAE mais aussi d'autres équipes de l'UMR SAS, spécialisés dans les analyses des paysages et utilisant les SIG.

Je suis régulièrement sollicité pour entrer dans des projets où l'analyse environnementale permet d'éclairer les choix des acteurs scientifiques, de gestion ou de développement. C'est une part de mon activité qui perdurera tant qu'elle me permettra de compléter mes connaissances dans les systèmes aquacoles ou qu'elle m'aidera à développer des questions méthodologiques. C'est par exemple le cas dans le cadre du projet ANR DESIRABLE, qui me donne l'opportunité d'aborder la performance environnementale d'un système innovant : la bio raffinerie par l'élevage d'insectes pour la fourniture de protéines pour l'alimentation des volailles et des truites. Ce projet nous permettra d'aborder les ACV conséquentielles en analysant les conséquences environnementales et sociales associées aux modifications de marchés induites par les changements de rations dans les filières volailles et truites (en collaboration avec Catherine Macombe de l'IRSTEA). Je ne compte pas m'investir dans L'ACV Sociale ou l'analyse économique approfondie des systèmes. De même, je ne compte pas m'investir directement dans l'analyse des processus de prise de décision qui suivent les résultats d'une analyse multicritère comme l'ACV. Ce thème est un champ de recherche à part entière et si je suis intéressé de contribuer à des projets qui aborderont ce thème, je ne mènerai pas de travaux de recherche sur ce sujet.

Néanmoins, je compte poursuivre l'étude des bases méthodologiques de l'analyse multicritère des systèmes agricoles (et aquacoles) au travers de partenariats, notamment dans le cadre de projets scientifiques et du développement de la plateforme MEANS.

d. En quelques mots

L'ensemble des travaux que je compte mener dans les années à venir doit concourir à produire des cadres théoriques pour l'évolution des systèmes aquacoles, qu'il est nécessaire de tester, d'expérimenter et de confronter aux savoirs et objectifs des acteurs concernés par les activités aquacoles. Ces cadres doivent aussi concourir aux développements de la réflexion dans le domaine agricole en général au sein de mon unité de recherche et à l'INRA en général. Le virage de l'agroécologie, en tant que courant scientifique reposant sur la complémentarité des compartiments de l'écosystème productif et des liens trophiques, nous propose une perspective intéressante pour l'amélioration et l'utilisation des méthodes et outils que nous développons.

L'HDR est pour moi l'opportunité d'encadrer avec plus d'autonomie des étudiants en thèse. Cette activité d'encadrement est d'une grande richesse. Elle permet de se laisser bousculer par ces jeunes qui arrivent avec d'autres idées, de nouvelles façons de travailler, la maîtrise de nouveaux outils. Avec eux, je souhaite explorer d'autres directions ou approfondir les idées issues de nos réflexions prospectives. Ce ne sera pas un travail solitaire car je suis persuadé de la nécessité de croiser les points de vue pour avancer dans la recherche sur les systèmes de production particulièrement en aquaculture.

• Bibliographie

- Altieri, M.A., 2002, Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93: 1-24.
- Ardente, F., Cellura, M., 2012. Economic Allocation in Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology* 16, 387-398.
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., Pelletier, N.L., Sonesson, U., Scholz, A., 2007. Co-product allocation in life cycle assessments of seafood production systems: Review of problems and strategies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12: 480-487.
- Basset-Mens, C., van der Werf, H.M.G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 127-144.
- Benito, Y., Pin, C., Fernandez, M.F., Marin, M.L., Selgas, M.D., Garcia, M.L., Casas, C., 1996. Attachment of lactic acid bacteria to beef-muscle surfaces. *Folia Microbiol. (Praha)*, 41: 333-338.
- Billard, R., 2010. *Derrière chez moi, y'a un étang. Les étangs, textes d'hier, regards d'aujourd'hui et de demain.* Editions Quae, Versailles, 302 pp.
- Billard R., 1980. La polyculture en étang. In R. Billard (Ed), *La pisciculture en étang*, INRA Publ., Paris (France), 269-281.
- Blancheton, J.P., Bosc, P., Hussenot, J.M.E., d'Orbcastel, E.R., Romain, D., 2009. The 'new' European fish culture systems: Recirculating systems, offshore cages, integrated systems. *Cahiers Agricultures*, 18, 227-234.
- Boeuf, G., Prunet, P., 1985. Measurements of gill (Na+K+)-ATPase activity and plasma thyroid hormones during smoltification in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 45, 111-119.
- Botreau, R., 2008. *Evaluation multicritère du bien-être animal. Thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement – Agro Paris Tech, Spécialité Productions Animales.* 393 pp.
- Bureau, D.P., Gunther, S., Cho, C.Y., 2002. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, 65, 33-38.
- Cahu, C., Zambonino Infante, J., Takeuchi, T., 2003. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture*, 227, 245-258.
- Cederberg, C., Stadig, M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 350-356.
- Chevassus-au-Louis, B., Lazard, J., 2009. Current situation and prospects for international fish farming: Consumption and production. *Cahiers Agricultures*, 18, 82-90.
- Cho, C. Y., Kaushik, S. J., 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Reviews in Nutrition and Dietetics*, 61, 132-172.
- Davie P.S., Thorarensen H., 1996. Coronary arteriosclerosis in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), is related to heart size rather than sex or reproductive status. *Journal of Fish Diseases*, 19, 283–288.
- Devlin, R.H., Yesaki, T.Y., Donaldson, E.M., Hew, C.-L., 1995. Transmission and phenotypic effects of an antifreeze/GH gene construct in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 137, 161-169.
- Efole Ewoukem, T., 2011. *Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des exploitations familiales agricoles au Cameroun. Thèse de Doctorat Agrocampus Ouest de l'Ecole Doctorale Vie Agro-Santé, Université Européenne de Bretagne, Rennes,* 214 pp.
- Efron, B., 1979. Bootstrap methods - another look at the jackknife. *Annals of Statistics*, 7, 1-26.
- FAO, 2012. *The state of world Fisheries and aquaculture 2012.* Food and Agriculture Organisation of United Nations, Rome, 230 pp.
- Gatesoupe, F.J., 1999. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, 180, 147-165.

- Gedek, B.R., 1999. Adherence of *Escherichia coli* serogroup O 157 and the *Salmonella* Typhimurium mutant DT 104 to the surface of *Saccharomyces boulardii*. *Mycoses*, 42, 261-264.
- Griffon, M., 2013. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Quae Ed., Coll. Matière à débattre & décider, Versailles, 221 pp.
- Griffon, M., 2010. Pour des agricultures écologiquement intensives. Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues. 143 pp.
- Gross, A., Boyd, C.E., Wood, C.W., 2000. Nitrogen transformation and balance in channel catfish pond. *Aquacultural Engineering*, 24, 1-14.
- Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 692 pp.
- ISO, 2006a. Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework (ISO 14040:2006). European Committee for Standardization, Brussels. 20 pp.
- ISO, 2006b. Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006). European Committee for Standardization, Brussels. 20 pp.
- Joint Research Center, 2011. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook-Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union. 417pp.
- Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., Shaked, S., 2010. Analyse du Cycle de Vie : comprendre et réaliser un écobilan. 2ème édition mise à jour et augmentée. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne. 302 pp.
- Koch, P., Salou, T., 2014. AGRIBALYSE : Rapport méthodologique - version 1.1. In: ADEME (Ed.), Angers, France, 386 pp.
- Kvellestad A., Høie S., Thorud K., et Lyngøy A. 2000. Platyspondyly and shortness of vertebral column in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in Norway: description and interpretation of pathologic changes. *Diseases of Aquatic Organisms*, 39, 97-108.
- López, B. D., 2011. Aquaculture Systems. In Handbook of ecological models used in ecosystem and environmental management, S. E. Jorgensen Editor, 241–257.
- Madsen, L., Dalsgaard, I., 1999. - Vertebral deformities in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 171, 41-48.
- Meyers, T.R. 1989. Apparent chronic bacterial myeloencephalitis in hatchery-reared juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch* in Alaska. *Diseases of Aquatic Organisms*, 6, 217-219.
- Middlemas, S.J., Fryer, R.J., Tulett, D., Armstrong, J.D., 2013. Relationship between sea lice levels on sea trout and fish farm activity in western Scotland. *Fisheries Management and Ecology*, 20, 68-74.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystem and Human Well-being : A framework for Assessment, Island Press, Washington DC. 155 p.
- Milstein, A., 2005. Polyculture in aquaculture. *Animal Breeding Abstract*. CABI Publishing, 15-41.
- Mungkung, R., 2005. Shrimp Aquaculture in Thailand: Application of Life Cycle Assessment to support sustainable development. Ph.D. Dissertation. Centre for Environmental Strategy (CES), School of Engineering, University of Surrey, UK, 299 pp.
- Naviner, M., Gordon, L., Giraud E., Denis, M., Mangion, C., Le Bris, H., Ganière, J.-P., 2011. Antimicrobial resistance of *Aeromonas* spp. isolated from the growth pond to the commercial product in a rainbow trout farm following a flumequine treatment. *Aquaculture*, 315(3-4), 236-241.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C., 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231(1-4), 361-391.
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. Wiley, New York, 370 pp.

- Papatryphon, E., Petit, J., Van der Werf, H.M.G., Kaushik, S.J., Kanyarushoki, C., 2005. Nutrient balance modeling as a tool for environmental management in aquaculture: the case of trout farming in France. *Environmental Management*, 35(2), 161-174.
- Papatryphon, E., Petit, J., Kaushik, S.J., van der Werf, H.M.G., 2004a. Environmental impact assessment of salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA). *Ambio*, 33, 316-323.
- Papatryphon, E., Petit, J., van der Werf, H. M. G., 2004b. The development of Life Cycle Assessment for the evaluation of rainbow trout farming in France. In: Halberg N., editor. *Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference*. Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark, 73-80.
- Pauly, D., 2000. Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 697-706.
- Pelletier, N., Tyedmers, P., 2011. An Ecological Economic Critique of the Use of Market Information in Life Cycle Assessment Research. *Journal of Industrial Ecology*, 15, 342-354
- Pelletier, N., Tyedmers, P., 2008. Life Cycle Considerations for Improving Sustainability Assessments in Seafood Awareness Campaigns. *Environmental Management*, 42, 918-931.
- Quillet, E. Chevassus, B. ; Devaux, A. 1988. Timing and duration of hatching in gynogenetic, triploid, tetraploid, and hybrid progenies in rainbow trout. *Genetics Selection Evolution*, 20 (2), 199-210.
- Saunders R.L., Farrell A.P., Knox D.E., 1992. Progression of coronary arterial lesions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) as a function of growth rate. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 878-884.
- Tacon, A.G.J., Metian, M., Turchini, G.M., Silva, S.S.d., 2010. Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. *Reviews in Fisheries Science* 18, 94-105.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009. Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1-9.
- Tyedmers, P., Pelletier, N., 2006. Biophysical accounting in aquaculture: insights from current practice and the need for methodological development. In: Bartley, D.M., Brugère, C., Soto, D., Gerber, P., Harvey, B. (Eds.), *Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors. Methods for meaningful comparisons*, FAO/WFT Expert Workshop. FAO, Rome (Italy), Vancouver (Canada), 229-252.
- Van der Werf, H.M.G., Petit, J., 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93, 131-145.
- Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2012. Best practices in life cycle assessment implementation in fisheries. Improving and broadening environmental assessment for seafood production systems. *Trends in Food Science & Technology*, 28, 116-131.

