

L'Institut Agro Rennes-Angers
☐ Site d'Angers ☒ Site de Rennes

Année universitaire : 2023-2024 Spécialité : Ingénieur Agronome Spécialisation (et option éventuelle) : Sciences halieutiques et aquacoles (AQUA)	Mémoire de fin d'études ☒ d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ☐ de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ☐ de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2) ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)
--	--

Création d'archétypes de systèmes piscicoles français et analyse de leurs performances environnementales par Analyse du Cycle de Vie (ACV)

Par : Ninon MARTIN

Soutenu à Rennes le 10 septembre 2024

Devant le jury composé de :

Président : Bastien Sadoul
Enseignant-chercheur (Institut Agro Rennes-Angers, Pôle halieutique, mer et littoral, UMR DECOD)

Maître de stage : Joël Aubin
Ingénieur de recherche (INRAE, UMR SAS), directeur adjoint de l'UMR SAS

Enseignant référent : Bastien Sadoul

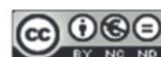
Autres membres du jury :

Didier Gascuel
Enseignant-chercheur (Institut Agro Rennes-Angers, Pôle halieutique, mer et littoral), directeur du Pôle halieutique, mer et littoral

Florence Garcia-Launay
Ingénieure de recherche (INRAE, UMR Pegase)

Les analyses et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☒ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ : le 06/09/2024
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ Nom Prénom MARTIN NINON

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement ⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☐ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-NC-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : 10/09/2024 Martin

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Date et signature de l'enseignant :

11/09/2024

Utilisation de l'Intelligence Artificielle (IA) pour la rédaction du mémoire

L'intelligence artificielle a été utilisée pour améliorer le texte ☒ Oui ☐ Non

Si oui, préciser pour quelle partie de texte et à quelles fins ?

IA utilisée pour la traduction en anglais du résumé.

Toute absence de déclaration précise sera considérée comme un manquement aux règles de l'éthique scientifique.

Date et Signature de l'auteur : 10/09/2024
Martin

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation de l'Institut Agro Rennes-Angers s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je tiens à sincèrement remercier Joël Aubin pour son encadrement toujours pertinent, pédagogue et bienveillant, ainsi que pour sa confiance. Sa supervision m'a donné l'occasion de gagner en autonomie grâce à une liberté d'organisation, tout en me sentant soutenue et accompagnée.

Merci à Aurélien Tocqueville, Virgile Basuyau et Elise Dubois (ITAVI) ainsi qu'à Elise Rémory (CIPA) pour leur aide et leurs conseils.

Je souhaite également remercier Simon Pouil (INRAE) pour m'avoir donné accès à ses travaux et pour ses suggestions, qui m'ont été d'une aide précieuse.

Je remercie Louis Lesur pour nos échanges instructifs ainsi que pour sa générosité.

Merci à Bastien Sadoul pour ses conseils et ses retours encourageants sur mon travail.

Bien sûr, je souhaite remercier les professionnel·le·s, sans qui ce travail n'aurait pas été réalisable, d'avoir pris le temps de répondre à mes questions et de me présenter leurs sites de production.

Merci à Louis Pimont pour nos sessions de travail communes sur la truite arc-en-ciel.

Je remercie enfin les chercheur·euses, doctorant·e·s et stagiaires de l'UMR SAS pour leur bonne humeur, leur gentillesse et leur humour. Ils et elles ont fait de ce stage une expérience académique aussi enrichissante humainement qu'intellectuellement.

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS	7
LISTE DES ANNEXES.....	8
LISTE DES FIGURES.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	10
AVANT-PROPOS.....	11
I. INTRODUCTION.....	12
1. PISCICULTURE ET ENJEUX	12
2. PISCICULTURE FRANÇAISE.....	14
2.1. <i>Truite arc-en-ciel</i>	15
2.2. <i>Bar commun et daurade royale</i>	16
3. OUTIL D'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE : L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE.....	17
4. PROBLEMATIQUE ET MISSIONS CONFIEES	18
II. MATERIEL ET METHODES.....	19
1. PREPARATION	19
2. COLLECTE DE DONNEES	19
3. TRAITEMENT DES DONNEES	20
4. CONSTRUCTION DES ARCHETYPES.....	21
4.1. <i>Truite arc-en-ciel</i>	21
4.2. <i>Bar commun et daurade royale</i>	23
5. ANALYSES DU CYCLE DE VIE	24
6. ÉTUDE DE SENSIBILITE	25
III. RESULTATS.....	26
1. TRUITE ARC-EN-CIEL	26
1.1. <i>Traitement statistique</i>	26
1.2. <i>Archétypes</i>	30
2. BAR COMMUN	32
3. DAURADE ROYALE	32
4. ANALYSES DU CYCLE DE VIE.....	33
4.1. <i>Archétypes des espèces étudiées</i>	33
4.2. <i>Comparaison avec les données AGRIBALYSE</i>	36
5. ÉTUDE DE SENSIBILITE	40
IV. DISCUSSION	42
1. DONNEES COLLECTEES	42
2. TRAITEMENT STATISTIQUE	42
3. CONSTRUCTION DES ARCHETYPES.....	43
4. ANALYSES DU CYCLE DE VIE.....	43
5. ÉTUDE DE SENSIBILITE	45
V. CONCLUSION.....	46
REFERENCES	47
BIBLIOGRAPHIE	47
SITOGRAFIE	51
ANNEXES.....	I

Liste des abréviations

ACV / LCA : Analyse du Cycle de Vie / Life Cycle Assessment

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CIPA : Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture

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

DGAMPA : Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture

FAO : Food and Agriculture Organization

IC / FCR : Indice de Conversion alimentaire / Feed Conversion Ratio

ICV / LCI : Inventaire du Cycle de Vie / Life Cycle Inventory

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ITAVI : Institut Technique des filières AVIcole, cunicole et piscicole

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

UMR SAS : Unité Mixte de Recherche « Sol, Agro et hydrosystème, Spatialisation »

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Poster scientifique présenté lors des JRFP (2 et 3 juillet 2024)</i>	<i>I</i>
<i>Annexe 2 : Questionnaire « pisciculture d’eau douce » destiné aux professionnels</i>	<i>II</i>
<i>Annexe 3 : Questionnaire « pisciculture marine » destiné aux professionnels</i>	<i>V</i>
<i>Annexe 4 : Tableau complet des données de l’archétype PP_TP</i>	<i>IX</i>
<i>Annexe 5 : Tableau complet des données de l’archétype PP_GT</i>	<i>X</i>
<i>Annexe 6 : Tableau complet des données de l’archétype GP_TP</i>	<i>XI</i>
<i>Annexe 7 : Tableau complet des données de l’archétype GP_TGT</i>	<i>XII</i>
<i>Annexe 8 : Tableau complet des données de l’archétype de bar commun (calibre 1)</i>	<i>XIV</i>
<i>Annexe 9 : Tableau complet des données de l’archétype de daurade royale (calibre 2)</i>	<i>XV</i>
<i>Annexe 10 : Histogrammes réalisés pour l’étude de sensibilité</i>	<i>XVI</i>

Liste des figures

Figure 1 : Production aquacole mondiale détaillée, 1991-2020 (FAO 2022)	12
Figure 2 : Contribution de l'aquaculture à la production halieutique et aquacole totale (hors algues),	13
Figure 3 : Principaux facteurs de stress liés à l'aquaculture et à la pêche de capture (Gephart et al. 2021)	14
Figure 4 : Schéma du cycle de vie « from cradle to farm gate » considéré lors des Inventaires du Cycle de Vie (ICV) des différents archétypes (source personnelle)	24
Figure 5 : Cercle des corrélations de l'ACP représentant les variables et les individus	26
Figure 6 : Graphique de l'ACP représentant les individus selon leur cluster hiérarchique	27
Figure 7 : Boxplots représentant la distribution des données des groupes PP et GP par variable (valeurs pour 1 kg de poisson produit)	29
Figure 8 : Histogramme des scores d'acidification (mol H ⁺ eq) par archétype.....	34
Figure 9 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO ₂ eq) par archétype	34
Figure 10 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype	34
Figure 11 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype	35
Figure 12 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype.....	35
Figure 13 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m ³ depriv.) par archétype	35
Figure 14 : Histogramme des scores d'acidification (mol H ⁺ eq) par archétype de truite arc-en-ciel.....	37
Figure 15 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO ₂ eq) par archétype de truite arc-en-ciel	37
Figure 16 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype de truite arc-en-ciel	37
Figure 17 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype de truite arc-en-ciel	38
Figure 18 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype de truite arc-en-ciel.....	38
Figure 19 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m ³ depriv.) par archétype de truite arc-en-ciel.....	38
Figure 20 : Histogramme des scores d'acidification (mol H ⁺ eq) par archétype de poissons marins	39
Figure 21 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO ₂ eq) par archétype de poissons marins	39
Figure 22 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype de poissons marins.....	39
Figure 23 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype de poissons marins	39
Figure 24 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype de poissons marins	39
Figure 25 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m ³ depriv.) par archétype de poissons marins	39

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Proportions (%) de production des calibres de truite arc-en-ciel selon le mode de production.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 2 : Proportions (%) de production des calibres de bar commun et de daurade royale.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 3 : Résultats de l'Analyse en Composantes Principales (importance des composantes)</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 4 : Résultats (p-values) du test de Wilcoxon-Mann-Whitney en fonction des variables</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 5 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de truite portion en petite production"</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 6 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de grande truite en petite production"</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 7 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de truite portion en grande production"</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 8 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de très grande truite en grande production"</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 9 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de bar commun de calibre 1 (350-500 g)"</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 10 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de daurade royale de calibre 2 (600-800 g)" ..</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 11 : Moyennes des valeurs absolues des variations des scores des archétypes (%) par indicateur selon les variations ($\pm 5\%$) de l'énergie et de l'IC.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 12 : Moyennes des valeurs absolues des variations des scores des indicateurs (%) par archétype selon les variations ($\pm 5\%$) de l'énergie et de l'IC.....</i>	<i>41</i>

Avant-propos

La durabilité est aujourd'hui un enjeu essentiel de nos démarches de production. Dans un contexte de changement climatique, il est nécessaire d'étudier, de penser et de réduire les impacts anthropiques dans la mesure du possible. Afin de permettre aux consommateurs et consommatrices de faire des choix éclairés, une démarche a vu le jour : l'affichage environnemental. Il permet de noter (de A à E) un produit, un bien ou un service selon ses performances environnementales. La note, calculée à partir des résultats d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV), prend ainsi en compte les émissions de gaz à effet de serre, les atteintes à la biodiversité et la consommation d'eau et d'autres ressources naturelles, pour ne citer que quelques exemples (ADEME 2024; Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique 2022).

Porté par l'ADEME et les pouvoirs publics, l'affichage environnemental doit se déployer sur le secteur alimentaire au cours de l'année 2024 (ADEME 2024).

La pisciculture, en tant que source importante de produits de la mer (40 955 tonnes produites en France en 2022) est un domaine d'intérêt crucial dans cette démarche (Agreste 2024). Ces éléments donnent ainsi naissance au projet dans lequel s'inscrit ce stage, qui vise à actualiser et à compléter les données existantes sur l'impact environnemental de la pisciculture en France. Datant de 2007, elles sont aujourd'hui considérées obsolètes compte-tenu de l'évolution des pratiques et des progrès techniques piscicoles.

Ce projet réunit l'INRAE, l'ITAVI et le CIPA pour un objectif final : mettre à jour la base de données AGRIBALYSE, une base de données publique d'indicateurs environnementaux des produits agricoles et alimentaires (Documentation AGRIBALYSE® 2023).

Les premiers résultats de cette étude ont été présentés lors des Journées de la Recherche Piscicole les 2 et 3 juillet 2024 (poster scientifique réalisé pour la présentation : annexe 1). Les résultats finaux seront, quant à eux, remis au Bureau Aquaculture de la DGAMPA (ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire). Ils mettront en lumière les impacts environnementaux des différents systèmes piscicoles étudiés. Ils seront également comparés avec ceux d'études antérieures afin d'évaluer l'évolution de l'impact environnemental des systèmes considérés et de fournir des pistes pour la suite des travaux sur l'ensemble des productions piscicoles françaises.

Ce projet s'inscrit dans une démarche essentielle visant à mieux comprendre et évaluer l'impact environnemental de l'aquaculture en France. En fournissant des données actualisées et fiables, ce travail permettra de poursuivre l'évolution et l'amélioration de la durabilité des pratiques dans le secteur crucial de la souveraineté alimentaire.

I. Introduction

1. Pisciculture et enjeux

Si la pisciculture est une pratique âgée de plusieurs millénaires au moins, elle a connu un véritable essor mondial durant les années quatre-vingt et ne cesse de croître et de se diversifier depuis lors (fig. 1) (Lazard 2008; Audebert et al. 2008). Elle est avant tout devenue la source de près de 50 % du poisson consommé par l'Homme (Vandeputte et al. 2011).

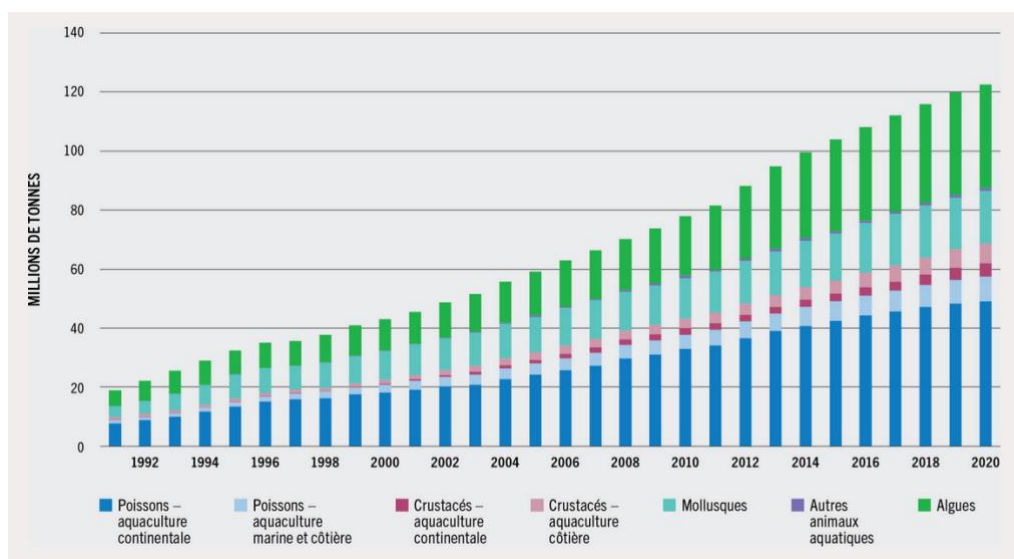


Figure 1 : Production aquacole mondiale détaillée, 1991-2020 (FAO 2022)

Note : Les coquillages et les perles ne sont pas pris en compte dans les données (exprimées en équivalent de poids vif).

Ce fait trouve une explication dans le contexte actuel et les éléments qui le composent.

D'une part, la consommation mondiale de poisson augmente depuis plusieurs dizaines d'années (à raison de 2% par an entre 2010 et 2020) en lien avec l'accroissement de la population mondiale et de la demande par tête. La demande mondiale est estimée à 183 millions de tonnes en 2031 : l'aquaculture représenterait alors 59% de cette production. Le poids de la pisciculture s'explique d'autant plus par les défis rencontrés par la pêche. Les tendances des trois dernières décennies montrent une stagnation de la production halieutique, donnant ainsi à la pisciculture un rôle compensatoire vis-à-vis de la demande en hausse (fig. 2) (Gephart et al. 2021; FAO 2022).

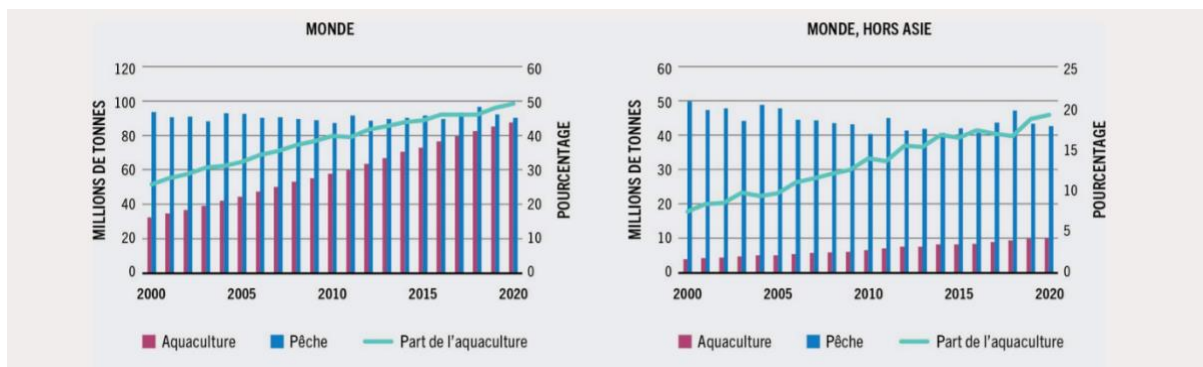


Figure 2 : Contribution de l'aquaculture à la production halieutique et aquacole totale (hors algues), 2000-2020 (FAO 2022)

D'autre part, si l'apport du poisson sur la totalité des protéines d'origine animale consommées est généralement minoritaire (environ 7% en Europe), il n'en est pas moins une source importante d'un point de vue nutritionnel (Natale et al. 2013). Riche en macronutriments et micronutriments, il occupe une place considérable dans la sécurité alimentaire mondiale. La présence d'acides gras longs polyinsaturés (acides EPA et DHA notamment) en fait un aliment difficilement remplaçable (OCDE, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture 2022; Kaushik 2014; Lazard 2008). De plus, la plupart des espèces de poisson élevées présente un indice de conversion alimentaire (IC) relativement bas, comparable à celui du poulet et inférieur à ceux des élevages porcin et bovin (Fry et al. 2018). Cependant, il ne faudrait pas oublier que cette comparaison est quelque peu insuffisante : elle ne prend pas en compte les différentes compositions des aliments distribués. Ceux à destination des poissons demandent un travail de raffinage plus conséquent et sont plus concentrés en énergie (Simard, Le Gouvello 2017). Les différences d'IC n'en demeurent pas moins intéressantes, mais sont donc à étudier avec précision, tout en conservant une appréciation globale du contexte et des facteurs qui l'influencent.

La pisciculture semble ainsi être une réponse intéressante, si ce n'est indispensable, aux défis actuels (Araujo et al. 2022). Elle présente cependant des enjeux environnementaux, sociaux et économiques notables qu'il est nécessaire de considérer (Lucas et al. 2020). Toutefois, l'évaluation des impacts environnementaux étant l'objectif de cette étude, seule cette catégorie d'enjeux sera abordée.

L'élevage de poissons occasionne différentes problématiques, telles que l'exploitation des ressources halieutiques pour la production de farine et d'huile de poisson, la propagation de maladies, la contribution à la résistance antibiotique ou encore des transferts accidentels de patrimoines génétiques (fig. 3) (Gephart et al. 2021). Si ces points sont incontournables au sein du sujet global des impacts environnementaux de la pisciculture, ils ne sont pas, ou pas systématiquement, inclus dans le processus d'Analyse du Cycle de Vie. Les impacts pris en compte dans la suite de ce travail, tout aussi importants, sont multiples (fig. 3) : usage des terres, consommation des ressources en eau, eutrophisations marine et d'eau douce, acidification, émission de gaz à effet de serre (Ottinger, Clauss, Kuenzer 2016; Gephart et al. 2021)...

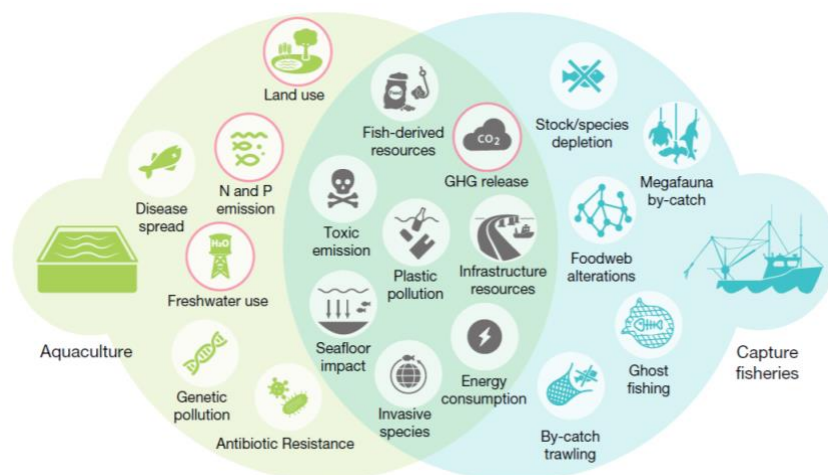


Figure 3 : Principaux facteurs de stress liés à l'aquaculture et à la pêche de capture (Gephart et al. 2021)

Ces impacts prennent racine dans des causes diverses, mais certains paramètres des systèmes piscicoles sont responsables d'une grande part de ceux-ci. La composition et la gestion de l'aliment piscicole ainsi que la consommation d'énergie (électricité et carburant notamment) et l'origine de celle-ci sont des points clés, particulièrement au sein des systèmes intensifs (Aubin 2015; Ghamkhar et al. 2021). Le fonctionnement de la ferme elle-même (émissions directes de matière en suspensions et particulièrement d'azote et de phosphore) est aussi un facteur considérable (Besson et al. 2016; Bohnes et al. 2019; Chen et al. 2015).

L'aliment est, par exemple, à l'origine de plus de 50 % de l'usage des terres, et contribue fortement à de nombreux autres impacts (Ghamkhar et al. 2021). Il a été montré que les performances zootechniques, notamment l'indice de conversion alimentaire, sont des facteurs prépondérants influençant aussi considérablement les rejets des élevages et les émissions de gaz à effet de serre (Wilfart et al. 2013; Hasan, Soto 2017). La démarche de durabilité dans laquelle s'est lancée la pisciculture ne peut donc pas ignorer l'aliment, ainsi que les matières premières qui le composent. Réunissant une immense partie de la profession, l'aliment piscicole est ainsi le sujet de nombreux projets de recherche depuis des années. Il a vu ses performances nutritionnelles et environnementales s'améliorer, mais il reste un défi de poids pour la filière (Audebert et al. 2008; Simard, Le Gouvello 2017).

2. Pisciculture française

La France ne fait pas exception à la consommation importante de « produits de la mer » (environ 35 kg/habitant/an). La demande est d'ailleurs en augmentation, mais elle n'est couverte qu'à un tiers par la production nationale de produits aquatiques, c'est-à-dire l'ensemble des productions halieutique et aquacole. Bien que le secteur piscicole français connaisse des progrès remarquables, dus à une importante implication de la part des professionnels et du milieu de la recherche, il reste relativement restreint (Bourre, Paquotte 2008; Kaushik 2014).

Les tendances de la production piscicole en France se montrent plutôt stagnantes, voire en léger déclin (Gueneuc et al. 2010). La truite et les autres salmonidés demeurent les principales espèces produites, représentant 79 % des ventes de poissons d'aquaculture en

volume. En 2022, 32 310 tonnes de truites et autres salmonidés sont produites, soit une baisse de 7 % par rapport à 2021, pour une valeur de 143,3 millions d'euros. La pisciculture en eau de mer enregistre une baisse de 10 % en volume, tombant à 5 160 tonnes, mais maintient sa valeur grâce à une augmentation du prix moyen, passant de 8,6 €/kg à 9,5 €/kg (Agreste 2024).

De nombreuses espèces de poissons sont élevées en France selon divers types de pisciculture (marine, en eau douce...). Un ordre de priorité devait être établi afin de sélectionner les espèces à étudier en premier lieu.

La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) représente la plus grande part de la pisciculture française (d'un total de 43 834 tonnes en 2021), tant en termes de production en volume et en valeur (33 978 tonnes et 135,8 millions d'euros en 2021) qu'en nombre d'entreprises (270 soit 54 % des entreprises piscicoles françaises en 2021) (Agreste 2023). Ces chiffres font de cette espèce une priorité dans cette étude.

Le bar commun (*Dicentrarchus labrax*) et la daurade royale (*Sparus aurata*) dominent largement la production piscicole marine (de 5 735 tonnes en 2021) avec des productions respectives de 2 570 tonnes pour 21,649 millions d'euros et de 1 872 tonnes pour 15,646 millions d'euros en 2021 (Agreste 2023). Ces deux espèces ont donc également été sélectionnées pour ce projet.

Les chiffres précédents ne prennent pas en compte les piscicultures, associations et organismes dont la production est destinée à de l'ornement ou du repeuplement.

2.1. Truite arc-en-ciel

Comme mentionné précédemment, la salmoniculture est majoritaire en France, et l'élevage de truite arc-en-ciel à lui seul représentait 78 % en volume et 58 % en valeur de la production piscicole totale en 2021. Les régions principales de production sont la Nouvelle-Aquitaine, la Bretagne et la Normandie. La production biologique concerne moins de 10 % des systèmes d'élevage de salmonidés, il a donc été décidé de ne pas prendre en compte ce type de production durant cette étude (Agreste 2023). La truiticulture existe en systèmes extensifs comme intensifs, qui impliquent une utilisation des ressources, des besoins et des impacts environnementaux différents (Samuel-Fitwi et al. 2013).

Elle est principalement élevée en bassins ou en « race-ways » grâce à une dérivation de cours d'eau, qui permet l'obtention d'un débit en entrée de site plutôt élevé, donc d'un taux de renouvellement de l'eau important. Les exploitations sont souvent situées en amont des cours d'eau, et la quasi-totalité de l'eau est restituée. Afin de se développer le mieux possible, la truite arc-en-ciel nécessite une température basse, une faible concentration en polluants et en matières organiques ainsi qu'une oxygénation élevée (Jalabert, Fostier 2010; Agreste 2024). Cette dernière condition soulève un point d'intérêt : l'utilisation d'oxygène liquide, un paramètre représentant une part significative des impacts environnementaux.

La truite arc-en-ciel est commercialisée en différents calibres : la truite portion (moins de 500 g), généralement entière, la grande truite (1 à 2 kg) et la très grande truite (plus de 2 kg), souvent destinées à la transformation (filetage, fumaison...). Des œufs non embryonnés sont

également produits pour la consommation humaine, en plus des œufs produits en écloserie dans un but de reproduction (Agreste 2024; FranceAgriMer 2023).

2.2. Bar commun et daurade royale

Le bar commun et la daurade royale, espèces à haute valeur commerciale, sont en partie à l'origine du développement explosif de la pisciculture marine en cages en Méditerranée, en particulier au Nord (Laird 2001). Comme expliqué plus tôt, ces deux espèces dominent nettement l'élevage de poissons marins en France, représentant environ 82 % de la production en volume de poissons élevés en eau de mer en 2022. Les volumes des productions respectives de bar commun et de daurade royales sont proches : 2229 tonnes (bar commun) et 2018 tonnes (daurade royale) en 2022 (Agreste 2024). Ce dernier fait trouve une explication dans les similitudes de ces espèces : bien qu'elles diffèrent sur certains aspects biologiques (vitesses de croissance par exemple), elles ont notamment les mêmes besoins en termes d'infrastructures, il est donc très fréquent pour les fermes en mer de les élever simultanément (Margarida Gomes 2021).

Des systèmes d'élevage « artisanaux » (plutôt extensifs), en cages en mer, comme « industriels » (plutôt intensifs), en cages en mer ou en bassins à terre, existent en France (de La Pomélie 1995). La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et la Corse représentent les plus hauts taux de production (Agreste 2024). Si le système d'élevage le plus courant est l'élevage en cages flottantes en mer, proches de la côte, il ne suffit pas à correctement représenter la production française de bar commun et de daurade royale (Zoli et al. 2024). En effet, près de 42 % (plus de 1800 tonnes par an) de cette production provient d'une unique ferme à terre (Aquimer 2020). Ce site présente un système de production atypique (bassins, provenance de l'eau utilisée...) qui nécessite d'être étudié, compte-tenu de sa part dans la production nationale, afin d'obtenir un véritable bilan complet de la mariculture française de bar commun et de daurade royale. Ce point sera également abordé en partie « Discussion ». À l'instar de la truiticulture, l'élevage biologique de ces deux espèces reste très faible, en France comme à travers toute la Méditerranée (Agreste 2024; Di Marco et al. 2017). La production biologique n'a donc pas été retenue pour ce travail.

Selon le CIPA et divers professionnels du milieu piscicole, le bar commun et la daurade royale sont le plus souvent commercialisés entiers, en plusieurs calibres allant d'environ 300 grammes, pour le plus petit, à plus d'un kilogramme, pour le plus grand. Les calibres définis pour cette étude seront précisés en partie « Matériel et méthodes ».

3. Outil d'analyse environnementale : l'Analyse du Cycle de Vie

La démarche de durabilité dans laquelle s'est engagée la profession piscicole française depuis une vingtaine d'années témoigne d'une forte volonté d'amélioration, entre autres, des performances environnementales des élevages (Gueneuc et al. 2010). Afin d'optimiser les pratiques et de subvenir aux besoins en « produits de la mer » tout en minimisant les impacts anthropiques autant que possible, il est indispensable de se pencher sur l'état actuel de la production piscicole et les diverses formes qu'elle adopte.

C'est à partir de ce constat que l'affichage environnemental se construit, à travers le prisme de la sensibilisation des consommateurs aux impacts environnementaux et, ainsi, de la transparence des procédés de production (ADEME 2024).

Définir des notes jugeant les performances environnementales d'un produit implique l'utilisation d'un outil d'analyse environnementale. Il en existe plusieurs (l'analyse des flux de substance et le bilan carbone, par exemple) et c'est pour ses spécificités que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) a été choisie (ADEME 2024; Jolliet et al. 2017).

L'ACV consiste en une évaluation de l'impact environnemental d'un produit, d'un service, ou d'un système en relation à une fonction particulière (appelé « unité fonctionnelle ») en prenant en considération toutes les étapes du cycle de vie de celui-ci. Elle permet notamment d'effectuer des comparaisons entre les charges environnementales de différents produits, processus, systèmes ou encore étapes du cycle de vie d'un même produit. Elle est rapidement devenue incontournable en tant qu'outil d'analyse environnementale : multi-critères, multi-étapes et normalisée (normes ISO 14040 et 14044), elle est la méthode de référence. L'ACV se réalise en quatre étapes distinctes selon la définition des normes ISO et de la SETAC¹ : la définition des objectifs, l'inventaire des émissions et des extractions, l'analyse de l'impact et l'interprétation des résultats (Jolliet et al. 2017; Simard, Le Gouvello 2017).

Adaptée aux productions agricoles depuis la fin des années quatre-vingt-dix (van der Werf, Petit 2002), l'ACV est de plus en plus fréquemment employée pour les analyses environnementales piscicoles (Konstantinidis et al. 2020; Henriksson et al. 2012). Toutefois, cet outil présente des axes d'amélioration, particulièrement dans le cadre d'étude de la pisciculture et notamment vis-à-vis des impacts sur la biodiversité et la biomasse (ressources vivantes), pour lesquels il n'existe pas encore de véritable consensus (Simard, Le Gouvello 2017).

L'ACV fait tout de même partie des outils d'analyse environnementale les plus complets et demeure très utile. Elle permet l'obtention de résultats quantitatifs pour divers indicateurs et, surtout, de mieux comprendre les systèmes de production piscicole. Ainsi, il est possible d'identifier les paramètres à améliorer ou à repenser en priorité afin de réduire les impacts environnementaux (meilleure efficacité, réduction des rejets et optimisation de la consommation des ressources...) (Vandeputte et al. 2011; Aubin 2014).

¹ SETAC : Society of Environmental Toxicology and Chemistry

4. Problématique et missions confiées

Comme présenté en avant-propos et contextualisé au cours des précédentes parties, le projet dans lequel s'inscrit ce stage est né d'un besoin de données récentes sur les performances environnementales des différentes productions piscicoles françaises, dans l'objectif de mettre à jour la base de données AGRIBALYSE.

Les hypothèses de départ se divisent en deux axes. D'une part, l'évolution des pratiques et des progrès techniques piscicoles suggèrent une amélioration des performances environnementales des fermes : une mise à jour des données de 2007 est donc nécessaire. D'autre part, il a été supposé, après un temps d'observation, que les archétypes se définiraient le plus précisément et pertinemment en fonction des types de production (« extensive », « semi-intensive », « intensive »), donc des volumes de production et des performances d'élevage (IC, mortalité, vitesse de croissance), ainsi qu'en fonction des proportions des différents calibres produits. Les « grandes exploitations » auraient de meilleures performances zootechniques que les « petites », mais des infrastructures, du matériel et certains intrants en plus grandes quantités.

Pour répondre à la problématique, deux phases de travail se sont articulées : une exploration des systèmes piscicoles français actuels afin de créer des modèles, ou archétypes, le plus fidèlement possible, puis l'analyse des performances environnementales de ces derniers par ACV.

Ainsi, ce stage s'est déroulé en plusieurs étapes : réflexion et documentation sur les différents points d'intérêt, choix des produits (et donc des systèmes piscicoles) à étudier en priorité, collecte de données (recherche bibliographique, questionnaires et entretiens auprès de pisciculteurs), traitement des données, modélisation des archétypes, puis calcul des ACV. Les résultats ont été comparés aux résultats disponibles dans la base de données AGRIBALYSE. Afin d'approfondir le travail, une étude de sensibilité des impacts a ensuite été réalisée pour certains paramètres (IC et consommation d'énergie).

Le travail réalisé sur le logiciel MEANS-InOut² (Means 2024), outil facilitant la réalisation des Inventaires du Cycle de Vie (ICV) des systèmes agro-alimentaires, a permis de mettre en lumière des axes d'amélioration pour la modélisation des systèmes piscicoles.

La suite de ce mémoire présente en détail la méthodologie adoptée pour répondre à la problématique, puis les résultats obtenus, et enfin une discussion de ces deux points.

² Présentation du logiciel MEANS-InOut disponible à l'adresse suivante : <https://means.inrae.fr/outils-emc/inventaires-acv-avec-means-inout>

II. Matériel et méthodes

1. Préparation

Les espèces étudiées par la suite (truite arc-en-ciel, bar commun et daurade royale) ont été choisies pour la part importante qu'elles représentent dans la production piscicole française.