• ANNEXE 1 : Liste des travaux

Articles à comité de lecture

2014

- ACL. 1 **Aubin, J.**; Baruthio, A.; Mungkung, R.; Lazard, J. 2015. Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. *Aquaculture*, 435, 217-227.
- ACL. 2 Avadi, A.D.; Pelletier, N.; **Aubin, J.**; Ralite, S.; Núñez, J.; Fréon, P. 2015. Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. *Aquaculture*, 435, 52-66.
- ACL. 3 Chen, X.; Samson, E.; Tocqueville, A.; **Aubin, J.** 2014. Environmental assessment of trout farming in France by life cycle assessment: using bootstrapped principal component analysis to better define system classification. *Journal of Cleaner Production*, 87, 87-95.
- ACL. 4 Besson, M.; Komen, H.; **Aubin, J.**; de Boer, I.J.M.; Poelman, M.; Quillet, E.; Vancouillie, C.; Vandeputte, M.; van Arendonk J.A.M. 2014. Economic values of growth rate and feed conversion ratio in fish farming under density and nitrogen limitation. *Journal of Animal Science*, 92, 5394-5405.
- ACL. 5 Mathé S., Chia E., Rey-Valette H., **Aubin J.**, Fontaine P. Capacités d'innovation et proximités des aquaculteurs vis-à-vis de l'intensification écologique : le cas de l'aquaculture en étang en France et au Brésil. *Revue Française de Gestion (accepté)*.
- ACL. 6 Oliveira Santos, A.A.; **Aubin, J.**; Corson, M.S.; Cortoni Valenti, W.; Monteiro Camargo, A.F. 2014. Comparing environmental impacts of native and introduced freshwater prawn farming in Brazil and the influence of better effluent management using LCA. *Aquaculture (in revision)*
- ACL. 7 Rey-Valette H., S. Mathé, E. Chia, **J. Aubin**, 2014. Quels types d'éco-aquaculteurs face à l'intensification écologique? L'exemple de l'aquaculture en étang en France et au Brésil. *Soumis à la Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*.

2013

- ACL. 8 Auberger J.; Gésan-Guiziu G.; Haese C.; **Aubin J.**; van der Werf H. 2013. MEANS : une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires. *Innovations Agronomiques*, 31, 169-181.
- ACL. 9 Thevenot, A.; **Aubin, J.**; Tillard, E.; Vayssières, J. 2013. Taking into account farm diversity in LCA studies – Illustration with poultry production. *Journal of Cleaner Production*, 57, 280-292.
- ACL. 10 Wilfart, A.; Prudomme, J.; Blancheton, J.P.; **Aubin, J.** 2013. LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological intensification. *Journal of Environmental Management*, 121, 96-109.
- ACL. 11 Mungkung, R.; **Aubin, J.**; Prihadi, T.H.; Slembrouck, J.; van der Werf, H.M.G.; Legendre, M. 2013. Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production*, 57, 249-256.
- ACL. 12 Arroyo, J.; Fortun-Lamothe, L.; Auvergne, A.; Dubois, J.P.; Lavigne, F.; Bijja, M.; **Aubin, J.** 2013. Environmental influence of maize substitution by sorghum and diet presentation on goose foie gras production. *Journal of Cleaner Production*, 59, 51-62.

- ACL. 13 Médale, F.; Le Boucher, R.; Dupont-Nivet, M.; Quillet, E.; **Aubin, J.**; Panserat, S. 2013. Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. INRA Productions Animales, 26 (4), 303-316.

2012

- ACL. 14 Mungkung, R. ; Gheewala, S.H. ; Kanyarushoki, C. ; Hospido, A. ; Van der Werf, H.M.G. ; Poovarodom, N. ; Bonnet, S. ; **Aubin, J.** ; Moreira, T. ; Feijoo, G. 2012. Product carbon footprinting in Thailand: A step towards sustainable consumption and production? Environmental Development, 46 (17), 9447-9455.
- ACL. 15 Efole - Ewoukem, T.; **Aubin, J.**; Mikolasek, O.; Corson, M.S.; Tomedi – Eyango, M.; Tchoumboue, J.; van der Werf, H.M.G.; Ombredane, D. 2011. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon, Journal of Cleaner Production, 28, 208-214.
- ACL. 16 Jerbi, M.A.; **Aubin, J.**; Garnaoui, K.; Achour, L.; Kacem, A. 2012. Life cycle assessment (LCA) of two rearing techniques of seabass (*Dicentrarchus labrax*). Aquacultural Engineering, 46, 1-9.
- ACL. 17 Guilpart, A. ; Roussel, J.M. ; **Aubin, J.** ; Caquet, T. ; Marle, M. ; Le Bris, H. 2012. The use of benthic invertebrate community and water quality analyses to assess ecological consequences of fish farm effluents in rivers. Ecological Indicators, 23, 356-365.
- ACL. 18 Wilfart, A. ; **Aubin, J.** ; Corson, M. 2012. La méthode EMERGY : principes et application en analyse environnementale des systèmes agricoles. INRA Productions Animales, 25 (1), 57-65.

2011

- ACL. 19 **Aubin, J.** ; Tocqueville., A. ; Kaushik, S. J. 2011. Characterisation of waste output from flow-through trout farms in France: comparison of nutrient mass-balance modelling and hydrological methods. Aquatic Living Resources, 24 (1), 63-70.
- ACL. 20 Boissy, J.; **Aubin, J.**; Drissi, A.; van der Werf, H. M. G.; Bell, G. J.; Kaushik, S. J. 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. Aquaculture, 321 (1-2), 61-70.
- ACL. 21 Dedieu, B., **Aubin, J.**, Duteurtre, G.; Alexandre, G.; Vayssières, J.; Bommel, P.; Faye, B.; Mahieu, M.; Fanchone, A.; Tourrand, J.F.; Ickowic, A. 2011. Conception et évaluation de systèmes d'élevage durables en régions chaudes. Productions Animales, 24 (3), 113-128.

2010

- ACL. 22 Lazard, J.; Baruthio, A.; Mathé, S.; Rey-Valette, H.; Chia, E.; Clément, O.; **Aubin, J.**; Morissens, P.; Mikolasek, O.; Legendre, M.; Levang, P.; Blancheton, J.P.; René, F. 2010. Aquaculture system diversity and sustainable development: fish farms and their representation. Aquatic Living Resources, 23 (2), 187-198
<http://dx.doi.org/doi:10.1051/alr/2010018>

2009

- ACL. 23 **Aubin, J.**; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Chatzifotis, S. 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 17 (3), 354-361
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.008>
- ACL. 24 Lazard, J.; Baruthio, A.; Mathé, C.; Rey-Valette, H.; Chia, E.; **Aubin, J.**; Clément, O.; Morissens, P.; Mikolasek, O.; Legendre, M.; Levang, P.; Blancheton, J.P.; René, F. 2009. Adaptation des typologies d'exploitations aquacoles aux exigences du

développement durable. Cahiers Agricultures, 18 (2-3), 199-210
<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2009.0297>

ACL. 25 Roque d'Orbcastel, E.; Blancheton, J.P.; **Aubin, J.** 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquaculture Engineering*, 40 (3), 113-119
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.002>

2008

ACL. 26 Lefevre, F.; Bugeon, J.; Auperin, B.; **Aubin, J.** 2008. Rearing oxygen level and slaughter stress effects on rainbow trout flesh quality. *Aquaculture*, 284 (1-4), 81-89
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.017>

ACL. 27 Roque d'Orbcastel, E.; Blancheton, J.-P.; Boujard, T.; **Aubin, J.**; Moutounet, Y.; Przybyla, C.; Belaud, A. 2008. Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. *Aquaculture*, 274 (1), 72-79
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.053>

2007

ACL. 28 Lefevre, F.; **Aubin, J.**; Louis, W.; Labbe, L.; Bugeon, J. 2007. Moderate hypoxia or hyperoxia affect fillet yield and the proportion of red muscle in rainbow trout. *Cybium*, 31 (2), 247-253

ACL. 29 Quillet, E.; Le Guillou, S.; **Aubin, J.**; Labbe, L.; Fauconneau, B.; Medale, F. 2007. Response of a lean muscle and a fat muscle rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) line on growth, nutrient utilization, body composition and carcass traits when fed two different diets. *Aquaculture*, 269 (1-4), 220-231
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.047>

2006

ACL. 30 **Aubin, J.**; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Petit, J.; Morvan, Y.M. 2006. Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) recirculating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture*, 261 (4), 1259-1268
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.008>

2005

ACL. 31 **Aubin, J.**; Gatesoupe, F.J.; Labbé, L.; Lebrun, L. 2005. Trial of probiotics to prevent the vertebral column compression syndrome in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) *Aquaculture Research*, 36 (8), 758-767
<http://dx.doi.org/doi:10.1111/j.1365-2109.2005.01280.x>

ACL. 32 Claireaux, G.; McKenzie, D.J.; Gaylene Genge, A.; Chatelier, A.; **Aubin, J.**; Farrell, A.P. 2005. Linking swimming performance, cardiac pumping ability and cardiac anatomy in rainbow trout. *The Journal of Experimental Biology*, 208 (10), 1775-1784
<http://dx.doi.org/doi:10.1242/jeb.01587>

ACL. 33 Clément, O.; Lazard, J.; **Aubin, J.** 2005. Le Développement durable de l'aquaculture. *C.R. Académie . d'Agriculture de. France*, 91 (4), 33-43