Pour chaque espèce d'intérêt, une phase d'étude bibliographique a été réalisée en premier lieu : sur l'ACV et ses applications en pisciculture, les différents itinéraires techniques, les données disponibles (volumes de production, IC, durées d'élevage, calibres etc.)... Cette étape a permis de prendre connaissance des données disponibles dans la littérature, notamment les plus récentes, ainsi que celles de la base AGRIBALYSE. Divers échanges avec des chercheurs, des enseignants aquacoles et des professionnels ont également précisé les observations tirées de ces recherches. Des hypothèses d'archétypes de systèmes piscicoles et les potentielles variables de ces derniers (espèce élevée, calibre, taille de l'exploitation...) ont ainsi été définies.

À la suite d'une formation suivie auprès du Cirad et de l'INRAE sur l'utilisation du logiciel MEANS-InOut, quelques modèles tirés d'études précédentes y ont été testés afin d'identifier de potentiels manques. Les résultats obtenus après l'import des Inventaires du Cycle de Vie (ICV) sur le logiciel SimaPro ont été comparés à ceux des études dont les modèles étaient extraits pour vérifier leur cohérence.

2. Collecte de données

Afin de collecter les données les plus récentes et précises possible, deux questionnaires à destination des professionnels (annexes 2 et 3) ont été créés : l'un sur la pisciculture d'eau douce (élevage de truite arc-en-ciel) et l'autre sur la pisciculture marine (élevage de bar commun et de daurade royale). Les thématiques abordées concernaient les caractéristiques du site de production (volume des bassins/cages, débit moyen en entrée de site, consommation d'énergie, d'oxygène liquide, volume de production, calibres produits, source d'approvisionnement en eau...) et ses performances zootechniques (IC et mortalité moyens aux différents stades d'élevage, durée des cycles d'élevage et poids moyens aux différents stades d'élevage). Les questionnaires ont été diffusés par le CIPA après une relecture par l'ITAVI. Des entretiens plus approfondis (produits sanitaires, matériel, infrastructures complètes notamment pris en compte) ont simultanément été tenus avec des producteurs, sur place et à distance.

Le questionnaire « Pisciculture d'eau douce » a récolté 20 réponses utilisables, correspondant à 20 sites de production de truite arc-en-ciel. Les entretiens menés (2 sites) et une étude réalisée en 2022 (Pouil et al. 2024) (3 sites) ont permis d'obtenir un échantillon final de n=25 exploitations.

Le questionnaire « Pisciculture marine » n'a obtenu qu'une seule réponse, d'un site de production de bar commun uniquement. Les entretiens menés (2 sites) ont donné lieu à un échantillon de n=3 pour le bar commun et de n=2 pour la daurade royale. La décision de traiter

ces deux espèces séparément, malgré des modes de productions très similaires, a été prise à la suite des entretiens et de l'observation de différences notables entre leurs vitesses de croissance et leurs IC respectifs.

Il est important de préciser que les réponses obtenues, grâce aux questionnaires comme aux entretiens, n'étaient pas toujours complètes.

3. Traitement des données

Les données de chaque site de production ont été ramenées à des valeurs correspondant à la production d'un kilogramme de poisson.

L'intégralité du traitement statistique a été effectuée sur RStudio, d'après les valeurs par kilogramme de poisson produit.

Le jeu de données sur la truite arc-en-ciel a ensuite été traité statistiquement par Analyse en Composantes Principales (ACP), afin de déterminer si des groupes (ou *clusters*) se dessinaient naturellement. Les individus (sites de production) sont numérotés par ordre croissant de volume de production. Les indicateurs d'entrée choisis pour l'ACP sont les suivants : le volume de production, la consommation d'électricité, de gazole et d'oxygène liquide, l'IC moyen et le pourcentage de production du calibre « Très Grande Truite » (TGT). Les données manquantes ont été remplacées par la moyenne de la colonne. Il faut noter que pour certaines variables, comme le volume d'oxygène liquide consommé, une absence de réponse pouvait signifier une consommation nulle. Le choix de remplacer les valeurs manquantes par la moyenne ne garantit donc pas l'obtention de données parfaitement représentatives de la réalité.

Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a par la suite été réalisée dans le but de déterminer des *clusters*, première étape de la construction des archétypes. Le nombre de *clusters* idéal a été déterminé par validation croisée, avec les méthodes de *clustering* « hierarchical », « kmeans » et « pam » et les indices de validation interne de Dunn, Silhouette et Connectivity. Le dendrogramme obtenu par CAH a ainsi été sectionné en deux *clusters*, dont les caractéristiques ont été observées selon les moyennes des variables calculées à partir des données centrées réduites ainsi que les écarts-types associés à chaque variable.

Certains individus (6, 16 et 18) présentant des caractéristiques plutôt incohérentes avec leurs *clusters* respectifs ont alors été considérés comme des « anomalies ». Les sites 16 et 18 sont passés du *cluster* 1 au 2, et le site 6 est passé du *cluster* 2 au 1. La décision de remplacer les valeurs manquantes par la moyenne des colonnes ayant pu être à l'origine de ces « anomalies », le même traitement statistique (ACP, CAH et *clustering*) a été réitéré après avoir remplacé les valeurs manquantes par la moyenne du groupe correspondant, après déplacement des « anomalies ». Les *clusters* obtenus étaient identiques aux précédents à l'exception de l'individu 6, directement placé dans le *cluster* 1.

Les individus 16 et 18 ont tout de même été déplacés, à nouveau, du *cluster* 1 au 2 (décision développée en partie « Résultats »).

Des *boxplots* ont été réalisés afin d'analyser la distribution des données des deux groupes ainsi formés, et les différences de moyennes pour chaque variable ont été vérifiées par un test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Les échantillons des espèces de poissons marins étant de très faible effectif, aucun test statistique n'a semblé pertinent.

4. Construction des archétypes

Les archétypes finaux seront détaillés dans la partie « Résultats » (tableaux réduits) et en annexes (annexes 4 à 9) (tableaux complets).

4.1. Truite arc-en-ciel

Les résultats de l'analyse statistique ayant déterminé deux groupes aux caractéristiques correspondant fortement aux hypothèses de départ, l'angle d'étude a été conservé : un premier groupe « PP » (« petites productions ») (n=11) et un second groupe « GP » (« grandes productions ») (n=14). Il convient d'ajouter que les termes « petite » et « grande » productions incluent en réalité respectivement des volumes de production annuels allant de 10 à 140 tonnes et de 100 à 546 tonnes, et qu'ils ne laissent pas transparaître les autres caractéristiques tout aussi impactantes (consommation d'oxygène liquide, proportions des calibres produits, IC...) à l'origine des clusters. Les noms attribués à ces deux groupes sont volontairement sommaires et grossissent le trait de leurs caractéristiques afin de simplifier la compréhension des archétypes.

Calcul des variables : volume de production, IC moyen et par phase de production, mortalité par phase de production, poids initiaux et finaux des différentes phases de production, proportions de production des différents calibres

Les valeurs de ces variables ont été déterminées pour chaque archétype en effectuant la moyenne des individus du groupe.

Calcul des variables : surface de l'exploitation, volume total des bassins, débit moyen en entrée de site, électricité, gazole, oxygène liquide et produits sanitaires

Afin de calculer les valeurs uniques correspondant à chaque variable, les données (par kilogramme de poisson produit) des individus du groupe correspondant ont été moyennées, puis la moyenne obtenue a été multipliée par le volume de production de l'archétype.

Calcul de la durée des phases de production

Les poids initiaux et finaux de chaque phase de production différant d'un site à l'autre, un indice de croissance en jour par gramme (temps/gain de masse) a été calculé pour chaque individu. La moyenne de ces indices a ensuite été multipliée par les gains de masse respectifs des différentes phases de production calculés plus tôt pour chaque archétype.

Décisions : approvisionnement en eau et recirculation

L'approvisionnement en eau (défini « par cours d'eau ») des deux archétypes PP et GP a été décidé selon les données des individus : 80% de « cours d'eau » en « petite production » et 86,7% en « grande production ».

La recirculation, partielle ou totale, n'a pas pu être prise en compte dans la construction des archétypes par manque de données. Toutefois, bien que non différenciée, elle se retranscrit dans les équipements et les consommations énergétiques des sites la pratiquant.

Précision des archétypes par calibres produits

Les calibres de truite arc-en-ciel correspondant à des produits commercialisés, ils doivent nécessairement être des segments de la base de données AGRIBALYSE. Les proportions de production des calibres, nettement différentes selon le groupe (PP ou GP), ont ainsi permis de préciser les archétypes (tab. 1). Les calibres majoritaires ont été sélectionnés pour chaque groupe : truite portion et grande truite pour PP (respectivement 51 % et 41 % du volume de production), très grande truite pour GP (69 % du volume de production). La truite portion a également été choisie pour GP (19 % du volume de production) afin de pouvoir comparer les impacts de la production d'un même calibre selon les deux modes de production.

Tableau 1 : Proportions (%) de production des calibres de truite arc-en-ciel selon le mode de production

	<i>Petite production (PP)</i>	<i>Grande production (GP)</i>
<i>Truite portion (TP)</i>	51	19
<i>Grande truite (GT)</i>	40	12
<i>Très grande truite (TGT)</i>	9	69

Quatre archétypes ont ainsi été définis :

- PP_TP : « production de Truite Portion en Petite Production »
- PP_GT : « production de Grande Truite en Petite Production »
- GP_TP : « production de Truite Portion en Grande Production »
- GP_TGT : « production de Très Grande Truite en Grande Production »

Calcul des variables selon le calibre : électricité, gazole, oxygène liquide, produits sanitaires

Les valeurs de ces variables sur un cycle de production complet ont été calculées pour chaque archétype selon les équations d'allocation suivantes :

Soit E l'énergie consommée

Soit Q la quantité (masse ou proportion) produite d'un calibre

Soient a, b et c les calibres produits

$$E_{T(12\text{ mois})} = \frac{Q_a \times E_{T(12\text{ mois})} + Q_b \times E_{T(12\text{ mois})} + Q_c \times E_{T(12\text{ mois})}}{Q_a + Q_b + Q_c}$$

$$E_{a(12\text{ mois})} = \frac{Q_a \times E_{T(12\text{ mois})}}{Q_a + Q_b + Q_c} = E_{T(12\text{ mois})} \times \frac{Q_a}{Q_{total}}$$

Soit t la durée du cycle d'élevage (mois) du calibre considéré

$$E_{a(t)} = \frac{t}{12} E_{a(12 \text{ mois})}$$

Calcul des infrastructures et du matériel

Ces valeurs ont été calculées en multipliant les valeurs définies pour les groupes PP et GP par la proportion du calibre considéré dans l'archétype.

Calcul des quantités d'aliments

Les quantités d'aliments ont été déterminées selon les différents stades de croissance, les IC et les gains de masse correspondants. Des formules types d'aliments (composition en ingrédients) ont été développées à partir de données fournies par Louis Lesur (Le Gouessant) et de compositions chimiques de divers aliments piscicoles fournies par les producteurs d'aliment (Skretting, Biomar, Le Gouessant), à l'aide d'un module de calcul utilisant la composition chimique moyenne des ingrédients.

4.2. Bar commun et daurade royale

Comme expliqué plus tôt, les échantillons de fermes pour les deux espèces de poissons marins présentent de très faibles effectifs ($n=3$ pour le bar commun et $n=2$ pour la daurade royale). Déterminer des archétypes selon les modes de production, de la même façon que pour la truite arc-en-ciel, n'était donc pas envisageable. Le critère de définition des archétypes a donc été uniquement basé sur les proportions de production des différents calibres (tab. 2). Ces proportions ont été déterminées d'après les entretiens menés et des échanges avec le CIPA et d'autres professionnels.

Tableau 2 : Proportions (%) de production des calibres de bar commun et de daurade royale

	<i>Bar commun</i>	<i>Daurade royale</i>
<i>Calibre 1 (350-500 g)</i>	55	32
<i>Calibre 2 (600-800 g)</i>	24	49
<i>Calibre 3 (>1 kg)</i>	21	19

Le calibre majoritaire a été choisi pour chaque espèce. Deux archétypes ont ainsi été définis :

- Bar C1 : « production de bar commun de calibre 1 »
- Daurade C2 : « production de daurade royale de calibre 2 »

Les valeurs des variables de chaque archétype ont été calculées selon les mêmes méthodes que pour les archétypes de truite arc-en-ciel.

5. Analyses du cycle de vie

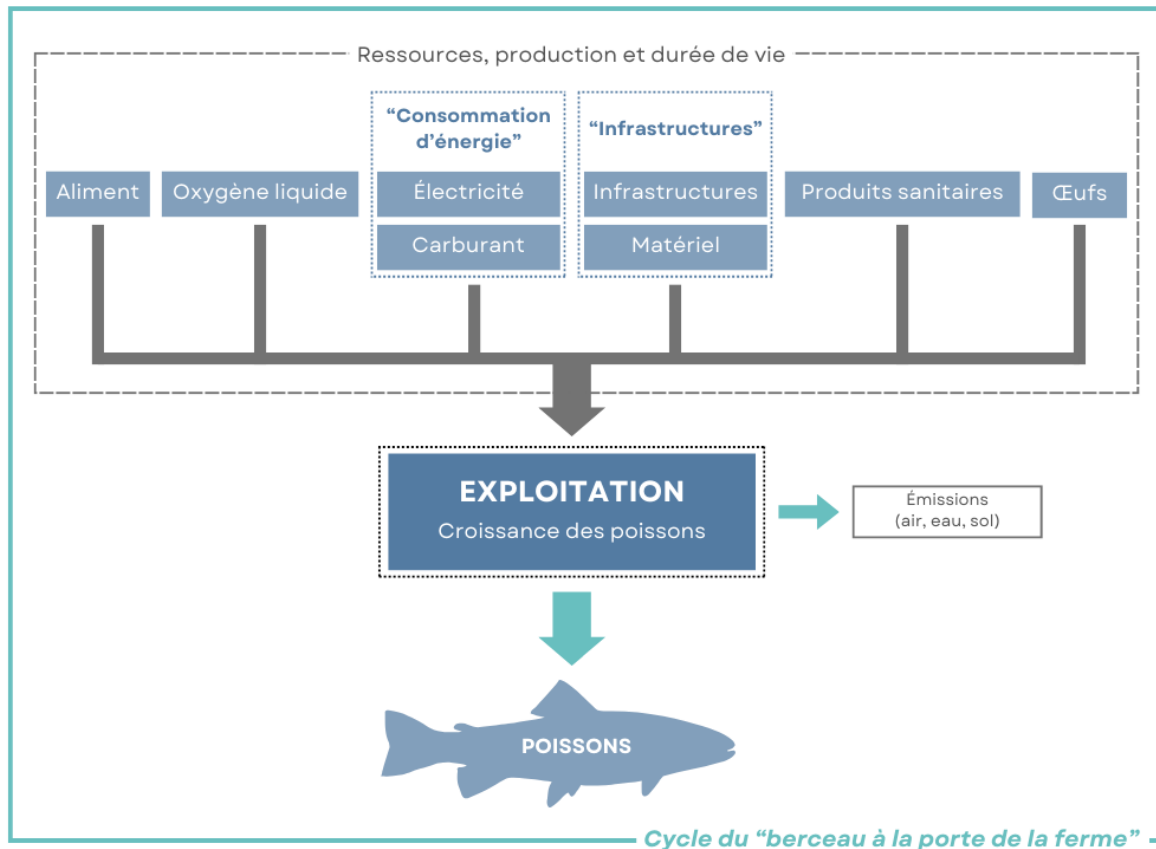


Figure 4 : Schéma du cycle de vie « *from cradle to farm gate* » considéré lors des Inventaires du Cycle de Vie (ICV) des différents archétypes (source personnelle)

Les ICV ont été modélisées sur le logiciel MEANS-InOut, dans un contexte de décision « aide à la décision, niveau micro-économique » pour réaliser une Analyse du Cycle de Vie (ACV) attributionnelle. Le cadre d'étude a été défini sur le cycle « *from cradle to farm gate* » (« du berceau à la porte de la ferme ») : les étapes de conditionnement, de transport, de transformation, d'emballage et de distribution ne sont donc pas prises en compte (fig. 4).

Les ICV ont ensuite été importées sur le logiciel SimaPro afin de réaliser des ACV ayant pour unité fonctionnelle un kilogramme de poisson produit. Les ACV ont été effectuées selon la méthode PEF (*Product Environmental Footprint*), recommandée par la Commission Européenne dans le cadre de la démarche d'affichage environnemental. Il s'agit également de la méthode utilisée pour la base de données AGRIBALYSE. La méthode PEF donne des résultats pour seize indicateurs environnementaux, qui sont les suivants :

- | | |
|--|--|
| ▪ Changement climatique | ▪ Acidification |
| ▪ Appauvrissement de la couche d'ozone | ▪ Eutrophisation terrestre |
| ▪ Toxicité humaine, cancer | ▪ Eutrophisation d'eau douce |
| ▪ Toxicité humaine, hors cancer | ▪ Eutrophisation marine |
| ▪ Particules fines | ▪ Écotoxicité en eau douce |
| ▪ Radiations ionisantes HH | ▪ Usage des terres |
| ▪ Radiations ionisantes E | ▪ Ressources en eau |
| ▪ Formation photochimique d'ozone | ▪ Ressources énergétiques et minérales |

Les résultats de ce travail seront présentés pour six de ces indicateurs : l'acidification, le changement climatique, les eutrophisations marine et d'eau douce, l'usage des terres et les ressources en eau.

Les résultats des quatre archétypes de production de truite arc-en-ciel ont été comparés avec ceux des ICV AGRIBALYSE « *Small trout, conventional* » et « *Large trout, conventional* ». Les archétypes de bar commun et de daurade royale ont été comparés avec les résultats de l'ICV AGRIBALYSE « *Sea Bass or Sea Bream, conventional* ».

6. Étude de sensibilité

La réalisation de « tests de sensibilité » pour chaque archétype a semblé pertinente afin d'approfondir cette étude, notamment pour les archétypes de poissons marins compte tenu des faibles effectifs des échantillons. L'objectif de cette étape est d'étudier l'importance des variations des résultats (scores des indicateurs) en fonction des variations de certains paramètres.

Des variations de plus ou moins 5 % ont été appliquées aux paramètres les plus influents selon la littérature scientifique : l'IC, l'électricité, le carburant (gazole et essence) et l'oxygène liquide. Ces trois derniers paramètres ont été considérés comme un ensemble « énergétique ». Chacun d'entre eux a été modifié de $\pm 5\%$ pour la réalisation d'une ACV unique.

Quatre nouvelles ACV ont été réalisées pour chaque archétype : « Énergie – 5 % », « Énergie + 5 % », « IC – 5 % » et « IC + 5 % ». Des écarts-types correspondant aux scores des indicateurs selon la variation de $\pm 5\%$ du paramètre considéré ont ainsi été obtenus. Les résultats (en « score unique ») se sont avérés difficilement représentables graphiquement (histogrammes disponibles en annexe 10). En réponse à ce manque de lisibilité, un traitement statistique a donc été effectué sur RStudio afin de permettre l'interprétation. Comparer les écarts-types en eux-mêmes ne permettait pas de prendre en compte les différences des scores selon les archétypes et les indicateurs. L'objectif étant de comparer l'importance de la variation des différents scores selon les variations d'énergie et d'IC, il a été nécessaire de représenter le « poids » de l'écart-type par rapport au score associé. Les pourcentages correspondants ont été calculés (en valeurs absolues, égales pour les variations de $\pm 5\%$ d'un même paramètre) et ont ainsi servi lors de la réalisation des tests statistiques.

Une comparaison des effets de l'énergie et de l'IC sur les variations des scores a été réalisée avec un test de Wilcoxon-Mann-Whitney. La sensibilité des indicateurs et des archétypes aux variations d'IC et d'énergie ont respectivement été étudiées à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis, suivi d'un test de Dunn en cas de *p-value* inférieure à 0,05. La significativité des différences entre les moyennes des variations dues à l'IC et celles dues à l'énergie a été observée en amont par un test de Wilcoxon-Mann-Whitney, pour les indicateurs comme pour les archétypes.

III. Résultats

1. Truite arc-en-ciel

1.1. Traitement statistique

Analyse en Composantes Principales

Tableau 3 : Résultats de l'Analyse en Composantes Principales (importance des composantes)

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Déviation standard	1.6004	1.0900	0.9409	0.8279	0.61708	0.54676
Proportion de la variance	0.4269	0.1980	0.1475	0.1142	0.06347	0.04982
Proportion cumulative	0.4269	0.6249	0.7725	0.8867	0.95018	1.00000

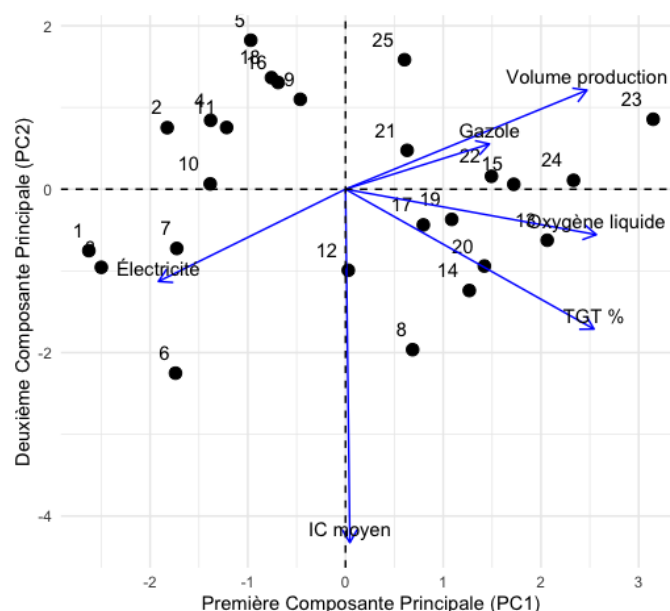


Figure 5 : Cercle des corrélations de l'ACP représentant les variables et les individus

Les deux premières composantes principales expliquent environ 63% de la variance (PC1 : 43% ; PC2 : 20%) (tab. 3).

La première composante principale (PC1) est essentiellement influencée par le volume de production (*loading* de 0,49), par la production de très grande truite (*loading* de 0,51) et par la quantité d'oxygène liquide consommée (*loading* de 0,51). Elle est également influencée négativement par la consommation d'électricité (*loading* de -0,38) (fig. 5).

La deuxième composante principale (PC2) est très fortement et négativement liée à l'IC moyen (*loading* de -0,87) et dans une moindre mesure à la production de très grande truite (*loading* de -0,34) (fig. 5).

Clustering d'après la Classification Ascendante Hiérarchique

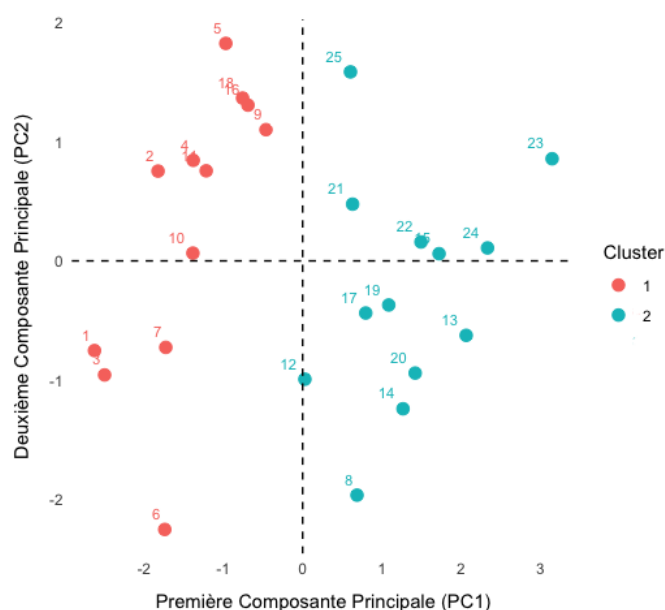


Figure 6 : Graphique de l'ACP représentant les individus selon leur *cluster* hiérarchique

La figure 6 montre une séparation des *clusters* par un axe plutôt vertical, ce qui indique que la première composante principale (PC1) est très majoritairement à l'origine de ce *clustering*. Le *cluster* 2 suit les influences de PC1, et le *cluster* 1 tend à s'y opposer. L'IC moyen n'est pas une variable discriminante.

La séparation des *clusters* s'opère entre les individus 11 et 12 (130 et 140 tonnes de productions respectives), avec deux « anomalies » (16 et 18) au sein du *cluster* 1.

Les individus 16 et 18 prennent des valeurs très similaires pour toutes les variables (ils sont d'ailleurs très proches dans le nuage de points). Leur appartenance au *cluster* 1 s'explique principalement par la faible production de TGT (respectivement 5 % et 10 %). Compte-tenu de leurs volumes de production (respectivement 240 et 250 tonnes), il paraît plus intéressant de considérer les exploitations 16 et 18 comme faisant partie du groupe GP (« Grande Production »), associé au *cluster* 2.

Étude statistique des groupes formés

Tableau 4 : Résultats (*p-values*) du test de Wilcoxon-Mann-Whitney en fonction des variables

	<i>p-value</i>
<i>Volume de production</i>	7.166e-05
<i>IC moyen</i>	0.3871
<i>Oxygène liquide</i>	0.001782
<i>Production de TGT</i>	0.0004089
<i>Gazole</i>	0.5218
<i>Électricité</i>	0.02709

Les différences de moyennes entre les groupes PP et GP sont toutes significatives à l'exception des variables « IC moyen » et « Gazole » ($p\text{-value} > 0,05$) (tab. 4).

Il est important de noter que les écarts-types obtenus sur RStudio lors de l'analyse des groupes sont conséquents. En plus du test de Wilcoxon-Mann-Whitney, il semble donc intéressant de se pencher sur la distribution des données des groupes PP et GP pour chaque variable.

Le retrait d'un individu extrême (23) du groupe GP a été effectué pour les *boxplots* de la variable « Gazole » afin d'en améliorer la lisibilité. La donnée originelle entrée dans le questionnaire était très probablement erronée (trop élevée).

Les *boxplots* reflètent bien les résultats du test de Wilcoxon-Mann-Whitney en termes de significativité, notamment pour les variables « Gazole » et « IC moyen » (les médianes sont proches et les boîtes se chevauchent largement) (fig. 7b et 7c).

La variabilité des groupes paraît assez similaire pour la variable « Oxygène liquide ». Les groupes ne paraissent pas non plus présenter de différences très importantes dans leurs valeurs centrales (positions des médianes assez similaires) (fig. 7d).

La variabilité des données semble toutefois plus importante au sein du groupe GP pour les variables « Volume de production » et « Pourcentage de production de TGT », ce qui s'explique en observant les valeurs prises par les individus de chaque groupe. De plus, les positions des médianes sont assez différentes pour la variable « Pourcentage de production de TGT », et indiquent une distribution des données plus équilibrée autour de la médiane pour le groupe GP que pour le groupe PP (très forte variabilité au-dessus de la médiane) (fig. 7e et 7f).

Les *boxplots* de la variable « Électricité » montrent une variabilité plus importante et une distribution plus équilibrée autour de la médiane pour le groupe PP (fig. 7a).

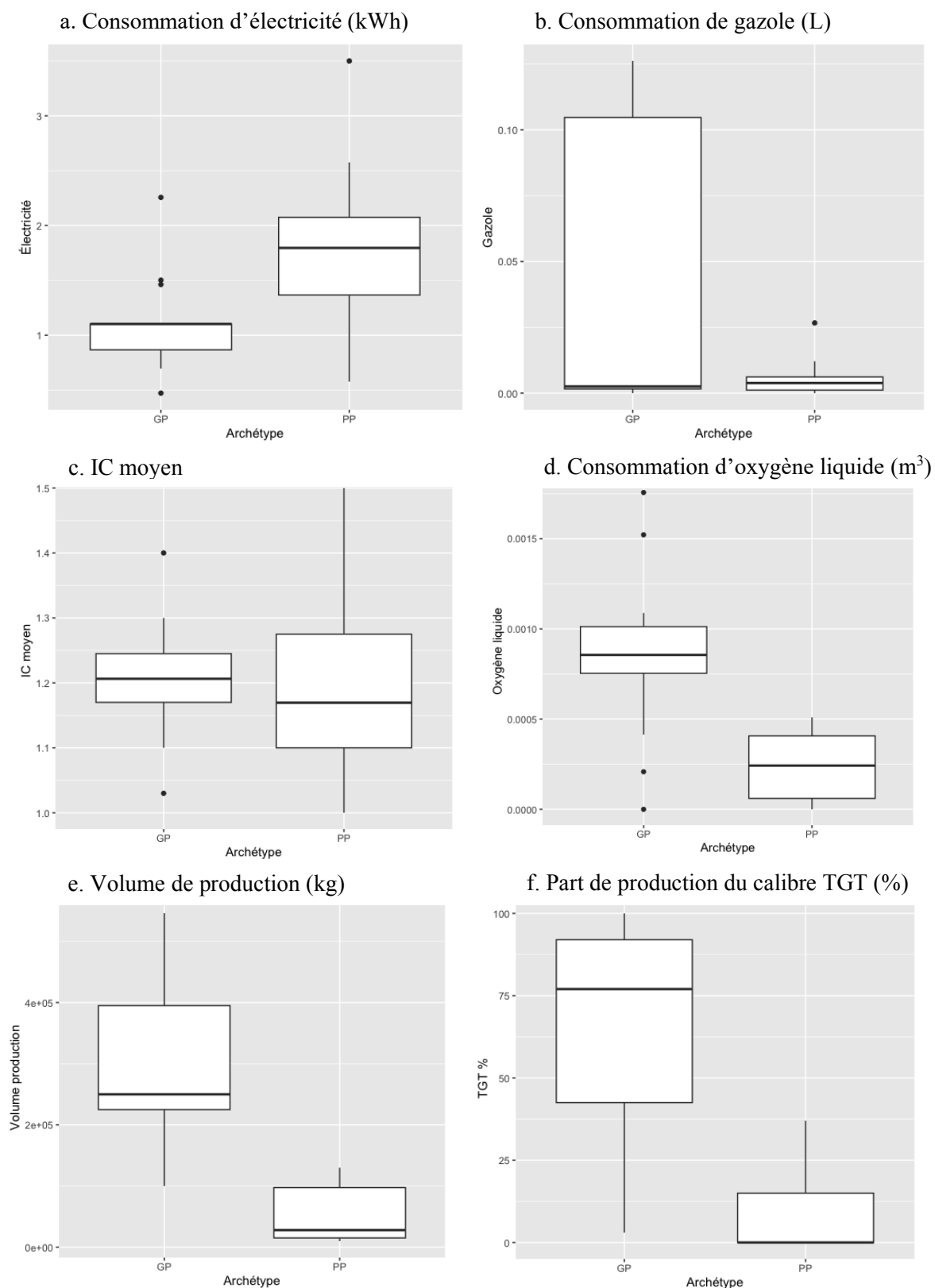


Figure 7 : Boxplots représentant la distribution des données des groupes PP et GP par variable (valeurs pour 1 kg de poisson produit)

1.2. Archétypes

Les tableaux complets détaillés des archétypes de truite arc-en-ciel sont à retrouver en annexes (4-7).

Tableau 5 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de truite portion en petite production"

PP-TP		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production (TP)</i>	26,52	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,2		Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	1330	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Décision arbitraire
<i>Électricité</i>	54215	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	727	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	8	m ³	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	210	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	248	j	Jeu de données
<i>Poids TP</i>	292	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	573	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	29164	kg	Jeu de données

Tableau 6 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de grande truite en petite production"

PP-GT		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production (GT)</i>	20,8	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,2		Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	1043,2	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Décision arbitraire
<i>Électricité</i>	72138	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	967	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	11	m ³	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	210	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	248	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production GT</i>	319	j	Jeu de données
<i>Poids GT</i>	1375	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	101	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	5125	kg	Jeu de données
<i>Aliment 400-1800g</i>	21041	kg	Jeu de données

Tableau 7 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de truite portion en grande production"

GP-TP		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production (TP)</i>	58,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,21		Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	872,8	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Jeu de données
<i>Électricité</i>	68476,3	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	7838,2	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	53,2	m ³	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	150	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	240	j	Jeu de données
<i>Poids TP</i>	290	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	9502	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	43245	kg	Jeu de données

Tableau 8 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de très grande truite en grande production"

GP-TGT		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production (TGT)</i>	211,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,21		Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	3169,6	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Jeu de données
<i>Électricité</i>	478225,3	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	54740,2	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	371,3	m ³	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	150	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	240	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production GT</i>	135	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TGT</i>	225	j	Jeu de données
<i>Poids TGT</i>	2900	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	3730	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	16978	kg	Jeu de données
<i>Aliment 400-1800g</i>	80655	kg	Jeu de données
<i>Aliment 1800-2500g</i>	160213	kg	Jeu de données

2. Bar commun

Le tableau complet détaillé de l'archétype est à retrouver en annexe 8.

Tableau 9 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de bar commun de calibre 1 (350-500 g)"

Bar commun – Calibre 1 (C1)		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production</i>	122,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	2		Jeu de données
<i>Mortalité moyenne</i>	13,85	%	Jeu de données
<i>Nombre de cages</i>	35,8	p	Jeu de données
<i>Électricité</i>	54627	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	2310	L	Jeu de données
<i>Essence</i>	13460	L	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	60	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C1</i>	727,5	j	Jeu de données
<i>Poids C1</i>	450	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage/pré-grossissement</i>	7899	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C1</i>	252071	kg	Jeu de données

3. Daurade royale

Le tableau complet détaillé de l'archétype est à retrouver en annexe 9.