ACL. 34 Quillet, E.; Le Guillou, S.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B. 2005. Two-way selection for muscle lipid content in pan-size rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) *Aquaculture*, 245 (1-4), 49-61
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.aquaculture.2004.12.014>

Avant 2005

- ACL. 35 Kacem, A. ; Meunier, F.J. ; **Aubin, J.** ; Haffray, P. 2004. Caractéristiques histomorphologiques des malformations du squelette vertébral chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) après différents traitements de triploïdisation. *Cybium* 2004, 28 (1) suppl.,15-23
- ACL. 36 Lefrançois, C. ; Claireaux, G. ; Mercier, C.; **Aubin, J.** 2000. Effect of density on the routine metabolic expenditure of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 195, 269-277
- ACL. 37 Mercier, C.; **Aubin, J.** ; Lefrançois, C. ; Claireaux, G. 2000. Cardiac disorders in farmed adult brown trout (*Salmo trutta L.*) *Journal of Fish Diseases*, 23, 243-249.
- ACL. 38 Rouger, Y. ; **Aubin, J.** ; Breton, B. ; Fauconneau, B. ; Fostier, A. ; Le Bail, P.Y. ; Loir, M. ; Prunet, P. ; Maisse, G. 1998. Réponse au stress induit par le transport chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). *Bulletin français. de Pêche et Pisciculture*, (350-351), 511-519
- ACL. 39 Aupérin, B. ; Goardon, L. ; Quéméneur, A. ; Thomas, J.L. ; **Aubin, J.** ; Valotaire, C. ; Rouger, Y. ; Maisse, J. 1998. Etude préliminaire sur l'utilisation de "l'Aqui'S" comme anesthésique pour la manipulation et l'échantillonnage de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et de truites fario (*Salmo trutta*). Facteurs de l'environnement et biologie des poissons ; 1997/09/23-25 ; Rennes (FRA). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 71 (350-351), 291-301.
- ACL. 40 Bonnet, S. ; Haffray, P. ; Chevassus, B. ; **Aubin, J.** ; Fauconneau, B. 2002. Conformation and carcass quality traits in seawater adult brown trout : correlated responses to selection for freshwater body length growth and triploidy selection interactions. *Aquaculture.*, 204 (3-4), 193.

Proceedings, résumés de communications orales ou par posters lors de congrès

2014

- P. 1 **Aubin, J.** ; Fontaine, C. 2014. Environmental impacts of producing bouchot mussels in Mont-Saint-Michel Bay (France) using LCA, with emphasis on potential climate change and eutrophication. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, 6 p.
- P. 2 Besson, M. ; **Aubin, J.** ; van Arendonk J.A.M.; Komen, H.; Poelman, M.; Vandeputte, M.; de Boer, I.J.M. 2014. Environmental consequences of improving growth rate and feed conversion in fish farming under density and nitrogen limitation. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, 8 p.
- P. 3 Besson, M.; Komen, H.; Vandeputte, M.; **Aubin, J.**; de Boer, I.J.M.; van Arendonk J.A.M.; Economic and Environmental Impacts of Improving Growth Rate and Feed Efficiency in Fish Farming Depend on Nitrogen and Density Limitation. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver, Canada, August 17-22 2014. 3p.
- P. 4 Nitschelm, L.; Corson, M.; **Aubin, J.**; Viaud, V.; Walter C. 2014. Utility of spatially explicit LCA for agricultural territories 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, 8 p.

2013

- P. 5 Arroyo, J. ; **Aubin, J.**; Auvergne, A.; Dubois, J.-P.; Debaeke, P.; Fernandez, X.; Baéza, E.; Leterrier, C.; Fortun-Lamothe, L. 2013. Effets de la substitution du maïs par du sorgho Sur la durabilité de la production de foie gras d'oie. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, 26-28 mars 2013. 7p.

2010

- P. 6 de Matos Casaca, J.; **Aubin, J.** 2010. Analyse do ciclo de vida do sistema peixe-verde. In : *Temas especiais em biologia - Aquática e aquicultura III*. Possebon Cyrino, J.E.; Furuya, W.M.; Pereira Ribeiro, R.; Scorvo Filho, J.D. (Eds). Aquacultura 2008. Maringá, PR. 23-30 outubro 2008. 55-97
- P. 7 Rey-Valette, H. ; Clément, O. ; **Aubin, J.** ; Mathé, S. ; Chia, E. ; Legendre, M. ; Caruso, D. ; Mikolasek, O. ; Blancheton, J-P. ; Slembrouck, J. ; Baruthio, A. ; René, F. ; Levang, P. ; Morissens, P. ; Lazard, J. 2010. An approach to co-construct sustainable development indicators in aquaculture. In *The Fifteenth Biennial conference of the International Institute of Fisheries Economics & Trade (IIFET)*, F. Laloë, C. Chaboud (Eds), Montpellier, July 13-17 2010. 12 p.

2007

- P. 8 Haffray, P. ; **Aubin, J.** ; Houis, V. ; Labbé, L. ; Jalabert, B. Comparison of pressure or thermal treatments on triploid yields and malformations up to swim up stage in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [Poster (résumé)]. *Genetics in aquaculture IX* ; 2006/06/26-30 ; Montpellier (FRA). Vandeputte, M. (Coordinateur) ; Chatain, B. (Coordinateur) ; Hulata, G. (Coordinateur). *Proceedings of the Ninth International Symposium on Genetics in Aquaculture*. Amsterdam (NLD) : Elsevier ; *Aquaculture*. 2007, 272 (Supplément 1) : S265.

2005

- P. 9 **Aubin, J.**; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Petit, J.; Chatzifotis, S. 2005. Assessment of environmental impact of finfish production systems using Life Cycle Assessment. In : *EAS Special Publication*. Howell, B.; Flos, R. (Eds). *Aquaculture Europe 2005 : Lessons from the past to optimising the Future*. Trondheim, NO. 5-9 Aout 2005, (35) : 113-114
- P. 10 Gatesoupe, F.J.; **Aubin, J.**; Quentel, C.; Labbé, L.; Forraz, M. 2005. Ofimer probiotic study on rainbow trout. II. Intestinal microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) submitted to probiotic treatment with *Saccharomyces Cerevisiae* var. BoulardII. In : *EAS Special Publication*. Howell, B.; Flos, R. (Eds). *Aquaculture Europe 2005 : Lesson from the past to Optimise the Future*. Trondheim, NO. 5-9 Aout 2005, (35), 217-218
- P. 11 Gatesoupe, F.J.; **Aubin, J.** ; Quentel, C. ; Labbe, L. 2005. Ofimer probiotic study on rainbow trout. 4. The settlement of intestinal microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry submitted to probiotic treatment. *Larvi'05* ; 2005/09/05-08 ; Ghent (BEL). Hendry, C.I. (Editeur) ; van Stappen, G. (Editeur) ; Wille, M. (Editeur). *Larvi'05. Fish and Shellfish larviculture symposium*. Oostende (BEL) : European Aquaculture Society ; *EAS Special Publication*. 2005, (36) : 180-183.
- P. 12 Quentel, C.; Gatesoupe, F.J.; **Aubin, J.**; Lamour, F.; Abiven, A.; Baud, M.; Labbé, L.; Forraz, M. 2005. Ofimer probiotic study on rainbow trout. I. Résistance against *Yersinia ruckeri* an humoral immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) submitted to probiotic treatment with *Saccharomyces Cerevisiae* var. BoulardII. In : *EAS Special Publication*. Howell, B.; Flos, R. (Eds). *Aquaculture Europe 2005 : Lesson from the past to Optimise the Future*. Trondheim, NO. 5-9 Aout 2005, (35), 380-381

Articles de synthèse

- S. 1 **Aubin, J.**, 2013. Life Cycle Analysis as applied to environmental choices regarding farmed or wildcaught fish, CAB Reviews.8, N°11 CAB International.
- S. 2 **Aubin, J.**; Van der Werf, H.M.G. 2009. Pisciculture et environnement : apports de l'analyse du cycle de vie. Cahiers Agricultures, 18 (2-3), 220-226
<http://dx.doi.org/doi:10.1684/agr.2009.0287>

Brevets, licences

- B. 1 **Aubin, J.**; Labbé, L.; Gatesoupe, F.J.; Lebrun, L. 2004. - Utilisation de bactéries de la classe des Bacilli pour la fabrication d'une composition pour la prévention du syndrome de compression des vertébrés chez les salmonidés. IFREMER INRA (n° Brevet 2 856 597) 18 p. + annexes

Ouvrages scientifiques

2014

- O. 1 **Aubin, J.** 2014 . Contribution de l'Analyse du Cycle de Vie à l'analyse environnementale des systèmes de pisciculture. Thèse de Doctorat Agrocampus Ouest de l'Ecole Doctorale Vie Agro-Santé, Université Européenne de Bretagne, Rennes, 150 p..
- O. 2 **Aubin, J.**; Rey-Valette, H.; Mathé, S.; Wilfart, A.; Legendre, M.; Slembrouck, J.; Chia, E.; Masson, G.; Callier, M.; Blancheton, J.P., Tocqueville, A.; Caruso, D.; Fontaine, P. 2014. Guide de mise en œuvre de l'intensification écologique pour les systèmes aquacoles © Diffusion INRA-Rennes, 131 p. ISBN: 978-2-9547969-0-1

2013

- O. 3 **Aubin, J.** ; Donnars, C. ; Supkova, M. ; Dorin, B. 2013. A critical panorama of methods used to assess food sustainability. Food system sustainability: Insights from duALLne, Esnouf, C. ; Russel, M. ; Bricas, N.(Coord), Cambridge University Press, New York :198-232.

2011

- O. 4 **Aubin, J.** ; Donnars, C. ; Supkova, M. ; Dorin, B. 2011. Méthodes d'évaluation, panorama critique. In : Pour une alimentation durable, Réflexion stratégique duALLne, Esnouf, C. ; Russel, M. ; Bricas, N. (Coord), Quae Eds Paris :205-232.
- O. 5 Lazard, J. ; Rey-Valette, H. ; **Aubin, J.** ; Mathe, S. ; Chia, E. ; Caruso, D. ; Mikolasek, O. ; Blancheton J.P. ; Legendre,M. ; Baruthio, A. ; Rene, F. ; Levang, P. ; Slembrouck, J. ; Morissens, P. ; Clement, O. 2011. Evaluation of aquaculture system sustainability: a methodology and comparative approaches. In Recent advances in fish farms (InTech). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00051/16203/>

2010

- O. 6 **Aubin, J.**; Bugeon, J.; Fauconneau, B.; Lefèvre, F. 2010. Les exigences de qualité et de durabilité. In : La truite arc-en-ciel. De la biologie à l'élevage. Synthèses, Jalabert, B.;Fostier, A.(Eds). : 9, 193-212

2008

- O. 7 Rey-Valette, H.; Clément, O.; **Aubin, J.**; Mathé, S.; Chia, E.; Legendre, M.; Caruso, D.; Mikolasek, O.; Blancheton, J.-P.; Slembrouck, J.; Baruthio, A.; René, F.; Levang, P.; Morissens, P.; Lazard, J. 2008. Guide de co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture - EVAD. : 144 p.