Tableau 10 : Valeurs déterminées pour l'archétype "production de daurade royale de calibre 2 (600-800 g)"

Daurade royale – Calibre 2 (C2)		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production</i>	202,4	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,96		Jeu de données
<i>Mortalité moyenne</i>	6,3	%	Jeu de données
<i>Nombre de cages</i>	27,1	p	Jeu de données
<i>Électricité</i>	87579	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	7406	L	Jeu de données
<i>Essence</i>	8177	L	Jeu de données
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	50	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C1</i>	475	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C2</i>	322	j	Jeu de données
<i>Poids C2</i>	700	g	Jeu de données
<i>Aliment alevinage/pré-grossissement</i>	9034	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C1</i>	271586	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C2</i>	160492	kg	Jeu de données

4. Analyses du Cycle de Vie

4.1. Archétypes des espèces étudiées

L'acidification et le changement climatique sont principalement causés par l'aliment piscicole (respectivement 71 % et 65 % en moyenne) et, dans une moindre mesure, par la consommation d'énergie (13 % et 16 %) et d'oxygène liquide (10 % et 11 %) (particulièrement pour l'archétype GP_TGT : 25 % en moyenne) (fig. 8 et 9). L'aliment est le plus fort contributeur à l'usage des terres (96 %) (fig. 12). L'eutrophisation marine est causée à 81 % par les émissions directes en azote des sites de production et, de façon moins marquée (16 %), par l'aliment piscicole (fig. 10). Une différence notable s'observe pour l'eutrophisation d'eau douce entre les archétypes de truite arc-en-ciel (contribution à 91 % des émissions directes de phosphore) et ceux des poissons marins (contribution à 79 % de l'aliment) (fig. 11). L'indicateur « Ressources en eau » paraît être influencé presque uniquement par la production d'œufs (95 %) pour les archétypes de truite arc-en-ciel, et majoritairement par l'aliment (79 %) pour les archétypes de bar commun et de daurade royale (fig. 13) (un graphique avec une meilleure lisibilité est présenté par la suite (fig. 25)).

La production de bar et de daurade a un impact presque systématiquement plus important que la production de truite arc-en-ciel, excepté pour les indicateurs « eutrophisation d'eau douce » et « ressources en eau » (fig. 11 et 13).

Les archétypes de bar commun et de daurade royale présentent des résultats plutôt similaires, tant en termes d'impacts totaux que de proportions des facteurs à l'origine de ces derniers. Il est toutefois intéressant de noter que, malgré un calibre plus petit (calibre 1), l'impact de la production de bar C1 dépasse celui de la daurade C2 à plusieurs reprises (fig. 8, 9, 11 et 12), notamment car les impacts liés aux infrastructures et à la consommation d'énergie sont plus importants (fig. 8 et 9).

Quant aux archétypes de truite arc-en-ciel, les résultats montrent, à l'exception de l'indicateur « Ressources en eau » (fig. 13), que la production d'un calibre supérieur au sein d'un même modèle de production (PP ou GP) engendre un impact plus fort.

Par ailleurs, l'archétype PP_TP crée un impact plus grand que GP_TP, sauf pour le changement climatique. Le même constat peut être fait pour l'archétype PP_GT. La production d'un même calibre au sein d'une « petite exploitation » semble ainsi plus impactante qu'au sein d'une « grande production » (fig. 8, 10, 11 et 12).

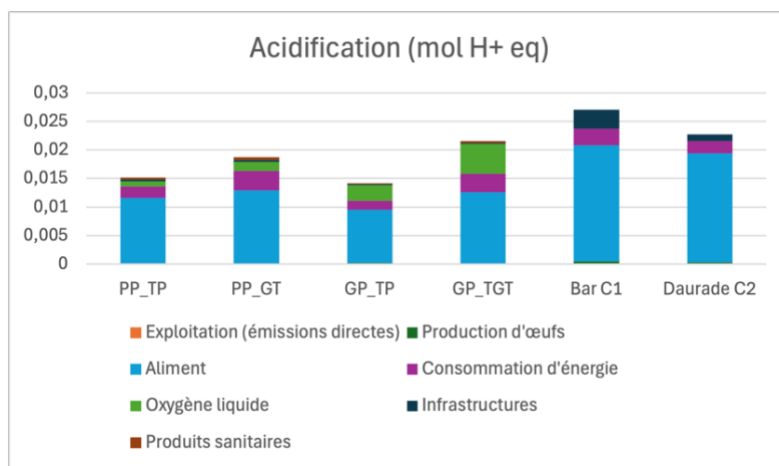


Figure 8 : Histogramme des scores d'acidification (mol H+ eq) par archétype

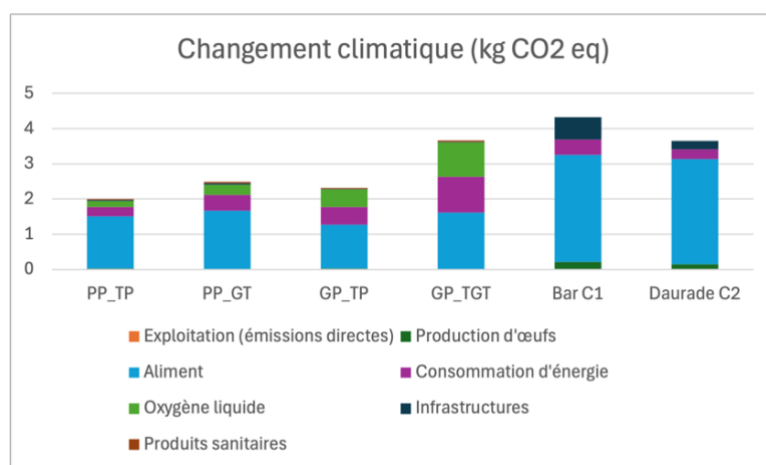


Figure 9 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO₂ eq) par archétype

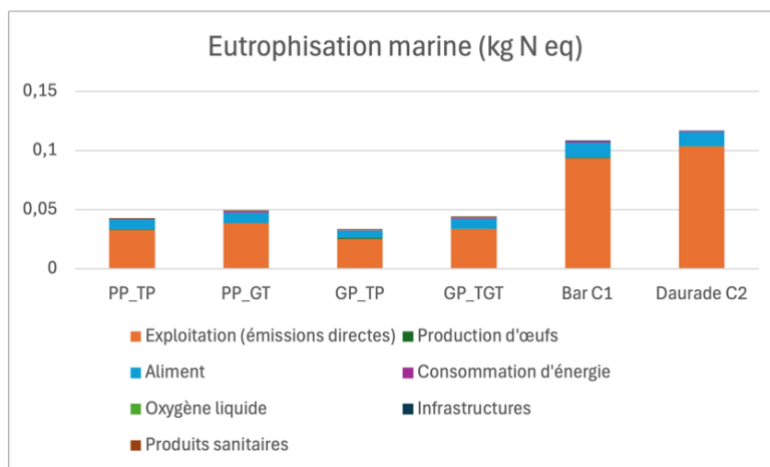


Figure 10 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype

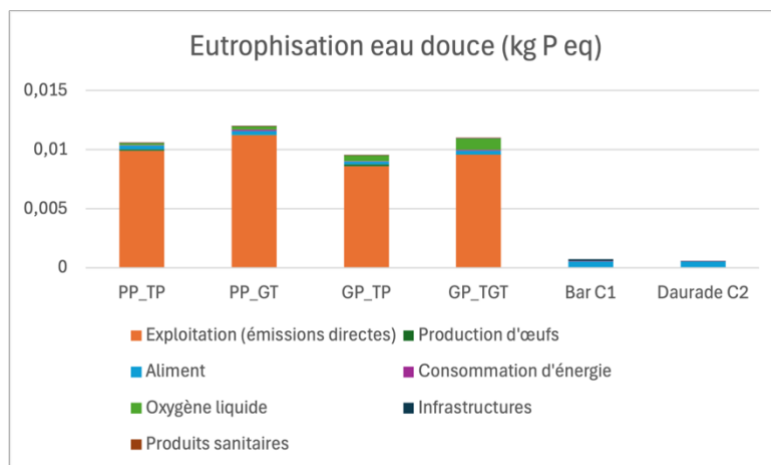


Figure 11 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype

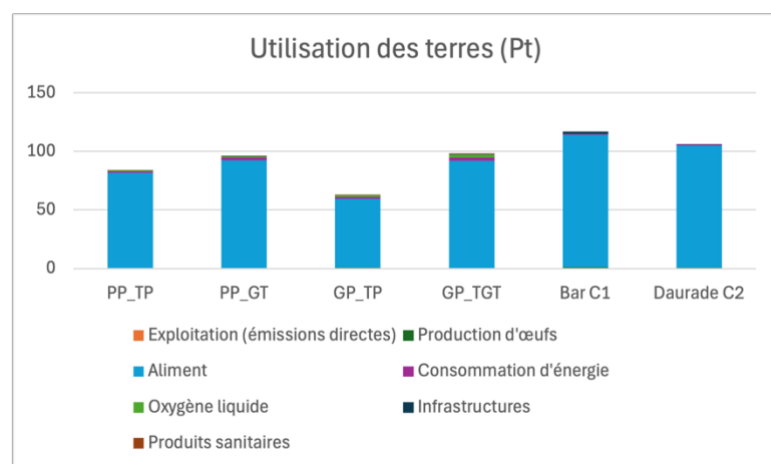


Figure 12 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype

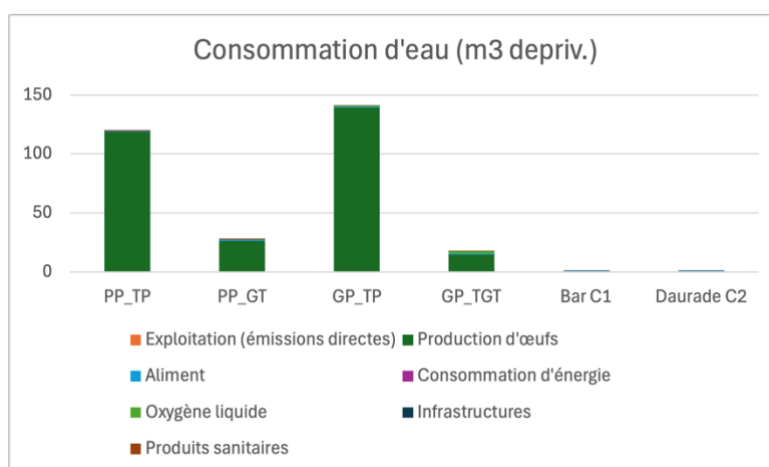


Figure 13 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m³ depriv.) par archétype

4.2. Comparaison avec les données AGRIBALYSE

Truite arc-en-ciel

Les poids correspondant à « *Large trout* » et « *Small trout* » sont respectivement 2-4kg et 250-350g. Il convient donc de comparer « *Large trout* » à la TGT (2,9kg) et « *Small trout* » à la TP (environ 290g).

Les résultats obtenus pour GP_TGT sont généralement supérieurs ou assez semblables à ceux de « *Large trout* ». La proportion d'impact causé par la production d'œufs semble plutôt similaire (fig. 19). Les contributions de l'aliment et des émissions directes d'azote du site paraissent toutefois généralement similaires sinon légèrement plus faibles pour GP_TGT que pour « *Large trout* » (fig. 14, 15 et 16), sauf pour l'usage des terres (fig. 18). Les scores plus élevés de l'archétype GP_TGT (acidification, changement climatique et eutrophisation d'eau douce) s'expliquent par des consommations d'énergie et d'oxygène liquide sensiblement plus hautes (respectivement 4,8 et 2,6 fois plus importantes) (fig. 14, 15 et 17).

La comparaison des archétypes PP_TP et GP_TP avec « *Small trout* » donne lieu aux mêmes observations (paragraphe précédent).

Bar commun et daurade royale

Les résultats des archétypes de cette étude sont nettement plus influencés par la consommation d'énergie et les infrastructures que ceux d'AGRIBALYSE pour différents indicateurs (acidification, changement climatique, eutrophisation d'eau douce et ressources en eau) (fig. 20, 21, 23 et 25). Les impacts de l'aliment et de la production d'œufs sont relativement similaires entre les trois modèles (fig. 23, 24 et 25). L'impact de l'aliment des archétypes est toutefois plus faible que celui du modèle d'AGRIBALYSE pour les indicateurs d'acidification et de changement climatique (fig. 20 et 21). Les émissions directes d'azote influencent drastiquement plus (environ deux fois plus) le modèle d'AGRIBALYSE que les archétypes modélisés (fig. 22).

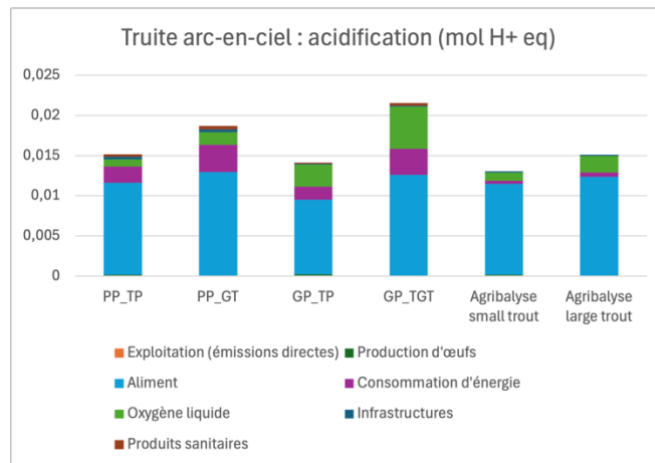


Figure 14 : Histogramme des scores d'acidification (mol H+ eq) par archétype de truite arc-en-ciel

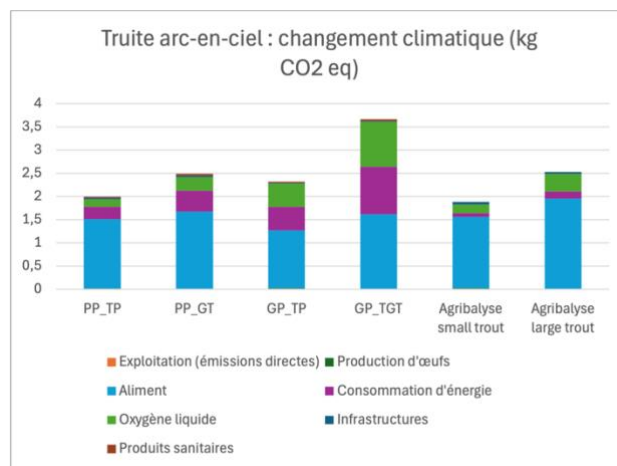


Figure 15 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO₂ eq) par archétype de truite arc-en-ciel

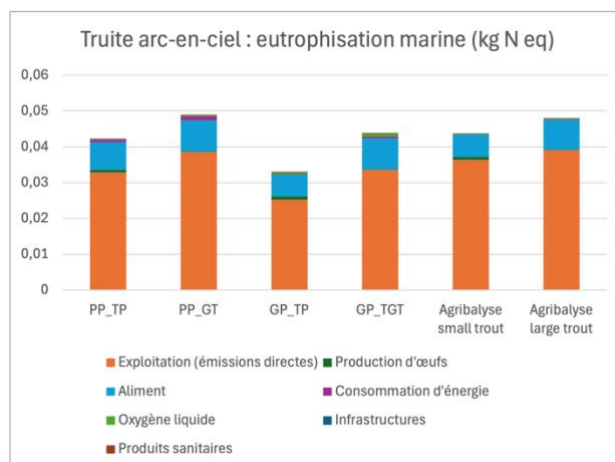


Figure 16 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype de truite arc-en-ciel

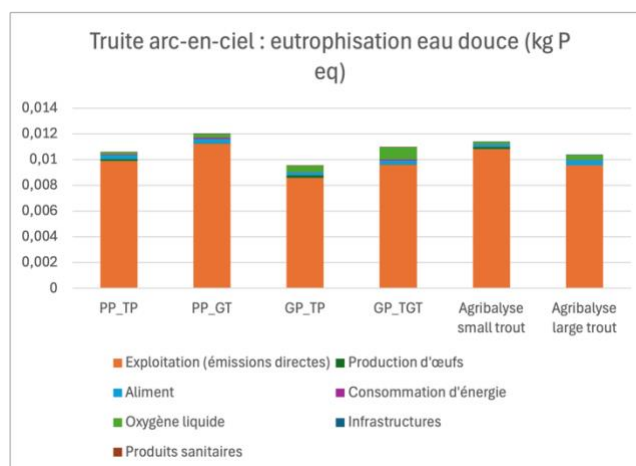


Figure 17 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype de truite arc-en-ciel

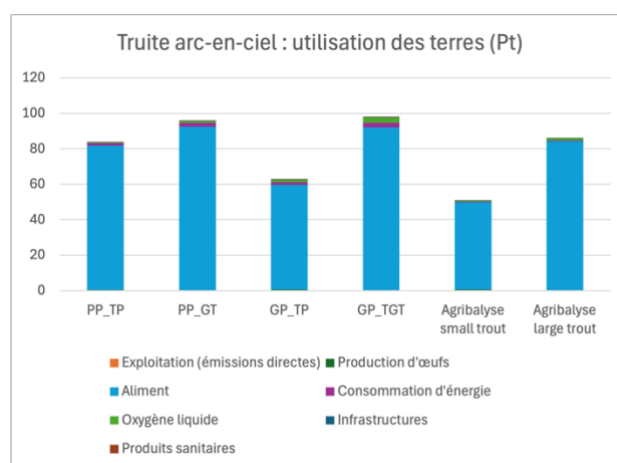


Figure 18 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype de truite arc-en-ciel

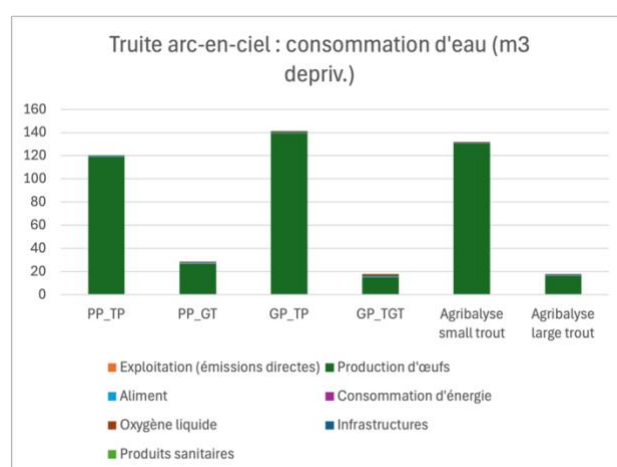


Figure 19 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m³ depriv.) par archétype de truite arc-en-ciel

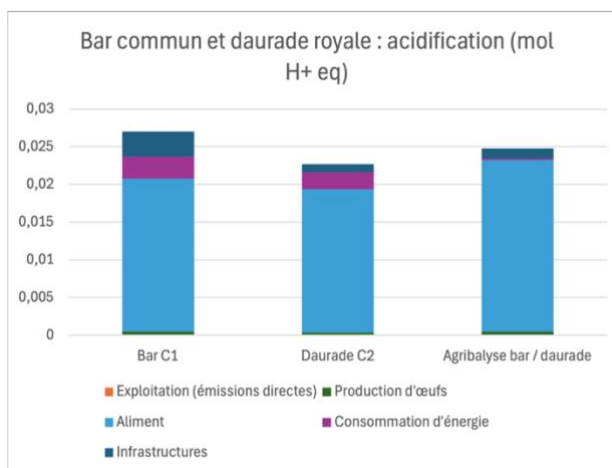


Figure 20 : Histogramme des scores d'acidification (mol H+ eq) par archétype de poissons marins

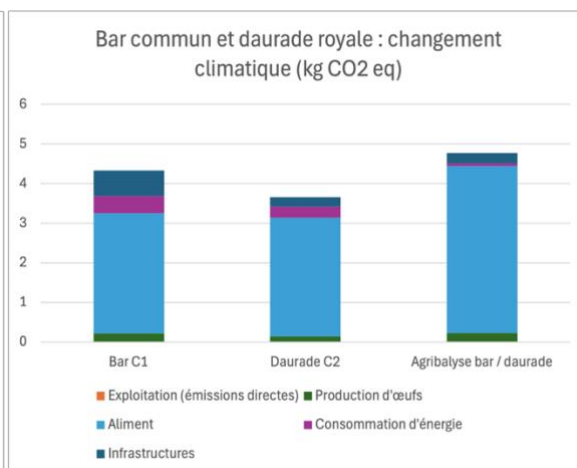


Figure 21 : Histogramme des scores de changement climatique (kg CO₂ eq) par archétype de poissons marins

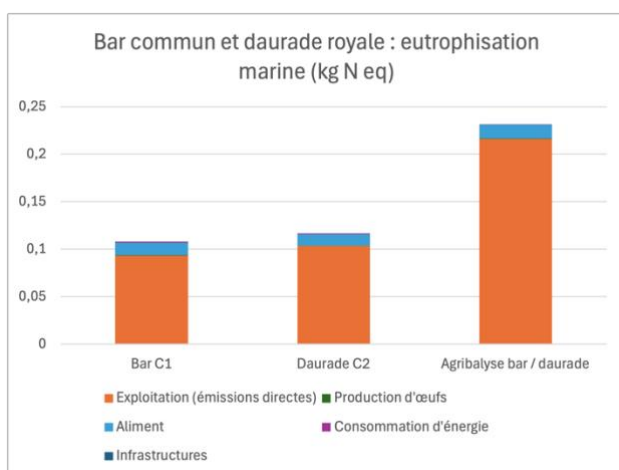


Figure 22 : Histogramme des scores d'eutrophisation marine (kg N eq) par archétype de poissons marins

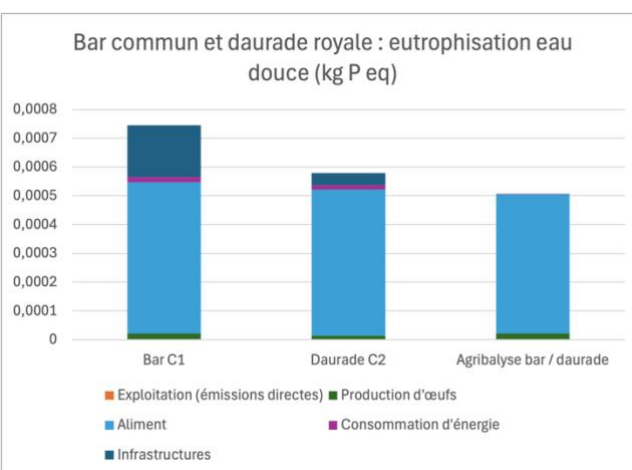


Figure 23 : Histogramme des scores d'eutrophisation d'eau douce (kg P eq) par archétype de poissons marins

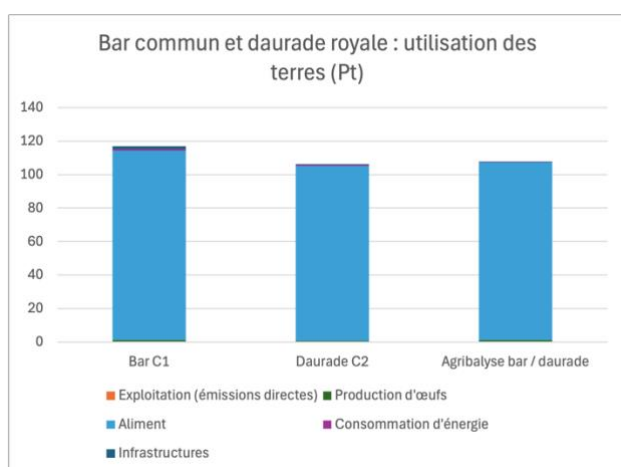


Figure 24 : Histogramme des scores d'usage des terres (Pt) par archétype de poissons marins

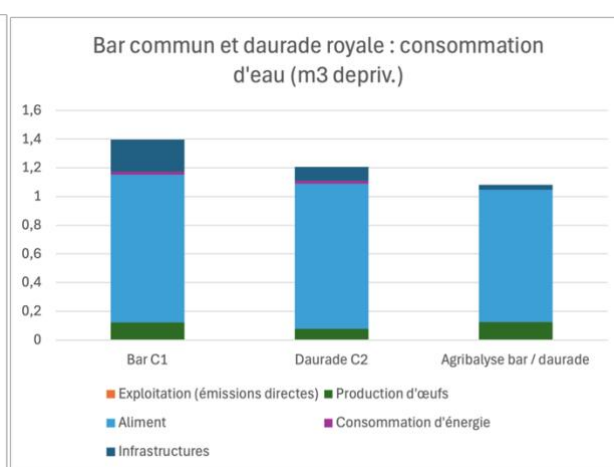


Figure 25 : Histogramme des scores de consommation des ressources en eau (m³ depriv.) par archétype de poissons marins

5. Étude de sensibilité

Comparaison des effets de l'énergie et de l'IC sur les variations des scores

En moyenne, tous indicateurs et tous archétypes confondus, une variation de l'IC de $\pm 5\%$ fait varier les scores de $\pm 2,53\%$. Une variation de $\pm 5\%$ de l'énergie fait, quant à elle, varier les scores de $\pm 0,52\%$. La différence entre ces moyennes est significative d'après le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2.528\text{e-}07$). L'IC influence significativement plus les scores des indicateurs que la consommation d'électricité, de carburant et d'oxygène liquide.

Sensibilité des indicateurs aux variations d'IC et d'énergie

Variations moyennes des scores des archétypes par indicateur

Tableau 11 : Moyennes des valeurs absolues des variations des scores des archétypes (%) par indicateur selon les variations ($\pm 5\%$) de l'énergie et de l'IC

<i>Indicateur</i>	<i>Énergie</i>	<i>IC</i>
<i>Acidification</i>	1,14	3,56
<i>Changement climatique</i>	1,39	3,26
<i>Eutrophisation marine</i>	0,10	0,80
<i>Eutrophisation d'eau douce</i>	0,22	1,40
<i>Usage des terres</i>	0,14	4,80
<i>Ressources en eau</i>	0,14	1,37

Selon le test de Wilcoxon-Mann-Whitney, les moyennes des variations dues à l'IC et à l'énergie présentent des différences significatives pour les indicateurs suivants : acidification, eutrophisation marine et usage des terres ($p\text{-values}$ de 0,03). L'IC est 3 à 34 fois plus influent que l'énergie pour ces indicateurs.

Sensibilité aux variations d'énergie

D'après le test de Kruskal-Wallis, les variations des scores dues à l'énergie sont significativement différentes entre les indicateurs ($p\text{-value}$ de 0.0002838). Selon le test de Dunn ($p\text{-values}$ ajustées par la méthode de correction Benjamini-Hochberg), l'acidification présente des différences significatives avec l'eutrophisation marine, les ressources en eau et l'usage des terres ($p\text{-values}$ respectives : 0,007 ; 0,008 ; 0,01). Le changement climatique présente des différences significatives avec les trois mêmes indicateurs ($p\text{-values}$ respectives : 0,007 ; 0,01 ; 0,01).

Sensibilité aux variations d'IC

D'après le test de Kruskal-Wallis, les variations des scores dues à l'IC sont significativement différentes entre les indicateurs ($p\text{-value}$ de 0.0007871). Selon le test de Dunn ($p\text{-values}$ ajustées), l'usage des terres présente des différences significatives avec l'eutrophisation marine, l'eutrophisation d'eau douce et les ressources en eau ($p\text{-values}$ respectives : 0,002 ; 0,002 ; 0,003).

Sensibilité des archétypes aux variations d'IC et d'énergie

Variations moyennes des scores des indicateurs par archétype

Tableau 12 : Moyennes des valeurs absolues des variations des scores des indicateurs (%) par archétype selon les variations ($\pm 5\%$) de l'énergie et de l'IC

<i>Archétype</i>	<i>Énergie</i>	<i>IC</i>
<i>PP_TP</i>	0,39	2,24
<i>PP_GT</i>	0,57	2,13
<i>GP_TP</i>	0,73	1,95
<i>GP_TGT</i>	1,03	1,85
<i>Bar</i>	0,22	3,31
<i>Daurade</i>	0,19	3,71

Selon le test de Wilcoxon-Mann-Whitney, les moyennes des variations dues à l'IC et à l'énergie présentent des différences significatives uniquement pour les archétypes Bar et Daurade (*p-values* de 0,03). L'IC est respectivement 15 et 19,5 fois plus influent que l'énergie pour ces deux archétypes.

Sensibilité aux variations d'énergie et d'IC

D'après le test de Kruskal-Wallis, les variations des scores dues à l'énergie et à l'IC ne sont pas significativement différentes entre les archétypes (*p-values* respectives de 0.1502 et 0.2432).

IV. Discussion

1. Données collectées

La plus grande limite de ce travail provient sans doute du jeu de données obtenu pour sa réalisation. Les effectifs des fermes considérées sont très bas, surtout rapportés au nombre de sites de production en France. La truiticulture compte, par exemple, environ 600 sites selon le CIPA : l'échantillon utilisé couvre seulement 4 % de ce nombre. Il présentait malgré tout un éventail de types de production (« artisanales » et « industrielles ») qui ont ainsi pu être représentées. En ce qui concerne les piscicultures marines, les effectifs ($n=2$ et $n=3$) sont d'autant plus faibles. Bien que les fermes aient été choisies afin de limiter le manque de représentativité (les résultats obtenus sont d'ailleurs assez cohérents), cette question se doit absolument d'être posée. De plus, comme mentionné en amont, un seul site de production français représente près de 40 % de la production nationale de bar commun et de daurade royale. Son système d'élevage atypique n'a pas été considéré dans cette étude : il devra l'être par la suite.

La collecte de données, étape primordiale de la réalisation d'ACV, est souvent difficile, particulièrement dans le domaine de l'aquaculture (Simard, Le Gouvello 2017). Toutefois, il est possible d'employer des outils statistiques afin de produire des résultats plus robustes, malgré un échantillon de faible effectif (Chen et al. 2015). De meilleurs effectifs ou un traitement statistique de ce type permettront, à l'avenir, l'obtention de résultats plus fiables.

2. Traitement statistique

Les résultats de l'ACP et du clustering ont confirmé les hypothèses de départ : les exploitations à forte production, pouvant s'apparenter à des systèmes de production intensive et plus industrialisée, tendent à produire de la très grande truite en majorité et à consommer une plus grande quantité d'oxygène liquide. Une consommation plus importante de gazole (par kg de produit) les caractérise également. Les fermes à faible production semblent cependant consommer d'avantage d'électricité (par kg de produit). L'IC moyen n'a pas particulièrement influencé la formation des groupes PP et GP. Toutefois, il a été observé lors de la construction des archétypes que, pour un même stade d'élevage, la conversion alimentaire était meilleure au sein du groupe GP. Le fait que l'IC moyen n'ait pas été un facteur discriminant peut s'expliquer par les proportions de production des différents calibres : l'IC d'une très grande truite est systématiquement plus élevé que celui d'une truite portion. La TGT étant le calibre produit en écrasante majorité par les exploitations du groupe GP, il est probable que leurs plus hautes performances d'IC aient été effacées par le calcul d'un IC moyen. Il serait donc intéressant de réitérer un traitement statistique en prenant en compte les IC de chaque stade d'élevage.

3. Construction des archétypes

Les archétypes créés peuvent, bien sûr, être discutés vis-à-vis de la méthodologie de calcul (équations et formules utilisées, approximations et remplacement des données manquantes des individus par les moyennes des sous-groupes). Le choix des infrastructures et du matériel s'est en partie fait selon des dires d'experts, et la définition des volumes de produits sanitaires ne s'est basée que sur les entretiens et les données de l'étude de Pouil et al. (2024). Il est donc essentiel de considérer les résultats obtenus en prenant ces points en compte.

Par ailleurs, les données d'écloserie utilisées sont celles d'AGRIBALYSE, elles n'ont par conséquent pas été mises à jour. La poursuite de l'étude pourrait bénéficier d'un travail à ce sujet.

4. Analyses du Cycle de Vie

Seuls 6 indicateurs sur les 16 ont été interprétés. Bien que choisis pour leur pertinence, il serait intéressant d'étendre le champ de l'étude à l'intégralité de la liste des différents impacts inclus dans la méthode PEF.

Il n'existe actuellement pas de consensus à propos de la façon d'interpréter les impacts sur les ressources halieutiques, et ce facteur n'est pas pris en compte dans la méthode PEF. Il serait cependant pertinent de s'y intéresser à l'avenir, cet enjeu étant particulièrement important pour la production d'aliment piscicole.

Archétypes modélisés

Les résultats ont montré que l'aliment piscicole était un grand contributeur de divers impacts environnementaux (acidification, changement climatique, usage des terres et ressources en eau), suivi par la consommation d'énergie et d'oxygène liquide (acidification et changement climatique). Commun à tous les archétypes, ce constat est cohérent avec la littérature scientifique (Gephart et al. 2021).

Les différences mises en avant entre les scores des archétypes de truite arc-en-ciel et ceux des poissons marins s'expliquent par les IC plus élevés de ces derniers ainsi que par les différences entre leurs systèmes d'élevage respectifs (bassins à terre et cages en mer).

Il a été observé que les impacts liés aux infrastructures et à la consommation d'énergie sont plus importants pour l'archétype de bar commun que pour celui de la daurade royale. Ce résultat est discutable, compte-tenu des faibles effectifs de sites étudiés, qui induisent une très grande sensibilité de l'archétype aux valeurs d'un site potentiellement atypique. Les infrastructures et le matériel de l'archétype de bar commun ont peut-être été surestimés. Il est aussi nécessaire de garder en tête que ces deux archétypes modélisent la production de calibres différents (350-500 g pour le bar commun et 600-800 g pour la daurade royale).

Les résultats permettent de conclure que la production d'un plus grand calibre de truite arc-en-ciel au sein d'une même exploitation engendre un impact plus fort. La production d'un même calibre (truite portion) donne lieu à des scores généralement plus forts au sein d'une « petite exploitation », excepté pour le changement climatique. Ce point peut trouver une explication dans les meilleures performances d'IC et une meilleure gestion des émissions du site de production, couplées à une consommation d'énergie et d'oxygène liquide plus élevée au sein des fermes plus industrialisées (Aubin, van Der Werf 2009).

La contribution presque exclusive à l'indicateur « Ressources en eau » de la production d'œufs pour les archétypes de truite arc-en-ciel s'explique par une erreur déjà présente dans le processus d'écloserie utilisé (l'eau n'a pas été considérée dans les flux sortants de l'écloserie). Les résultats issus d'AGRIBALYSE retranscrivent cette erreur également, le même processus ayant été sélectionné. Ce constat met ainsi en lumière la nécessité de corriger ce processus sur MEANS-InOut par la suite.

Comparaison avec les résultats issus d'AGRIBALYSE

Les impacts liés à l'aliment semblent avoir diminué, au moins légèrement, pour la production de truite arc-en-ciel depuis la réalisation du travail sur AGRIBALYSE. Ceux liés aux émissions directes d'azote et de phosphore également. La sélection génétique, permettant l'obtention de meilleurs IC, et l'amélioration de la composition des aliments en sont sûrement à l'origine (Kause, Nousiainen, Koskinen 2022). La seule exception à ce constat est l'usage des terres. L'augmentation de la contribution de l'aliment pour cet indicateur est peut-être due aux efforts de changement de composition en ingrédients. La proportion plus importante d'ingrédients végétaux au sein des compositions des aliments piscicoles suggère une mobilisation accrue des surfaces nécessaires à leur production, ce qui aurait bien pour conséquence d'augmenter l'impact de l'aliment sur l'usage des terres.