- O. 8 Rey-Valette, H.; Clément, O.; **Aubin, J.**; Mathé, S.; Chia, E.; Legendre, M.; Caruso, D.; Mikolasek, O.; Blancheton, J.-P.; Slembrouck, J.; Baruthio, A.; René, F.; Levang, P.; Morissens, P.; Lazard, J. 2008. Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture - EVAD. : 144 p.

Manuels pédagogiques

2011

- M. 1 Le Gouvello, R. ; **Aubin, J.** ; Bourbon, B. ; Goupil, S. ; Michel, G. ; Simard, F. ; Tocqueville, A. 2011. Réflexions et recommandations pour la pisciculture de truites. Guide pour le développement durable de l'aquaculture, Edition UICN : 87p.

2010

- M. 2 Gueneuc, T.; Tocqueville, A.; **Aubin, J.**; Timsit, M.; Michel, G. 2010. Guide méthodologique. Les Indicateurs de durabilité pour l'Aquaculture. : 95 p.

Articles ou conférences de vulgarisation

- Vu. 1 **Aubin, J.** 2009. Projet EVAD : Les chercheurs dévoilent leurs conclusions. *Aquafilia*, 30, 20-23
- Vu. 2 Gatesoupe, F.J.; Quentel, C.; **Aubin, J.** 2005. Les probiotiques se mouillent. *La revue de l'alimentation animale*, 585, 30-32
- Vu. 3 **Aubin, J.** 2005. Application des probiotiques en élevage piscicole. Enseignements de deux ans de programme scientifique. *Aquafilia*, 8, 7-11

Articles, résumés d'oral ou posters de congrès

2014

- Cong. 1 **Aubin, J.**; Rey-Valette, H.; Mathé, S. ; Wilfart, A. ; Legendre, M. ; Slembrouck, J. ; Chia, E. ; Masson, G.; Callier, M.; Blancheton, J.P.; Tocqueville, A.; Caruso, D.; Fontaine, P. 2014. Intensification écologique des systèmes aquacoles: Le point de vue de PISCEnLIT. Journée Mobiliser les services écosystémiques et l'agroécologie pour reconcevoir les rôles des systèmes aquacoles dans leurs territoires. 4èmes JRFP, Paris, 4 juillet 2014. Présentation Orale.
- Cong. 2 **Aubin, J.**, Wilfart, A., Chary, K., Mathé, S., Rey-Valette, H., 2014. Relation between ecosystem-services perception and environmental performance assessed by LCA and emergy accounting: a case study of pond farming in France. SETAC Europe 24th Annual Meeting. Basel, Switzerland , May 11-15 2014. Oral presentation.
- Cong. 3 Aubin, J. ; Fontaine, C. 2014. Environmental impacts of producing bouchot mussels in Mont-Saint-Michel Bay (France) using LCA, with emphasis on potential climate change and eutrophication. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, Oral presentation.
- Cong. 4 Besson, M.; **Aubin, J.** ; van Arendonk J.A.M.; Komen, H.; Poelman, M.; Vandeputte, M.; de Boer, I.J.M. 2014 Environmental consequences of improving growth rate and feed conversion in fish farming under density and nitrogen limitation. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, Oral presentation.
- Cong. 5 Besson, M.; Komen, H.; Vandeputte, M.; **Aubin, J.**; de Boer, I.J.M.; van Arendonk J.A.M.; Economic and Environmental Impacts of Improving Growth Rate and Feed Efficiency in Fish Farming Depend on Nitrogen and Density Limitation. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver, Canada,

August 17-22 2014. Oral presentation.

- Cong. 6 Giroux, J. ; Gaumé, M. ; Tocqueville, A. ; Aubin, J. ; Skiba, S. ; Levadoux, M. 2014. Introduction de nouvelles matières premières dans l'alimentation des poissons : protocole de suivi des impacts en conditions d'élevage. 4èmes Journées de la Recherche Piscicole Française. Paris, 2-4 Juillet 2014. Poster.
- Cong. 7 Nitschelm, L.; Corson, M.; **Aubin, J.**; Viaud, V.; Walter C. 2014. Utility of spatially explicit LCA for agricultural territories 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, Poster
- Cong. 8 Nitschelm, L.; **Aubin, J.**; Corson, M.; Viaud, V., Walter, C. 2014. Regionalization of Life Cycle Assessment using GIS, Environmental assessment of an agricultural territory. SETAC Europe 24th Annual Meeting. Basel, Switzerland , May 11-15 2014. Poster
- Cong. 9 Régolini, P.; Tocqueville, A.; **Aubin, J.**; Le Bris, H. 2014. Usage de la spatialisation pour établir un diagnostic d'insertion environnementale des piscicultures de truites. 4èmes Journées de la Recherche Piscicole Française. Paris, 2-4 Juillet 2014. Poster.
- Cong. 10 Wilfart, A. ; Blancheton J.P. ; **Aubin, J.** 2014. Combiner ACV et Emergy pour évaluer l'intensification écologique des systèmes aquacoles. 4èmes Journées de la Recherche Piscicole Française. Paris, 2-4 Juillet 2014. Présentation Orale.

2013

- Cong. 11 **Aubin, J.** 2013. Des outils pour mesurer la durabilité des processus de production et de transformation des produits céréaliers. Céréales et alimentation durable. 64e Journées Techniques de la Meunerie et des Industries Céréalières, Reims, France, 13-14 Novembre 2013. Présentation orale.
- Cong. 12 **Aubin, J.** 2013. Analyse de cycle de vie (ACV) des aliments piscicoles, en fonction des matières premières. Journées Nutrition des Poissons . Saint Pée-sur-Nivelle, France, 15-16 Avril, 2013. Présentation orale.
- Cong. 13 Joret, L. ; Bugeon, J. ; **Aubin, J.** ; Blancheton, J.P. ; Hassouna, M. ; Hurtaud, C. ; Kaushik S. ; Médale, F. ; Meunier-Salaün M.C. ; Vernet, J. ; Wilfart, A. ; Dourmad, J.Y. ; Le Bail, P.Y. 2013. EOL : a new ontology for livestock system and rearing conditions. Annual meeting of the European Federation of Animal Science, Nantes, France, August 26th -30th 2013. Présentation orale + résumé

2012

- Cong. 14 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Kaushik, S.J. 2012, Conséquences environnementales de la substitution des produits marins dans l'alimentation des poissons évaluées par analyse du cycle de vie. Journées Scientifiques d'Animation du Département Phase, Rennes Fr. 31 janv.-1er Févr. 2012. Présentation orale+ résumé.
- Cong. 15 **Aubin, J.**, Fontaine, P.; Masson, G.; Callier, M.; Rey-Valette, H.; Mathé, S.; Moreau, Y.; Tamassia, S.; Casaca, J.; Tomazelli, O.; Tocqueville, A.; Prihadi, T.; Haryadi, J.; Ediwarman, Wilfart, A.; Lazard, J. 2012. Ecological intensification of fish farming: to develop a method for applied goals definition. Aqua 2012, Prague, Czech Republic, 1-5, September 2012.
- Cong. 16 **Aubin, J.**; Fontaine, P.; Masson, G.; Callier, M.; Rey-Valette, H.; Mathé, S.; Moreau, Y.; Tocqueville, A.; Chia, E.; Blancheton, J.P.; Tamassia, S.; Casaca, J.; Tomazelli, O.; Prihadi, T.; Haryadi, J.; Ediwarman, Wilfart, A.; Lazard, J. 2012. Intensification écologique de la pisciculture : développer une méthode pour la définition

d'objectifs pratiques. 3èmes Journées de la Recherche Piscicole, Paris, 3-4 Juillet 2012.

- Cong. 17 Casaca, J. dM.; Tomazelli Jr.; O.; Tamassia, S.; Chia, E.; Fontaine, P.; Masson, G.; Callier, M.; Rey-Valette, H.; Mathé, S.; Moreau, Y.; Tocqueville, A.; Prihadi, T.; Haryadi, J.; Ediwarman, Wilfart, A.; **Aubin, J.**; Lazard, J. 2012. Intensificação Ecologica da Piscicultura – Projecto Piscenlit. Aquaciencia 2012, 01-05 de julho 2012, Palmas – TO, Brasil.
- Cong. 18 Efole Ewoukem, T.; Hassouna, M.; Robin, P. , Mikolasek, O. , **Aubin, J.**; Ombredane, D. 2012. Estimation test of gaseous emissions from fishponds with contrasted inputs. EMILI, International Symposium on Emission of Gas and Dust from Livestock, June 10-13, 2012, Saint-Malo, France.
- Cong. 19 Fontaine, P.; Masson, G.; Mathé, S.; **Aubin, J.**; Rey-Valette, H.; Tocqueville, A.; Gardeur, J-N. 2012. Typology Of Fish Farms Using Ponds in French Lorraine Region. AQUA 2012, World Aquaculture Society, September 1- 5, 2012, Prague, Czech Republic.
- Cong. 20 Mathé, S.; **Aubin J.**; Wilfart A.; Rey-Valette, H.; Callier, M.; Blancheton J.P. 2012. A participatory approach frame to integrated social aspect in LCA: The case of aquaculture systems. 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Rennes, France, October 2-4, 2012.
- Cong. 21 Mathé, S.; Rey-Valette, H.; Belhamiti, N.; Fontaine, P.; Moreau, Y.; Callier, M.; Casaca, J.; Tamassia, S.; Tocqueville, A.; **Aubin, J.** 2012. Social Representations to Identify Freshwater Aquaculture Ecosystem Services : A Comparison France-Brazil. AQUA 2012, World Aquaculture Society, September, 1- 5, 2012, Prague, Czech Republic.
- Cong. 22 Wilfart, A.; Prudhomme, J.; Blancheton, J.P.; **Aubin, J.** 2012. A multi-scale method for assessing ecological intensification in aquaculture systems.8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Saint Malo, France, October, 2-4, 2012.
- Cong. 23 Wilfart, A.; Merle, T.; Mathé, S.; **Aubin, J.** 2012. PISC'n'TOOL: an operational tool for assessing sustainability in aquaculture systems. 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Saint Malo, France, October, 2-4, 2012.

2011

- Cong. 24 **Aubin, J.**; Donnars, C.; Supkova, M.; Leperchec, S. ; Dorin, B. 2011. Examen critique des méthodes d'évaluation pour une alimentation durable. Colloque Dualine, 29 Mars 2011. Paris, Fr. Présentation orale.
- Cong. 25 **Aubin, J.** 2011. Acceptability of fish farming: environmental criteria. Aquaculture Europe 2011, Rhodes, Gr. 17-21 Octobre 2011. Key note presentation.
- Cong. 26 **Aubin, J.**; Tocqueville, A.; Michel, G. 2011. Programmes IDAqua et PROPPE : Mesurer et limiter les impacts des piscicultures de truites. Les rencontres de l'aquaculture. Le Touquet, Fr. 12-14 mai 2011, orale
- Cong. 27 Van der Werf, H.M.G. ; **Aubin, J.** 2011. L'Analyse du Cycle de Vie appliqué à l'aquaculture. Congrès A.C.V., L'analyse du cycle de vie au service de la pensée startégique. Lille, Fr. 3-4 Novembre 2011 . Orale
- Cong. 28 **Aubin, J.** ; Van der Werf, H.M.G. ; Corson, M. 2011. Principes des Analyses du Cycle de Vie et applications en élevage. Journées Francophones de Nutrition. Reims, Fr. 7-9 décembre 2011. Orale

- Cong. 29 **Aubin, J.** ; Lazard, J. ; Rey-Valette, H. ; Chia, E. ; Clément, O. 2011. Comment construire un outil dans un cadre participatif ? retour d'expérience sur le programme EVAD. Séminaire indicateurs du programme AVIBIO. Angers, Fr. 9 décembre 2011. Orale
- Cong. 30 **Aubin, J.** ; Giri, S.S. ; Boissy, J. ; Mohanty, S.N. ; Kaushik, S.J. 2011. Environmental assessment using LCA, of fish meal substitution in artificial diets of indian major carp polyculture. Asian Pacific Aquaculture 2011. Kochin Ind., January 17-20, 2011. Orale
- Cong. 31 Casaca, J. dM.; Tomazelli Jr.; O.; Lazard, J.; Rey-Valette, H.; Mathé, S.; Chia, E.; Blancheton, J.P.; Legendre, M.; Moreau, Y.; Caruso, D.; Masson, G.; Tocqueville, A.; Wilfart, A.; **Aubin, J.**; Simon, J.; Fontaine, P. 2012. Intensificação Ecologica da Piscicultura – Projecto Piscenlit. Exposição Feira Agropecuária e Industrial, Pavilhão da Piscicultura. 07-16 Outubro 2011. Chapeco, Santa Catarina, Brasil. Poster.
- Cong. 32 Fontaine, P.; Gardeur, J-N.; **Aubin, J.** 2011. Intensification écologique et polyculture d'étang. Séminaire sur les rôles et fonctions des étangs lorrains : pisciculture et biodiversité, 19 avril, Metz, France.

2010

- Cong. 33 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Drissi, A.; Van der Werf, H.M.G.; Frindt, F.; Kaushik, S. 2010. Environmental impacts of replacement of fish protein by plant-based sources in trout diets, at feed and farm scales. *2, VII international conference on Life cycle assessment in the agri-food sector. Bari, IT. 22-24 septembre 2010*, : 402-407 oral
- Cong. 34 **Aubin, J.** 2010. Impacts environnementaux de la pisciculture. Session de Formation AFTAA, L'aquaculture en France et dans le Monde. Massy Palaiseau, 10 décembre 2010. Oral
- Cong. 35 **Aubin, J.**; Donnars, C.; Supkova, M.; Leperchec, S. 2010. Analysis of methodologies and impact assessment methods : First research questions. Assemblée Générale Dualine, 22 Juin 2010. Paris, Fr. Présentation orale.
- Cong. 36 **Aubin, J.**; Donnars, C.; Supkova, M.; Leperchec, S. 2010. Examen critique des methodologies / methods d'analyse d'impacts (données, verrous, premiers besoins de recherché). Séminaire Dualine, 14 décembre 2010. Paris, Fr. Présentation orale.
- Cong. 37 **Aubin, J.** 2010. Use of Life Cycle Assessment (LCA) to identify key environmental issues in fish farming. INRA-WUR Platform for Aquaculture seminar, Wageningen, NL. November 3-5 2010. Oral presentation.
- Cong. 38 **Aubin, J.** 2010. Les rejets et impacts potentiels d'une pisciculture. Formation des inspecteurs des directions des services vétérinaires, Pisciculture environnement ITAVI-CIPA. Mâcon, 28 Avril 2010. Oral.
- Cong. 39 Blancheton, J.P.; Schneider, O.; Saether, B.S.; Michaud, L.; **Aubin, J.**; Roque d'Orbcastel, E. 2010. Recirculation systems in Europe: state of the art and prospects. *Meeting World Aquaculture Society, WAS 2010. San Diego, USA. 5-10 Mars 2010*, orale
- Cong. 40 Corson, M.S.; **Aubin, J.**; Van der Werf, H.M.G. 2010. Comparing environmental impacts of livestock production systems of varying intensity. *European Association for Animal Production. Heraklion, GR. 23-27 août 2010*, invité oral
- Cong. 41 Efole Ewoukem, T.; **Aubin, J.** Tomedi Eyango, M.; Mikolasek, O.; Corson, M.S.; Tchoumboue, J.; Van der Werf, H.M.G.; Ombredane, D. 2010. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *1, VII international conference on Life cycle assessment in the agri-food sector. Bari, IT. 22-24 septembre 2010*, : 375-380 oral

- Cong. 42 Mungkung, R.; Gheewala, S.H.; Kanyarushoki, C.; Hospido, A.; Van der Werf, H.M.G.; Poovarodom, N.; Bonnet, S.; **Aubin, J.**; Moreira, M.T.; Feijoo, G. 2010. Practical issues of product carbon footprinting : experiences from Thailand. *1, VII international conference on Life cycle assessment in the agri-food sector. Bari, IT. 22-24 septembre 2010*, : 103-107 oral
- Cong. 43 Rey-Valette, H.; Clément, O.; **Aubin, J.**; Mathé, S.; Chia, E.; Legendre, M.; Caruso, D.; Mikolasek, O.; Blancheton, J.P.; Slembrouck, J.; Baruthio, A.; René, F.; Levang, P.; Morissens, P.; Lazard, J. 2010. An approach to co-construct sustainable development indicators in aquaculture. *In : IIFET 2010 PROCEEDINGS. IIFET 2010. Montpellier, FR. 13-16 Juillet 2010*, : 12 p. oral
- Cong. 44 Simon, J.; Lazard, J.; Rey-Valette, H.; Fontaine, P.; Mathe, S.; Chia, E.; Blancheton, J.P.; Legendre, M.; Moreau, Y.; Caruso, D.; Masson, G.; Toqueville, A.; Wilfart, A.; **Aubin, J.** 2010. Ecological intensification of fish farming: PISCEnLIT. *4th EPCN Conference1. Berlin, DE. 04 juin 2010*, poster
- Cong. 45 Wilfart, A.; Duchène, D.; Barbier, J.; Van der Werf, H.M.G.; Corson, M.S.; **Aubin, J.** 2010. Using LCA in a forecasting method for reducing environmental impact of dairy farms. *2, VII international conference on Life cycle assessment in the agri-food sector. Bari, IT. 22-24 septembre 2010*, : 221-226 oral
- Cong. 46 **Aubin, J.** ; Corson, M. ; Robin, P. ; Azam, D. 2010. Intensification des systèmes d'aquaculture en étang afin de recycler les rejets d'animaux terrestres. Journées d'animation Crédits Incitatifs département Phase, Tours, 11-12 Octobre 2010. Présentation orale et poster.

2009

- Cong. 47 **Aubin, J.** 2009. Evaluation de la durabilité environnementale de l'aquaculture. Conférence Syndicat National du Commerce Extérieur des produits congelés et surgelés. Paris Fr., 4 Février 2009. Oral.
- Cong. 48 **Aubin, J.**; Tocqueville, A. 2009. Validation du modèle nutritionnel pour l'évaluation des rejets en pisciculture de truite : apports d'IDAQUA-Environnement. *2ème Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 1-9 juillet 2009*, poster
- Cong. 49 **Aubin, J.** 2009. Systèmes de production et objectifs de durabilité pour la domestication Quelles espèces élever ? *Second séminaire sur la « Domestication en aquaculture » Montpellier, FR. 24-25 Novembre 2009*, orale
- Cong. 50 **Aubin, J.**; Corson, M.S.; Van der Werf, H.M.G. 2009. Notion de cycle de vie et bilan carbone. *1st European Meat and Meat Products Innovation Conference. Clermont-Ferrand, FR. 17-18 Novembre 2009*, orale
- Cong. 51 **Aubin, J.**; Lazard, L.; Rey-Valette, H.; Chia, E.; Clément, O. 2009. Evaluation de la durabilité de l'aquaculture: Méthode et application à l'élevage de truite en Bretagne. *3ème Journées d'Animation Scientifique du Département PHASE INRA. Tours, FR. 7-9 Octobre 2009*, orale
- Cong. 52 **Aubin, J.**; Van der Werf, H.M.G. 2009. Concevoir et évaluer des systèmes innovants : méthodes et outils. L'Analyse du Cycle de Vie. *Colloque INRA Vers une agriculture à haute performance environnementale, Salon International de l'Agriculture. Paris, FR. 24 Février 2009*, orale
- Cong. 53 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Drissi, A. 2009. Environmental impact assessment : ingredients, feeds and farm. *Fourth Aquamax general meeting. Budapest, HU. 27-28 Octobre 2009*, orale