La raison derrière les scores plus élevés (acidification et changement climatique) obtenus pour les archétypes de truite arc-en-ciel de cette étude est une consommation d'énergie et d'oxygène liquide plus grande. Cette dernière peut s'expliquer par les problématiques auxquelles sont confrontés les pisciculteurs, particulièrement le manque d'eau au cours de la période estivale. L'adoption de la recirculation, partielle ou totale, est de plus en plus fréquente et induit des coûts énergétiques supplémentaires. L'utilisation d'oxygène liquide joue également un rôle compensatoire dans ce contexte.

Il a été observé que l'aliment provoque, selon les résultats des archétypes des poissons marins, un impact moindre pour l'acidification et le changement climatique (impact similaire autrement). Les émissions directes d'azote ont été diminuées de moitié. Ceci peut, une nouvelle fois, laisser penser à une amélioration des IC du bar commun et de la daurade royale depuis l'étude d'AGRIBALYSE.

Les différences d'impact des infrastructures et du matériel entre les archétypes des poissons marins et le modèle d'AGRIBALYSE peuvent s'expliquer par une sous-estimation de ces paramètres lors de la création de ce dernier. Toutefois, les archétypes de cette étude ayant été construits à partir d'échantillons de très faible effectif, il est possible que les résultats ne soient pas représentatifs de la réalité et surestimés (notamment par la prise en compte des véhicules).

La comparaison des archétypes de bar commun et de daurade royale avec un modèle combiné des deux espèces explique peut-être également certaines différences.

5. Étude de sensibilité

Tous archétypes et tous indicateurs confondus, les variations d'IC ont un impact plus important sur les scores et les variations simultanées des consommations d'électricité, de carburant et d'oxygène liquide. L'aliment piscicole et les émissions d'azote et de phosphore étant les paramètres les plus influents sur les indicateurs étudiés, ce résultat n'est pas surprenant et est en accord avec la littérature (Aubin, van Der Werf 2009).

Sensibilité des indicateurs aux variations d'IC et de consommation d'énergie

Les résultats ont montré que l'IC influence significativement plus les impacts d'acidification, d'eutrophisation marine et d'usage des terres que la consommation d'énergie.

Les indicateurs « acidification » et « changement climatique » sont particulièrement sensibles à la consommation d'énergie, et l'indicateur « usage des terres » est très fortement influencé par l'IC. Ces constats sont cohérents avec la littérature ainsi que les graphiques présentés précédemment : l'aliment piscicole représente presque systématiquement la plus grande part des impacts, particulièrement en ce qui concerne l'usage des terres. La consommation d'électricité, de carburant et d'oxygène liquide est, quant à elle, très importante pour les indicateurs « Acidification » et « Changement climatique ». Il est donc logique que les variations de ces paramètres aient le plus d'influence sur les indicateurs mentionnés.

Sensibilité des archétypes aux variations d'IC et de consommation d'énergie

Seuls les archétypes de pisciculture marine (Bar C1 et Daurade C2) sont plus fortement influencés par l'IC que par la consommation d'énergie. Ceci est probablement dû à leur IC plus élevé ainsi qu'à l'absence de l'oxygène liquide dans leur consommation énergétique. Il serait intéressant de poursuivre l'étude à partir d'un plus grand nombre d'observations, afin de réaliser un modèle statistique permettant la mise en avant des indicateurs les plus impactés en fonction des archétypes.

Il est possible de supposer que les archétypes réagissent de manière assez similaire aux variations d'IC et de consommation d'énergie, comme le montrent les résultats statistiques, mais ce constat peut sembler surprenant sur les deux points.

L'« énergie » inclut la consommation d'électricité, de carburant et d'oxygène liquide. Or, ce dernier est nettement moins consommé pour les archétypes de « petite production » de truite arc-en-ciel et pas du tout pour ceux de bar commun et de daurade royale. La réalisation d'une étude similaire à partir d'un jeu de données plus complet permettrait peut-être de mettre en lumière une distinction entre le groupe des archétypes de truite arc-en-ciel et le binôme d'archétypes de poissons marins, ainsi qu'entre les archétypes de « petite » et « grande » productions de truite arc-en-ciel.

L'IC des poissons marins étant plus élevé que celui de la truite arc-en-ciel, il aurait été normal de s'attendre à une différence significative à ce niveau. De même, un jeu de données plus riche pourrait montrer une différence plus marquée entre le groupe des archétypes de truite arc-en-ciel et les archétypes de bar commun et de daurade royale.

V. Conclusion

Le traitement des données en vue de la modélisation des archétypes de truite arc-en-ciel a confirmé les premières suppositions. Il a en effet mis en évidence le volume de production, les proportions de calibres produits et la consommation d'oxygène liquide en tant que paramètres discriminants entre les exploitations plus « artisanales » et celles plus « industrielles ».

Les résultats obtenus par Analyse du Cycle de Vie sont cohérents avec la littérature et les hypothèses de départ, notamment au sujet de l'importance de l'aliment piscicole et des émissions de phosphore et d'azote dans les contributions aux scores des indicateurs des différents paramètres. Ils montrent que l'efficacité alimentaire se serait améliorée depuis une quinzaine d'années, probablement grâce à de meilleures formulations d'aliment mais aussi à la sélection génétique. Ces deux points sont donc d'un intérêt majeur pour la suite du travail. L'étude de sensibilité, en mettant en lumière l'influence majoritaire de l'IC sur les scores des archétypes, appuie d'autant plus cette conclusion.

Le calcul des ACV a également mis en avant la forte contribution de la consommation d'énergie et d'oxygène liquide, particulièrement pour les indicateurs d'acidification et de changement climatique. Cette consommation paraît avoir augmenté depuis la construction des modèles de la base de données AGRIBALYSE. Interprétée comme une conséquence du manque d'eau, surtout en période estivale, cette augmentation pousse à étudier attentivement les systèmes piscicoles en recirculation partielle ou totale.

Enfin, il a été observé que les performances environnementales des « grandes » fermes piscicoles sont fréquemment meilleures que celles des « petites » pour la production d'un même calibre. Ceci confirme que les exploitations plus industrialisées tendent à avoir des IC plus faibles.

Plus généralement, les résultats s'accordent avec la littérature et montrent bel et bien une amélioration de certaines performances environnementales, mais aussi une évolution des contributions des différents paramètres. Cependant, les limites dues aux échantillons de faible effectif ne permettent pas de les considérer comme parfaitement robustes, et appellent à une poursuite du travail à l'aide de jeux de données plus conséquents et plus précis.

Les conclusions tirées de ce mémoire peuvent toutefois servir d'hypothèses solides. Elles auront permis de mettre en lumière les potentiels problèmes et points d'attention, et, ainsi, de formuler des réflexions et des pistes pour les étapes suivantes du projet.

Une consolidation des données d'ACV de pisciculture est nécessaire pour la suite de l'étude, pour les espèces considérées ici et celles qui le seront à l'avenir. Elle pourra également être couplée à l'utilisation d'outils statistiques (*bootstrap sampling* par exemple) qui consolideront les résultats. Une diversification des approches, afin d'élargir le champ d'étude, est prévue et permettra de se pencher sur d'autres espèces produites (particulièrement les poissons d'étangs) et d'autres systèmes d'élevage (systèmes recirculés, aquaponie, production biologique...). Enfin, les résultats ont montré la nécessité d'un travail approfondi sur l'aliment piscicole et sa composition en ingrédients, ainsi que sur l'amélioration des performances d'élevage par sélection génétique.

Références

Bibliographie

AGRESTE, 2023. 2023-8 : *Enquête Aquaculture 2021* [en ligne]. Enquête. Agreste. Chiffres et données. Disponible à l'adresse : https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2308/cd2023-8_Aqua2021.pdf [Consulté le 19 avril 2024].

AGRESTE, 2024. 2024-3 : *Enquête Aquaculture 2022*. Enquête. Agreste. Chiffres et données.

ARAUJO, Glacio Souza, SILVA, José William Alves da, COTAS, João et PEREIRA, Leonel, 2022. Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. *Journal of Marine Science and Engineering*. novembre 2022. Vol. 10, n° 11, pp. 1598. DOI 10.3390/jmse10111598.

AUBIN, Joël, 2014. *Contribution de l'analyse du cycle de vie à l'analyse environnementale des systèmes de pisciculture* [en ligne]. Thèse. Rennes : AGROCAMPUS OUEST. Disponible à l'adresse : <https://theses.hal.science/tel-02810167/> [Consulté le 25 avril 2024].

AUBIN, Joël, 2015. *Comprendre les interactions entre la pisciculture et l'environnement* [en ligne]. Dossier de Candidature à l'Habilitation à Diriger des Recherches. Rennes : Université de Rennes 1. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/tel-02796667> [Consulté le 6 août 2024].

AUBIN, Joël et VAN DER WERF, Hayo, 2009. Pisciculture et environnement : apports de l'analyse du cycle de vie. *Cahiers Agricultures*. 2009. Vol. 18, n° 2-3, pp. 220-226. DOI 10.1684/agr.2009.0287.

AUDEBERT, BITAUD, BORIE, FERRA, BRAUD, BREGEON, CADIEU, CHARRIER, DABBADIE, DELPRAT, ESBELIN, ETCHANDY, FEIGNA, FOEX, GARSİ, GILLET, GLEYE, GRIOT, HAUSARD, HOURDEQUIN, JACQUEMOND, LAZARD, LE GUILLOIS, LEFÈVRE, LOIR, LUCAS, MANACH, MARIOJOULS, MARTIN, MIMOSA, MOLLO, MOREAU, MOREL, PARACHE, RIOCHE, ROSPABÉ, SLEMBROUCK, SOUBEIRAN, SUAT, SUBILEAU, TAVAN, TESSIER et VINCENT, 2008. *Aquaculture*. Vuibert. ISBN 978-2-7117-7191-2.

BESSON, Mathieu, AUBIN, Joël, KOMEN, Hans, POELMAN, Marnix, QUILLET, Edwige, VANDEPUTTE, Marc, ARENDONK, Johan et BOER, I.J.M., 2016. Environmental impacts of genetic improvement of growth rate and feed conversion ratio in fish farming under rearing density and nitrogen output limitations. *Journal of Cleaner Production*. 10 mars 2016. Vol. 116, pp. 100-109. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.12.084.

BOHNES, Florence Alexia, HAUSCHILD, Michael Zwicky, SCHLUNDT, Jørgen et LAURENT, Alexis, 2019. Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture*. 2019. Vol. 11, n° 4, pp. 1061-1079. DOI 10.1111/raq.12280.

BOURRE, Jean-Marie et PAQUOTTE, Philippe, 2008. Contributions (in 2005) of marine and fresh water products (finfish and shellfish, seafood, wild and farmed) to the French dietary intakes of vitamins D and B12, selenium, iodine and docosahexaenoic acid: impact on public health. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 1 janvier 2008. Vol. 59, n° 6, pp. 491-501. DOI 10.1080/09637480701553741.

CHEN, Xiaobo, SAMSON, Elisabeth, TOCQUEVILLE, Aurélien et AUBIN, Joël, 2015. 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*. 15 janvier 2015. Vol. 87, pp. 87-95. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.09.021.

DE LA POMÉLIE, Charles, 1995. L'élevage du bar et de la daurade en France : viabilité économique des systèmes de production. In : *Seminar of the CIHEAM Network on Socio-economic and Legal Aspects of Aquaculture in the Mediterranean (SELAM)*. 1995/05/17-19, Montpellier, France. [en ligne]. 1 janvier 1995. Disponible à l'adresse : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00374/48483/> [Consulté le 19 août 2024].

DI MARCO, P., PETOCHI, T., MARINO, G., PRIORI, A., FINOIA, M. G., TOMASSETTI, P., PORRELLO, S., GIORGI, G., LUPI, P., BONELLI, A., PARISI, G. et POLI, B. M., 2017. Insights into organic farming of European sea bass *Dicentrarchus labrax* and gilthead sea bream *Sparus aurata* through the assessment of environmental impact, growth performance, fish welfare and product quality. *Aquaculture*. 20 mars 2017. Vol. 471, pp. 92-105. DOI 10.1016/j.aquaculture.2017.01.012.

FAO, 2022. Production de l'aquaculture. [en ligne]. 2022. [Consulté le 28 mai 2024].

FRANCEAGRIMER, 2023. *Étude consommation post-Covid* [en ligne]. Les Etudes. Disponible à l'adresse : https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/71682/document/20230720_Etude_consommation_post_Covid_rapport.pdf?version=1 [Consulté le 28 février 2024].

FRY, Jillian P., MAILLOUX, Nicholas A., LOVE, David C., MILLI, Michael C. et CAO, Ling, 2018. Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*. février 2018. Vol. 13, n° 2, pp. 024017. DOI 10.1088/1748-9326/aaa273.

GEPHART, Jessica A., HENRIKSSON, Patrik J. G., PARKER, Robert W. R., SHEPON, Alon, GOROSPE, Kelvin D., BERGMAN, Kristina, ESHEL, Gidon, GOLDEN, Christopher D., HALPERN, Benjamin S., HORNBORG, Sara, JONELL, Malin, METIAN, Marc, MIFFLIN, Kathleen, NEWTON, Richard, TYEDMERS, Peter, ZHANG, Wenbo, ZIEGLER, Friederike et TROELL, Max, 2021. Environmental performance of blue foods. *Nature*. Septembre 2021. Vol. 597, n° 7876, pp. 360-365. DOI 10.1038/s41586-021-03889-2.

GHAMKHAR, Ramin, BOXMAN, Suzanne, MAIN, Kevan, ZHANG, Qiong, TROTZ, Maya et HICKS, Andrea, 2021. Life cycle assessment of aquaculture systems: Does burden shifting occur with an increase in production intensity? *Aquacultural Engineering*. 1 février 2021. Vol. 92, pp. 102130. DOI 10.1016/j.aquaeng.2020.102130.

- GUENEUC, T., TOCQUEVILLE, A., AUBIN, J., TIMSIT, M. et MICHEL, G., 2010. *Guide méthodologique - Les Indicateurs de durabilité pour l'Aquaculture* [en ligne]. CIPA. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02824831> [Consulté le 19 août 2024].
- HASAN, Mohammad R et SOTO, Doris, 2017. Improving feed conversion ratio and its impact on reducing greenhouse gas emissions in aquaculture. *FAO*. 2017. pp. 33.
- HENRIKSSON, Patrik J. G., GUINÉE, Jeroen B., KLEIJN, René et DE SNOO, Geert R., 2012. Life cycle assessment of aquaculture systems - a review of methodologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2012. Vol. 17, n° 3, pp. 304-313. DOI 10.1007/s11367-011-0369-4.
- JALABERT, Bernard et FOSTIER, Alexis, 2010. *La truite arc-en-ciel. De la biologie à l'élevage* [en ligne]. Editions Quae. Synthèses. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-01205013> [Consulté le 28 février 2024].
- JOLLIET, O., SBEIH, M. Saadé, CRETIAZ, P., GAVIN, N. Jolliet et SHAKED, S., 2017. *Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan*. PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES. ISBN 978-2-88915-135-6.
- KAUSE, Antti, NOUSIAINEN, Antti et KOSKINEN, Heikki, 2022. Improvement in feed efficiency and reduction in nutrient loading from rainbow trout farms: the role of selective breeding. *Journal of Animal Science* [en ligne]. 1 août 2022. Vol. 100, n° 8. DOI 10.1093/jas/skac214. [Consulté le 21 août 2024].
- KAUSHIK, Sadasivam, 2014. L'apport de la pisciculture à l'alimentation de l'homme. *Cahiers Agricultures*. 1 janvier 2014. Vol. 23, n° 1, pp. 18- 23 (1). DOI 10.1684/agr.2014.0679.
- KONSTANTINIDIS, Evangelos, PERDIKARIS, Costas, GOUVA, Evangelia, NATHANAILIDES, Cosmas, BARTZANAS, Thomas, ANESTIS, Vasileios, RIBAJ, Simo, TZORA, Athina et SKOUFOS, Ioannis, 2020. Assessing Environmental Impacts of Sea Bass Cage Farms in Greece and Albania Using Life Cycle Assessment. *International Journal of Environmental Research*. 1 décembre 2020. Vol. 14, n° 6, pp. 693-704. DOI 10.1007/s41742-020-00289-8.
- LAIRD, L. M., 2001. Mariculture Overview. In : STEELE, John H. (éd.), *Encyclopedia of Ocean Sciences* [en ligne]. Oxford : Academic Press. pp. 1572-1577. ISBN 978-0-12-227430-5. [Consulté le 24 avril 2024].
- LAZARD, J., 2008. *Guide de co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture*. : EVAD. Montpellier : CIRAD.
- LUCAS, Sterenn, SOLER, Louis-Georges, IRZ, Xavier, GASCUEL, Didier D. et AUBIN, Joël, 2020. Working Paper SMART-LERECO n°20-07 : *The environmental impact of consumption of fisheries and aquaculture products in France* [en ligne]. UMR 1302 UMR INRAe / AGROCAMPUS OUEST : Structures et Marchés Agricoles, Ressources et Territoires, Centre de recherche Bretagne, Normandie, 35011 RENNES CEDEX, FRA. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02920048> [Consulté le 25 avril 2024].