- Cong. 54 **Aubin, J.** 2009. Analyse du Cycle de Vie : quelle application pour un atelier cunicole. *INRA Commision spécialisée Cunicole. Paris, FR. 21 Janvier 2009, orale*
- Cong. 55 **Aubin, J.** 2009. Analyse environnementale des élevages bar daurade en Méditerranée. *Journées du SFAMN 2009. Montpellier, FR. 19 Mars 2009, orale*
- Cong. 56 **Aubin, J.** 2009. L'aquaculture pollue t-elle ? *2ème Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 1-2 Juillet 2009, orale*
- Cong. 57 **Aubin, J.; Baruthio, A.; Mungkung, T.; Lazard, J.** 2009. Analyse environnementale de la polyculture côtière aux Philippines par analyse du cycle de vie. *2ème Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 1-2 Juillet 2009, orale*
- Cong. 58 **Aubin, J.** 2009. Use of Life Cycle Assessment (LCA) to identify key environmental issues in fish farming. *Indo-French Seminar on recent advance in aquaculture. Bhubaneswar, IN. 30-31 Aout 2009, orale*
- Cong. 59 **Baruthio, A.; Aubin, J.; Mungkung, R.; Lazard, J.; Van der Werf, H.M.G.** 2009. Environmental assessment of Filipino fish/prawn polyculture using Life Cycle Assessment. *6th Int. Conf. on LCA in the Agri-Food Sector. Zurich, CH. 12-14 novembre 2008, : 242-247*
- Cong. 60 **Efole Ewoukem, T.; Aubin, J.; Mikolasek, O.; Tomedi Eyango, M.; Ombredane, D.; Van der Werf, H.M.G.** 2009. Relevance and limits of LCA application on fish ponds systems in West Cameroon. *6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector. Zurich, CH. 12-14 novembre 2008, poster*
- Cong. 61 **Haury, J.; Aubin, J.; Tocqueville, A.; Marle, M.; Agasse-Yvert, F.; Druart, J.C.; Coudreuse, J.; Maybank, M.; Gueneuc, T.** 2009. Evaluation des impacts environnementaux des piscicultures de truite en France par les indicateurs biologiques : résultats d'IDAQUA-Environnement. *2ème Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 1-2 juillet, poster*
- Cong. 62 **Rey-Valette, H. ; Clément, O. ; Aubin, J. ; Lazard, J.** 2009. Méthodologie pour la co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture. [Communication orale (résumé)]. 2. Journées de la recherche filière piscicole ; 2009/07/01-02 ; Paris (FRA).
- Cong. 63 **Wilfart, A.; Prudencio da Silva, V.; Boissy, J.; Trochet, T.; Nguyen, T.T.H.; Corson, M.; Kanyarushoki, C.; Aubin, J.; Van der Werf, H.M.G.** 2009. Une base de données ACV pour l'évaluation environnemetale des produits de l'agriculture. *3ème Journées d'Animation Scientifique du Département PHASE. Tours, FR. 7-8 octobre 2009, orale*

2008

- Cong. 64 **Aubin, J.** 2008. Sustainable aquafeed ingredients. *Third Aquamax General Meeting. Florence, IT. 11-12 Septembre 2008, orale*
- Cong. 65 **Aubin, J.** 2008. Environmental impact assessment of aquaculture production systems using Life Cycle Assessment. *II Seminário sobre aqüicultura sustentável. Jaboticabal, BR. 28-29 Aout 2008, orale*
- Cong. 66 **Aubin, J.** 2008. Evaluation de la durabilité de la pisciculture de truite en Bretagne ; EVAD / IDAqua. *Colloque « Une profession responsable : la maîtrise de l'impact de l'effluent en salmoniculture » Fouesnant, FR. 9-10 Octobre 2008, orale*
- Cong. 67 **Aubin, J.; Tocqueville, A.** 2008. Effluents piscicoles et impacts en rivière : Résultats obtenus lors du programme IDAqua-environnement. *Colloque « Une profession responsable : la maîtrise de l'impact de l'effluent en salmoniculture » Fouesnant, FR. 9-10 Octobre 2008, orale*

- Cong. 68 **Aubin, J.** 2008. Les effluents de pisciculture Problématique comparée à l'agriculture. *Colloque « Une profession responsable : la maîtrise de l'impact de l'effluent en salmoniculture » Fouesnant, FR. 9-10 Octobre 2008, orale*
- Cong. 69 **Aubin, J.** 2008. Use of Life Cycle Assessment (LCA) to identify environmental key questions in EVAD project. *Séminaire final du programme ADD EVAD. Montpellier, FR. 24-25 Novembre 2008, orale*
- Cong. 70 **Aubin, J.** 2008. Farming in Brittany (Fr): Application of EVAD method. *Séminaire final du programme ADD EVAD. Montpellier, FR. 24-25 Novembre 2008, orale*
- Cong. 71 **Aubin, J.** 2008. Multi-criteria approach: Life Cycle Assessment applied to livestock systems. Thematic field 5: Conception of animal production systems and evaluation of their sustainability. *Evaluation du département Phase INRA. Tours, FR. 6-8 Octobre 2008, orale*
- Cong. 72 Efole Ewoukem, T.; **Aubin, J.**; Mikolasek, O.; Tomedi Eyango, M.; Lazard, J.; Ombredane, D.; Van der Werf, H.M.G. 2008. Environmental impacts of a farm integrating aquaculture and agriculture in western Cameroon. *6th International Conference on LCA in the Agri-Food sector. Zurich, CH. 12-14 novembre 2008, poster*

2007

- Cong. 73 **Aubin, J.**; Tocqueville, A.; Haury, J.; Snoussi, N.; Souhila, A.; Marle, M. 2007. Evaluation environnementale des piscicultures de truite en France par approches combinées : Idaqua environnement. *1^{ères} Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 3-4 juillet 2007, poster*
- Cong. 74 **Aubin, J.** 2007. Evaluation des rejets de pisciculture par l'utilisation des bilans de masse. Principes et applications en pisciculture de truite et de turbot. *Premières Journées recherche filière piscicole. Paris, FR. 3-4 juillet 2007, orale*
- Cong. 75 **Aubin, J.**; van der Werf, H.M.G. 2007. Analyse environnementale des systèmes de production agricoles. *Intervention semaine de de la science. Rennes, FR. 10 Octobre 2007, orale*
- Cong. 76 Corson, M.; **Aubin, J.**; van der Werf, H.M.G. 2007. Utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie pour la comparaison de systèmes de production de poissons. *Journées du SFAMN 2007. Montpellier, FR. 15 Mars 2007, orale*
- Cong. 77 Haffray, P.; **Aubin, J.**; Houis, V.; Labbe, L.; Jalabert, B. 2007. Comparison of pressure or thermal treatments on triploid yields and malformations up to swim up stage in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) 9. *International symposium "Genetics in aquaculture" Montpellier, FR. 26-30 juin 2006, Aquaculture. 272 (suppl.1) : S265 <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.079> poster*
- Cong. 78 Lazard, J.; Rey-Valette, H.; **Aubin, J.**; Clément, O.; Chia, E.; Mikolasek, O.; Legendre, M.; Blancheton, J.P.; Morissens, P. 2007. Evaluation de la durabilité des systèmes de production aquacoles. *2^{èmes} Journées d'Animation Scientifique du Département PHASE. Tours, FR. 22, 23 et 24 octobre 2007, : n.p. poster*
- Cong. 79 Lazard, J.; Rey-Valette, H.; Clément, O.; Chia, E.; **Aubin, J.**; Blancheton, J.P.; Mikolasek, O.; Legendre, M.; Morissens, P.; Mathé, S.; Baruthio, A. 2007. Le projet EVAD : une démarche générique de co-construction d'indicateurs de durabilité de l'aquaculture. *1^{ères} Journées Recherche Filière Piscicole. Paris, FR. 3 et 4 juillet 2007, : p.22 poster*

2006

- Cong. 80 Haffray, P., **Aubin, J.**, Houis, V., Labbé, L., Jalabert, B. 2006. Comparison of

pressure or thermal treatments on triploid yields and malformations up to swim up stage in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), International Symposium for Genetics in Aquaculture IX, Montpellier, June 25-30 2006, France. (Communication affichée)

Cong. 81 Lefèvre, F. ; **Aubin, J.** ; Louis, W. ; Labbé, L. ; Bugeon, J. Impact du niveau d'oxygénation de l'eau sur la croissance, la morphologie et la qualité des carcasses chez la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*. [Communication orale (résumé)]. RIF 2006 ; 2006/03/28-31 ; Paris (FRA). Gayet, M. (Coordinateur) ; Le Bail, P.Y. (Coordinateur) ; Jégu, M. (Coordinateur). Troisièmes rencontres de l'ichtyologie en France. Marseille (FRA) : Institut Océanographique Paul Ricard ; Mémoires de l'Institut Océanographique Paul Ricard. 2006, : 102.

2005

Cong. 82 **Aubin, J.**; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Petit, J. 2005. Utilisation de l'analyse du cycle de vie pour caractériser l'impact environnemental d'une ferme de production de turbot (*Psetta maxima*) *1ères Journées d'Animation Scientifique du Département PHASE. Tours, FR. 15-16 mars 2005, : p.225* Poster

Cong. 83 **Aubin, J.** ; Gatesoupe, F. ; Quentel, C. ; Labbé, L. ; Forraz, M. 2005. Ofimer probiotic study on rainbow trout. III. Flesh quality assessment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) submitted to probiotic treatment with *Saccharomyces Cerevisiae* Var. *Boulardii*. [Courte communication]. *Aquaculture Europe 2005 ; 2005/08/05-09 ; Trondheim (NOR)*. Howell, B. (Compilateur) ; Flos, R. (Compilateur). *Lessons from the past to optimise the future. (BEL) : European Aquaculture Society ; Special Publication - European Aquaculture Society. 2005, 35 : 115-116.*

Cong. 84 **Aubin, J.** ; Papatryphon, E. ; Van Der Werf, H. ; Petit, J. ; Chatzifotis, S. Assessment of environmental impact of finfish production systems using Life Cycle Assessment. 2005. [Courte communication]. *International Conference Aquaculture Europe 2005 : Lessons from the past to optimising the Future ; 2005/08/05-09 ; Trondheim (NOR)*. *Lessons from the Past to Optimise the Future. Oostende (BEL) : European Aquaculture Society ; Special Publication European Aquaculture Society. 2005, (35) : 113-114.*

Cong. 85 Bugeon, J. ; Lefevre, F. ; **Aubin, J.** ; Quillet, E. ; Fauconneau, B. 2005 Caractérisation de lignées divergentes de truite arc-en-ciel sur la teneur en lipides intramusculaires : morphologie, structure du muscle et texture de la chair au stade portion. [Poster]. *Premières journées d'animation scientifique du Département PHASE ; 2005/03/15-16 ; Tours (INC). 2005. Inconnu.*

Cong. 86 Le Bris, H.; Barnaud, A.; **Aubin, J.**; Guichard, B.; Beljean, A. 2005. Environmental impact of Emamectine Benzoate (SLICER) in a marine brown trout (*Salmo trutta*) farm in Brittany. *SETAC 15th Annual Meeting. LILLE, FR. 220-26 mai 2005, Poster*

Cong. 87 Quentel, C.; Gatesoupe, F.J.; **Aubin, J.**; Lamour, F.; Abiven, A.; Baud, M.; Labbé, L.; Forraz, M. 2005. Resistance against *Yersinia ruckeri* and humoral immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) submitted to probiotic treatment with *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Aquaculture Europe 2005 : Lessons from the past to optimising the Future. Trondheim, NO. 5-9 Août 2005, Poster*

Cong. 88 Van der Werf, H.M.G.; Basset-Mens, C.; **Aubin, J.**; Leterme, P.; Papatryphon, E.; Payraudeau, S.; Petit, J. 2005. Life Cycle Analysis, a tool for the development of sustainable farming systems. *International workshop on Green Pork Production "Porcherie Verte" a research initiative on environment-friendly pig production. Paris, FR. 25-27 mai 2005, : 161-162* oral

Cong. 89 Van der Werf, H.M.G.; Basset-Mens, C.; **Aubin, J.** 2005. Méthodes pour l'analyse environnementale des systèmes de production agricoles. *1ère Journées d'Animation Scientifique du Département PHASE. Tours, FR. 15-16 mars 2005, : p.217*

Avant 2005

- Cong. 90 **Aubin, J.**; Jalabert, B. ; Aegerter, S.; Labbé, L.; Haffray P. 2003. Effect of triploidy treatments and oocyte ageing on triploid succes and spontaneous triploidisation in rainbwo trout *Oncorhynchus mykiss*, World Aquaculture Society, May 9-23, 2003, Salvador, Brazil (Communication orale et résumé)
- Cong. 91 **Aubin, J.** ; Lefevre, F. ; Haffray, P. ; Fauconneau, B. ; Jalabert, B. 2002. Impact des techniques de triploïdisation sur les facteurs de qualité chez la truite arc-en-ciel, 2 ème Journée de la Pisciculture, Bordeaux, 19 Septembre 2002, France
- Cong. 92 **Aubin, J.** ; Lefevre, F. ; Haffray, P. ; Kacem, A. 2002. Impact des techniques de triploïdisation sur les facteurs de qualité chez la truite arc-en-ciel, Journée Technique du SYSAAF, Paris, 26 Septembre 2002, France
- Cong. 93 **Aubin, J.** ; Lefevre, F. ; Haffray, P. ; Kacem, A. ; Fauconneau, B. ; Jalabert, B. 2002. Impact des facteurs technologiques précoces sur la qualité des juvéniles et les rendements de carcasse chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), Journée Groupe Innovation de l'OFIMER, Paris, 29 Décmbre 2002, France
- Cong. 94 Bonnet, S.; Haffray, P.; Chevassus, B.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B. 2000. Conformation and carcass quality traits in seawater adult brown trout : correlated responses to selection for freshwater body length growth and triploïdy X selection interactions. Proceedings Genetics in Aquaculture VII, 15-22 July 2000, Townsville, Australia.
- Cong. 95 Le Guillou, S.; Quillet, E.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B. 2003. Réponse à deux génération de sélection divergente pour la teneur en lipides musculaires chez la truite arc-en-ciel. Groupe Qualité des Poissons d'Élevage du Département HYFS, Journée d'information aux professionnels, Bordeaux, 11 Septembre 2003 (Communication orale et résumé)
- Cong. 96 Médale, F.; Le Guillou, S.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B.; Quillet, E. 2003. Réponse à deux régimes alimentaires des lignées sélectionnées pour la teneur en lipides musculaires. Groupe Qualité des Poissons d'Élevage du Département HYFS, Journée d'information aux professionnels, Bordeaux, 11 Septembre 2003 (Communication orale et résumé)
- Cong. 97 Mercier, C.; Lefrançois, C.; Claireaux, G.; **Aubin, J.** 1999. Cardiac disorders in adult brown trout (*Salmon trutta*) raised in sea water in Brittany (France). Third conference on fish telemetry in Europe, 20-25 June 1999, Norwich, U.K.
- Cong. 98 Quillet, E.; **Aubin, J.** ; Le Guillou, S. ; Médale, F. ; Fauconneau, B. 2002. Response to mass selection for two traits in related to fattening in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), 7ème Congrès Mondial de Génétique Appliquée aux Animaux d'Élevage, Montpellier, 19-23 Aout 2002, France
- Cong. 99 Quillet, E.; Médale, F.; Le Guillou, S.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B. 2003. Sélection expérimentale divergente pour la teneur en lipides musculaires estimée au Fat-meter chez la truite : réponse après 2 générations. 13ème Journée technique du SYSAAF, Paris, 30 octobre 2003. (communication orale)
- Cong. 100 **Aubin, J.** ; Papatryphon, E. ; Petit, J. ; Van der Werf, H.M.G. 2004 Utilisation de l'Analyse du Cycle de Vie pour l'évaluation environnementale des systèmes de production piscicoles. Session Développement Durable de l'Aquaculture, Bordeaux Aquaculture 2004, 22 Septembre 2004, Bordeaux, 4p
- Cong. 101 Barnaud, A. ; Le Bris, H.; **Aubin, J.**; Guichard, B. ; Beljean, A. 2003. Efficacy of emamectine benzoate against sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in a sea trout (*Salmo*

trutta) culture in Brittany, EAFP 11th International Conference, Malta, 21th-

- Cong. 102 Bugeon, J.; **Aubin, J.**; Paboeuf, G.; Lefevre, F. 2004. Impact du niveau d'oxygène pendant la croissance sur la structure du muscle et la texture de la chair de truite (*Oncorhynchus mykiss*), 10èmes Journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes », Rennes, 25-26 Octobre 2004
- Cong. 103 Kacem, A.; Bernez, J.; **Aubin, J.**; Meunier, F. ; Haffray, J. 2003. Les différentes anomalies du complexe urophore chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) après différents traitements de triploïdisation. 2ième Rencontre des Ichtyologistes en France (Paris, France Communication affichée).
- Cong. 104 Kacem, A. ; Meunier, F. ; **Aubin, J.** ; Haffray, J. 2003. Caractérisation histomorphologique des malformations du squelette vertébral chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) après différents traitements de triploïdisation. 2ième Rencontre des Ichtyologistes en France (Paris, France Communication affichée)
- Cong. 105 Lefèvre, F.; Paboeuf, G.; Gayet, V.; André, S.; Yven, C.; Labbé, L.; **Aubin, J.**; Fauconneau, B. 2003 The effects of incubation temperature on survival, morphology and muscle development in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Poster à l'Annual meetings of the World Aquaculture Society, May 9-23, 2003, Salvador, Brazil
- Cong. 106 Quentel, C.; Gatesoupe, F.-J.; Lamour, F.; Abiven, A.; Baud, M.; **Aubin, J.** 2004. Effects of oral administration of probiotics on the resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, against *Yersinia ruckeri*, asymptomatic carriers and humoral immune parameters, Poster The Sixth International Symposium on Fish Immunology, May 25 – 29, 2004 Turku, Finland
- Cong. 107 **Aubin, J.** ; Jalabert, B. ; Aegerter, S. ; Labbé, L. ; Haffray, P. 2003. Effect of triploidy treatments and oocyte ageing on triploidy succes and spontaneous triploïdisation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [Communication orale (résumé)]. World Aquaculture 2003 ; 2003/05/19-23 ; Salvador (BRA). Realizing the potential: responsible aquaculture for a secure future. 2003, n.p.
- Cong. 108 Auperin, B. ; Gouardon, L. ; Quéméneur, A. ; Thomas, J.L. ; **Aubin, J.** ; Valotaire, C. ; Rouger, Y. ; Maisse, G. 1997. Effet d'un nouvel anesthésique sur différents paramètres physiologiques de la truite arc-en-ciel suite à un stress lié au transport. 1. Colloque de l'IFR 43 ; 1997/09/23-25 ; Rennes (FRA). INRA, Institut National de la Recherche Agronomique (FRA). CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique (FRA) ; Université de Rennes (FRA). Facteurs de l'environnement et biologie des poissons. (FRA) : Université de Rennes ; 1997, 1 p.
- Cong. 109 Rouger, Y. ; **Aubin, J.** ; Breton, B. ; Fauconneau, B. ; Fostier, A. ; Le Bail, P.Y. ; Loir, M. ; Prunet, P. ; Maisse, G. 1997. Stress induit par le transport chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). 1. Colloque de l'IFR 43 ; 1997/09/23-25 ; Rennes (FRA). INRA, Institut National de la Recherche Agronomique (FRA). CNRS, Centre National de la Recherche Scientifique (FRA) ; Université de Rennes (FRA). Facteurs de l'environnement et biologie des poissons. (FRA) : Université de Rennes ; 1997, 1 p.

Rapports divers

2014

- R. 1 **Aubin, J.**, 2014. PISCEnLIT, Pisciculture écologiquement intensive : une approche par écosystèmes. Compte rendu de fin de projet ANR-09-STRA-08. 18p.

2011

- R. 2 Acosta-Alba, I., **Aubin, J.** 2011. Analyse environnementale de la production et

consommation de la daurade (*Sparus aurata*). FILD'OR : Bases génétiques et écologiques pour l'amélioration de la qualité de la daurade royale d'élevage *Sparus aurata*. Rapport projet Ofimer. 23p.

2010

- R. 3 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Drissi, A. 2010. Life cycle assessment of fish feed ingredients. Aquamax project report WP1.1. Aquamax EU FP6, March 2010. *Report n°1*, : 70 p.
- R. 4 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Drissi, A. 2010. Life cycle assessment of fish feed. Aquamax project report WP1.3. Aquamax EU FP6, June 2010. *Report n°2*, : 70 p.
- R. 5 **Aubin, J.**; Boissy, J.; Drissi, A. 2010. Life cycle assessment of fish productions. Aquamax project report WP1.4. Aquamax EU FP6, June 2010. *Report n°3*, : 52 p.
- R. 6 **Aubin, J.** ; Choquet, J.M. ; Coudurier, B. ; Juven, P. 2010. Rapport d'évaluation des activités 2005 – 2009 du Service Environnement-Bâtiment-Energie de l'ITAVI, ITAVI, 4p.

2005

- R. 7 **Aubin, J.**; Gatesoupe, F.J.; Quentel, C.; Forraz, M.; Facqueur, J.M.; Rochet, B.; Usache, V. 2005. Etude de l'amélioration de la rentabilité et de la sécurité sanitaire des filières truite Arc-en-ciel et bar par l'utilisation de probiotiques par voie alimentaire - rapport final. : 67 p.

Avant 2005

- R. 8 **Aubin, J.** ; Papatryphon, E. 2004. Evaluation de l'impact environnemental de la ferme d'élevage de turbot en eau recirculée de la Société Marinove, Rapport interne, 14p
- R. 9 **Aubin, J.**, Gatesoupe, F.J. ; Labbé, L. ; Lebrun, L. ; Lavalard, J. 2002. Effet de l'utilisation de probiotiques par voie alimentaire sur le syndrome de compression de vertèbres chez la truite arc-en-ciel, Rapport de contrat confidentiel , 5p
- R. 10 Barnaud, A.; Le Bris, H. ; **Aubin, J.** 2002. Le benzoate d'émamectine (SLICE) en élevage marin de truite fario (*Salmo trutta*) en Bretagne : efficacité contre le pou du saumon (*Lepeophtheirus salmonis*) et impact environnemental, Rapport de prestation de service, 68p.
- R. 11 Choubert, G.; **Aubin, J.**; Labbe, L.; Gabaudan, J. 1998. Role of carotenoid pigments on the quality of gametes and the early growth of rainbow trout fry (*Oncorhynchus mykiss*). Final Rapport (confidential) contrat Scté Roche, INRA C30072, IFREMER 96/2.210 068.FC, 55 p.
- R. 12 Labbé, L. ; **Aubin, J.** 2003. Final report, Biomar RDO3 ECOY, (Confidentiel) contrat Biomar SA INRA C , 8p + annexes
- R. 13 **Aubin, J.** ; Jalabert, B. ; Lefevre, F. ; Haffray, P. ; Kacem, A. 2002. Impact des facteurs technologiques précoces sur la qualité des juvéniles et les rendements à la transformation chez la truite arc-en-ciel, Rapport final de la convention OFIMER N° A 1440, 51p.

- ANNEXE 2 : Facteurs d'impact des revues dans lesquelles l'auteur a publié

	2015 (2013)	2014 (2013)	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2002	2000	1998
Aquaculture	1,828 (2)	1,828			2,041			1,678 (2)	1,735	2,081	1,374		1,367	1,343	
Journal of Cleaner Production		3,59	3,590 (3)	3,398			1,867								
INRA Productions Animales			0,56	0,56	0,56										
Aquacultural Engineering				1,406			0,901								
Aquatic Living Resources					1,152	1,062									
Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture															0,162 (2)
Cahiers Agricultures							0,173 (2)								
Cybium									0,541			0,312			
Aquaculture Research											0,746				
CAB International			ss FI												
CR Académie d'Agriculture de France											ss FI				
Ecological Indicators				2,89											
Environmental Development				ss FI											
Innovations Agronomiques			ss FI												
Journal of Animal Science	1,92														
Journal of Environmental Management			1,648												
Journal of Fish Disease														0,898	
Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement	ss FI														
Revue Française de Gestion	ss FI														
The Journal of Experimental Biology											2,712				

Entre parenthèses : nombre d'articles concernés quand supérieur à 1

• ANNEXE 3 : Glossaire

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

AIRD : Agence inter-établissements de recherche pour le développement

AMAFRAD : Agency for Marine and Fisheries Research and Development, Indonésie

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Aquamax : Sustainable aquafeeds to maximise the health benefits of farmed fish for consumers, EU project

ARN : Agence Nationale de la Recherche

ASAE : Analyse Agro-Environnementale des systèmes cultures –élevages, équipe UMR SAS

CASDAR : Compte d'affectation spéciale « développement agricole et rural »

CEPIA : Caractérisation et Elaboration des Produits issus de l'Agriculture, département INRA

CIPA : Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CML : Institute of Environmental Sciences, Leiden University (NL)

CREMA : Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins et Aquacoles de l'Houmeau

DEPE : Délégation à l'Expertise, à la Prospective et aux Etudes , INRA

DuALine : Durabilité de l'Alimentation face aux Nouveaux Enjeux

DGA : Directorate General of Aquaculture, Indonésie

ECG : Electrocardiogramme

ENSAT : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse

Epagri : Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Brésil

EVAD : EVALuation de la Durabilité des systèmes aquacoles, projet ANR

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GH : Hormone de croissance

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC)

GIS : Groupement d'intérêt Scientifique

GIS GC HP2E : GIS Grandes Cultures à Hautes Performances Economiques et Environnementales

IDAqua : Indicateurs de durabilité pour l'Aquaculture

Ifremer : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

IMTA : Integrated Multi-Trophic Aquaculture

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
ISA Beauvais : Institut Supérieur Agricole de Beauvais
ISO : Organisation internationale de normalisation
ITAVI : Institut Technique de l'Aviculture et de l'élevage des petits animaux
JRC : Joint Research Center European Commission
LAMETA : Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée
LPGP : Laboratoire de Physiologie et de Génomique des Poissons
MEA : Millenium Ecosystem Assessment
MEANS : MulticritEria AssessmeNt of Sustainability, plateforme d'analyse multicritères
MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle
OFIMER : Office national interprofessionnel des produits de la mer et de l'aquaculture
ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
OSUR : Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes
Propre : Pisciculture responsable et durable dans un environnement préservé, projet CASDAR
PISCEnLIT : Pisciculture écologiquement intensive : une approche par écosystème, Projet ANR
SEMII : Station Expérimentale Mixte Ifremer Inra
SIG : Système d'information géographique
STLO : Sciences et Technologies du Lait et de l'œuf, UMR INRA – Agrocampus Ouest
SYSAAF : Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français
UICN : Union internationale pour la conservation de la nature
UMR NUAGE : Unité Mixte de Recherche INRA IFREMER Nutrition Aquaculture et Génomique
UMR SAS : Unité Mixte de Recherche INRA Agrocampus Ouest Sol Agro et hydrosystème Spatialisation
UMR Tandem : Unité Mixte de Recherche INRA/INPT-ENSAT/ ENVY Tissus Animaux, Nutrition, Digestion, Ecosystèmes et Métabolisme
UPPN : Utilisation de Production Primaire Nette
UR NUMEA : Unité de Recherche Nutrition, Métabolisme, Aquaculture
VSN : Volontaire du Service National
WWF : World Wildlife Fund

• ANNEXE 4 : Liste des Figures

	Page
Figure 1 : Evolution des productions aquacoles de 1980 à 2010 selon les différents types de production. Extrait de FAO (2012).	22
Figure 2 : Différences de morphologie du cœur chez la truite commune (<i>Salmo trutta</i>) d'élevage à la SEMII.	25
Figure 3 : Radiographie de truitelle présentant une compression sévère des vertèbres dans la zone caudale.	26
Figure 4: Cadre méthodologique : les quatre étapes de l'Analyse en Cycle de Vie, ACV (D'après ISO 14044, 2006)	32
Figure 5 : Impacts relatifs utilisation d'énergie, changement climatique et eutrophisation calculés pour 1 tonne de production, selon les règles d'allocation des impacts par contenu énergétique ou valeur économique. Extrait de Aubin et al.,2015; ACL.1 .	38
Figure 6 : Représentation du système de production en étang côtier à Pampanga, Philippines, selon deux points de vue : à gauche système permettant d'évaluer la production dans sa globalité ; à droite système permettant d'évaluer la production espèce par espèce.	40
Figure 7: Graphique radial du profil environnemental relative du scenario standard et du scenario bas niveau de produits de poisson dans l'aliment (LFP), pour une tonne de saumon (gauche) et une tonne de truite (droite). Le niveau des impacts de LFP est exprimé relativement au standard dans chaque graphe. Issu de Boissy et al. (2011).	43
Figure 8 : Procédure de mise en œuvre de la démarche de co-construction mise en œuvre dans le projet EVAD (Rey-Valette et al., 2008 ;O.7)	46
Figure 9 : Représentation de l'aqua-écosystème et des flux entre ses différents compartiments définissant un système aquacole écologiquement intensif. (Aubin et al., 2014 ; O2)	50
Figure 10 : Adaptation des services écosystémiques du Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), à l'aquaculture, proposée dans le projet PISCEnLIT	51
Figure 11 : Schéma de projet scientifique	59

• ANNEXE 5 : Liste des encarts

	Page
Encart 1 : Claireaux, G.; McKenzie, D.J.; Gaylene Genge, A.; Chatelier, A.; Aubin, J.; Farrell, A.P. 2005. Linking swimming performance, cardiac pumping ability and cardiac anatomy in rainbow trout. <i>The Journal of Experimental Biology</i> . 208 (10) : 1775-1784	24
Encart 2 : Aubin, J.; Gatesoupe, F.J.; Labbé, L.; Lebrun, L. 2005. Trial of probiotics to prevent the vertebral column compression syndrome in rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss Walbaum</i>) <i>Aquaculture Research</i> , 36 (8), 758-767.	27
Encart 3 : Aubin, J., 2013. Life Cycle Analysis as applied to environmental choices regarding farmed or wild-caught fish, <i>CAB Reviews</i> .8, N°11 CAB International.	35
Encart 4 : Aubin, J.; Papatryphon, E.; Van der Werf, H.M.G.; Chatzifotis, S. 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. <i>Journal of Cleaner Production</i> . 17 (3) : 354-361	41
Encart 5 : Aubin, J., Baruthio, A., Mungkung, R., Lazard, J., 2014. Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. <i>Aquaculture</i> , 435, 217-227.	44
Encart 6 : Rey-Valette, H.; Clément, O.; Aubin, J.; Mathé, S.; Chia, E.; Legendre, M.; Caruso, D.; Mikolasek, O.; Blancheton, J.-P.; Slembrouck, J.; Baruthio, A.; René, F.; Levang, P.; Morissens, P.; Lazard, J. 2008. Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture - EVAD. : 144 p.	47
Encart 7: Auberger J.; Gésan-Guiziou G.; Haese C.; Aubin J.; van der Werf H. 2013. MEANS : une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires. <i>Innovations Agronomiques</i> , 31, 169-181.	48
Encart 8 : Objectifs d'intensification écologique pour les systems aquacoles	52
Encart 9 : Intensification écologique des systèmes étang : expérimentation.	53