MARGARIDA GOMES, Leandro, 2021. *Biosecurity and Risk of Disease Introduction and Spread in Mediterranean Seabass and Seabream Farms* [en ligne]. Mémoire de master en médecine vétérinaire. Lisbonne : Universidade de Lisboa. Disponible à l'adresse : <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/21239/1/Biosecurity%20and%20risk%20of%20disease%20introduction%20and%20spread%20in%20Mediterranean%20seabass%20and%20seabream%20farms.pdf> [Consulté le 19 août 2024].

NATALE, Fabrizio, HOFHERR, Johann, FIORE, Gianluca et VIRTANEN, Jarno, 2013. Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*. 1 mars 2013. Vol. 38, pp. 205-213. DOI 10.1016/j.marpol.2012.05.037.

OCDE et ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, 2022. *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2022-2031*. OECD. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO. ISBN 978-92-64-52941-0.

OTTINGER, Marco, CLAUSS, Kersten et KUENZER, Claudia, 2016. Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review. *Ocean & Coastal Management*. 1 janvier 2016. Vol. 119, pp. 244-266. DOI 10.1016/j.ocecoaman.2015.10.015.

POUIL, Simon, BESSON, Mathieu, PHOCAS, Florence et AUBIN, Joël, 2024. Assessing the environmental impacts of conventional and organic scenarios of rainbow trout farming in France. *Journal of Cleaner Production*. 1 juin 2024. Vol. 456, pp. 142296. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.142296.

SAMUEL-FITWI, Biniam, NAGEL, Florian, MEYER, Stefan, SCHROEDER, Jan et SCHULZ, C., 2013. Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquacultural Engineering*. 1 mai 2013. Vol. 54, pp. 85-92. DOI 10.1016/j.aquaeng.2012.12.002.

SIMARD, F. et LE GOUVELLO, R., 2017. *Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture : réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux*. Gland : UICN. ISBN 978-2-8317-1831-6.

VAN DER WERF, Hayo et PETIT, Jean, 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: A comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 décembre 2002. Vol. 93, pp. 131-145. DOI 10.1016/S0167-8809(01)00354-1.

VANDEPUTTE, Marc, AUBIN, Joël, MÉDALE, Françoise, QUILLET, Edwige, DUCHAUD, Éric, BOUDINOT, Pierre, LABBÉ, Laurent et KAUSHIK, Sadasivam S., 2011. Vers une pisciculture durable à hautes performances environnementales. *Innovations Agronomiques*. 2011. Vol. 12, n° Février, pp. 179-188.

WILFART, Aurélie, PRUDHOMME, Jehane, BLANCHETON, Jean-Paul et AUBIN, Joël, 2013. LCA and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. *Journal of Environmental Management*. 30 mai 2013. Vol. 121, pp. 96-109. DOI 10.1016/j.jenvman.2013.01.031.

ZOLI, Michele, ROSSI, Lorenzo, FRONTE, Baldassarre, AUBIN, Joël, JEAGER, Christophe, WILFART, Aurelie, BIBBIANI, Carlo et BACENETTI, Jacopo, 2024. Environmental impact of different technological systems for Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and Gilthead seabream (*Sparus aurata*) farming. *Aquacultural Engineering*. 15 août 2024. pp. 102457. DOI 10.1016/j.aquaeng.2024.102457.

Sitographie

ADEME, 2024. Communiquez sur la performance environnementale de vos produits, procédés et services écoconçus. *Agir pour la transition écologique | ADEME* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/ecoconception/communiquer-performance> [Consulté le 19 avril 2024].

AQUIMER, 2020. Aquanord Ichthus. *Aquimer* [en ligne]. 11 juin 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.poleaquimer.com/adherents/aquanord-ichtus/> [Consulté le 19 août 2024].

DOCUMENTATION AGRIBALYSE®, 2023. Qu'est-ce que la base de données AGRIBALYSE ? *Documentation AGRIBALYSE®* [en ligne]. 22 août 2023. Disponible à l'adresse : <https://doc.agribalyse.fr/documentation/le-programme-agribalyse/introduction> [Consulté le 19 avril 2024].

MEANS, 2024. Inventaires ACV avec Means-InOut - Plateforme MEANS. *MEANS - Plateforme d'analyse multicritère de la durabilité* [en ligne]. 11 juin 2024. Disponible à l'adresse : <https://means.inrae.fr/outils-emc/inventaires-acv-avec-means-inout> [Consulté le 20 août 2024].

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE LA SOUVERAINETÉ INDUSTRIELLE ET NUMÉRIQUE, 2022. L'affichage environnemental. *economie.gouv.fr* [en ligne]. 18 octobre 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.economie.gouv.fr/cedef/affichage-environnemental> [Consulté le 19 avril 2024].

Annexes

Annexe 1 : Poster scientifique présenté lors des JRFP (2 et 3 juillet 2024)



la science pour la vie, l'humain, la terre



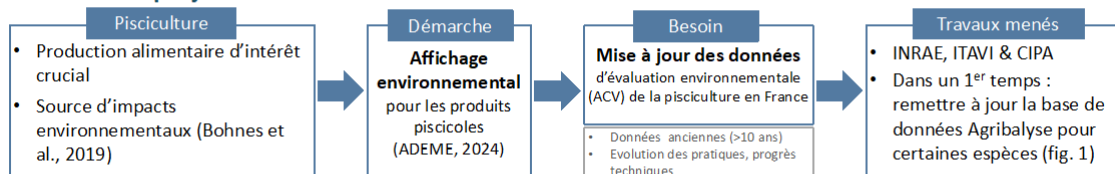
Liberté
Égalité
Fraternité

Création d'archétypes de systèmes piscicoles français et analyse de leurs performances environnementales par Analyse du Cycle de Vie (ACV)

Méthode générale et exemple de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)

Ninon Martin¹, Aurélien Tocqueville², Joël Aubin¹

Contexte du projet



Matériels et méthode

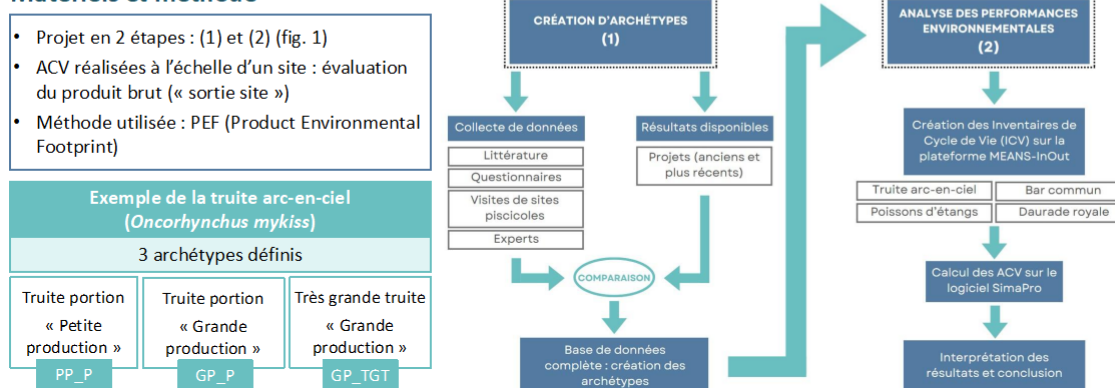


Fig. 1 : Logigramme présentant la méthode générale

Résultats obtenus pour la truite arc-en-ciel

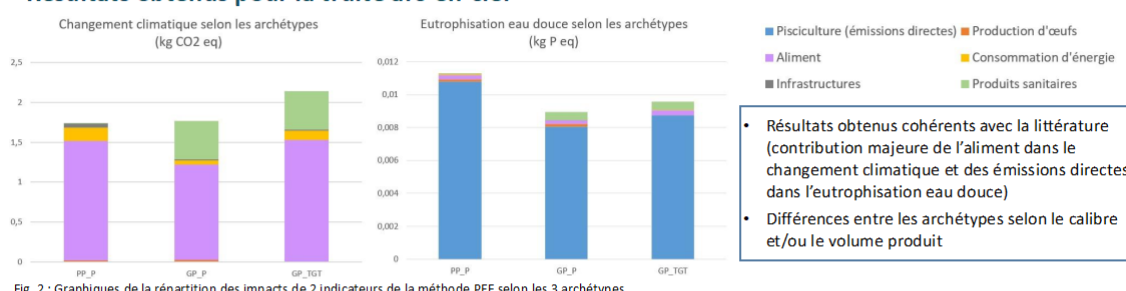


Fig. 2 : Graphiques de la répartition des impacts de 2 indicateurs de la méthode PEF selon les 3 archétypes

Limites

- Echantillon réduit : 13 réponses à ce jour au questionnaire et 2 sites piscicoles visités
- Variation des paramètres clés trop importante : l'échantillon devra être élargi afin d'obtenir des résultats exploitables

Conclusions et suite des travaux

- Consolidation des données d'ACV et diversification des approches : archétypes d'autres espèces de poissons et d'autres systèmes d'élevage (systèmes recirculés, production biologique, aquaponie...)
 - Travail approfondi sur les aliments piscicoles
- Approfondissement et poursuite de la collecte de données auprès des professionnels

Références

ADEME (2024) Affichage environnemental - Ecolabelling. Agir pour la transition écologique | ADEME, <https://affichage-environnemental.ademe.fr/>
 Bohnes, F. A., Hauschild, M. Z., Schlundt, J., & Laurent, A. (2019). Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture (Print)*, 11(4), 1061-1079. <https://doi.org/10.1111/raq.12228>

1 UMR SAS, 65 rue de Saint-Brieuc
CS 84215
35042 Rennes Cedex
France

2 ITAVI, 28 rampe Bouvreuil
76000 Rouen
France

Annexe 2 : Questionnaire « pisciculture d'eau douce » destiné aux professionnels

1. Plan de production et performances d'élevage

Quelle est votre production annuelle (en tonnes) ?

Que produisez-vous ?

- ☐ Production d'œufs (sur site)
- ☐ Écloserie/alevinage
- ☐ Truite portion
- ☐ Grande truite
- ☐ Très grande truite

Quel est l'IC moyen de votre élevage (tous calibres confondus) ?

Quelle est votre production d'œufs (en tonnes) ?

Production : alevinage

Quelle est votre production annuelle en sortie d'écloserie/alevinage (tonnes) ?

Quel est le poids moyen initial et final lors de cette phase de production ? (En cas de poursuite en élevage du cheptel : le poids final de cette phase d'élevage correspondra au poids initial de la phase de grossissement.)

Quel est le taux de mortalité moyen sur cette phase de production (%) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles d'alevinage ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'alevinage (semaines) ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Production : truite portion

Quelle est la part de votre production en taille portion (% ou tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production de truites portion ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour la production de truite portion (mois) ?

Quel est le taux de mortalité moyen sur cette phase de production (%) ?

Quel est le poids moyen final lors de cette phase de production de truite portion ? (En cas de poursuite en élevage du cheptel : le poids final de cette phase d'élevage correspondra au poids initial de la phase de grossissement pour de la grande truite.)

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Production : grande truite

Quelle est la part de votre production de Grande Truite (GT) (% ou tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production de GT ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour la production de GT (mois) ?

Quel est le poids moyen final lors de cette phase de production de GT ? (En cas de poursuite en élevage du cheptel : le poids final de cette phase d'élevage correspondra au poids initial de la phase de grossissement pour de la très grande truite.)

Quel est le taux de mortalité moyen sur cette phase de production (%) ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Production : très grande truite

Quelle est la part de votre production de Très Grande Truite (TGT) (% ou tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production de TGT ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour la production de TGT (mois) ?

Quel est le poids moyen final lors de cette phase de production de TGT ?

Quel est le taux de mortalité moyen sur cette phase de production (%) ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

2. Caractéristiques du site et consommations (eau, électricité, O₂)

Sont attendues ici les données de 2023 ou d'une quelconque année de référence représentative du fonctionnement de votre site. Les consommations électriques qui nous intéressent ici doivent concerner la partie élevage uniquement, et donc SANS intégration des consommations liées à une éventuelle activité de transformation.

Quelle est la surface de votre exploitation (m²) ?

Quel est le volume total des bassins d'élevage de votre site (ou le volume d'élevage de chaque production) (m³) ?

De quels types d'approvisionnement en eau disposez-vous (source, forage, cours d'eau ou autre) ?

En quelles proportions par rapport à l'apport d'eau total ?

Quel est le débit moyen en entrée de site (L/s) ? (Toutes sources confondues sans recirculation)

Pratiquez-vous la recirculation partielle ou totale de l'eau d'élevage ?

En cas de pratique de la recirculation : à partir de quel débit (en L/s) dans le cours d'eau y a-t-il nécessité de mettre en marche la recirculation ? Sur quelle période de l'année (mois) cette recirculation est-elle effective ? Quel est le débit (en L/s) de recirculation mise en place ?

Quelle est votre consommation annuelle en électricité (kWh/an) ?

Utilisez-vous des systèmes d'oxygénation dans vos bassins ? Si oui, de quels types ?

- Diffuseurs
- Aérateurs
- Plateformes à jets

Quelle est votre consommation annuelle en oxygène liquide (m³) ?

Autre source d'énergie : gazole (pour groupe électrogène) volume par an (L) ?

Disposez-vous d'une unité de transformation ?

Disposez-vous d'un système de traitement en sortie de pisciculture ? Si oui, lequel :

- Décanteur + Filtre rotatif
- Décanteur
- Filtre rotatif
- Aucun
- Autre

3. Votre intérêt pour la suite du projet

Souhaiteriez-vous pouvoir comparer les données de votre site de production par rapport aux moyennes et écart-types des données collectées via ce questionnaire ?

Seriez-vous intéressé par la réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV) de votre /vos site(s) de production dans le futur ?

Pour vous fournir les données moyennées recueillies via ce questionnaire ou engager un éventuel échange pour calculer une ACV pour votre site : veuillez renseigner ci-dessous votre adresse e-mail et/ou nom-téléphone de contact :

Merci beaucoup pour votre participation !

Annexe 3 : Questionnaire « pisciculture marine » destiné aux professionnels

1. Plan de production et performances d'élevage

Quelle est votre production annuelle totale (tonnes) ?

Quelles espèces produisez-vous ?

- ☐ Bar commun
- ☐ Daurade royale
- ☐ Autre

1.1. Daurade royale / 2.2. Bar commun (questions identiques)

Que produisez-vous ?

- ☐ Écloserie/alevinage
- ☐ Calibre 350-500 g
- ☐ Calibre 600-800 g
- ☐ Calibre > 1 kg
- ☐ Pas de production (dans le cas où l'espèce considérée ne serait pas produite)

Quel est l'IC moyen de votre élevage (tous calibres confondus) ?

Quelle est votre production annuelle totale pour cette espèce (tous calibres confondus) (tonnes) ?

Production : écloserie/alevinage

Quelle est votre production annuelle en sortie d'écloserie/alevinage (tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production en écloserie/alevinage ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Quel est le taux de mortalité moyen sur vos cycles d'écloserie/alevinage ?

Quel est le poids moyen initial et final lors de cette phase de production ? (En cas de poursuite en élevage du cheptel : le poids final de cette phase d'élevage correspondra au poids initial de la phase de production de vos calibres.)

Production : grossissement 350-500 g

Quelle est la part de votre production en calibre 350-500 g (tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production de calibre 350-500 g ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Quel est le taux de mortalité moyen sur vos cycles de production de calibre 350-500 g ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour la production de calibre 350-500 g ?

Quel est le poids moyen final lors de cette phase de production de calibre 350-500 g ?

Production : grossissement 600-800 g

Quelle est la part de votre production de calibre 600-800 g (tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur vos cycles de production de calibre 600-800 g ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Quel est le taux de mortalité moyen sur vos cycles de production de calibre 600-800 g ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour la production de calibre 600-800 g ?

Quel est le poids moyen initial et final lors de cette phase de production de calibre 600-800 g ?

Production : grossissement > 1 kg

Quelle est la part de votre production de calibre > 1 kg (tonnes) ?

Quel est l'IC moyen sur ce cycle de production de calibre > 1 kg ?

Aliment majoritaire utilisé sur cette phase : nom/gamme et fabricant

Quel est le taux de mortalité moyen sur ce cycle de production de calibre > 1 kg ?

Quelle est la durée moyenne d'un cycle d'élevage pour cette production de calibre > 1 kg ?

Quel est le poids moyen final lors de cette phase de production ?

2. Caractéristiques du site et consommations (eau, électricité, O₂)

Sont attendues ici les données de 2023 ou d'une quelconque année de référence représentative du fonctionnement de votre site.

Les structures de production (bassins d'élevage) de votre site sont :

- En mer (système cage)
- À terre (système bassin)
- Mixte (cages en mer et bassins à terre)

Quelle est la surface de votre site à terre (m²) ?

Cette surface doit correspondre à l'élevage éventuel à terre (ex : écloserie, stockage) ou aux structures accompagnant cet élevage (bureaux, zone de stockage de matériel et d'aliment...). Les unités de transformation ne sont pas à inclure dans cette surface.

Quel est votre débit moyen (apport d'eau) en entrée de site (m³/h) ?

Quelle est la surface de votre concession en mer (m²) ?

De combien de cages/bassins disposez-vous ?

Quel est le volume total d'élevage de vos cages/bassins (m³) ?

Quelle est votre consommation annuelle en électricité (kWh/an) ?

Les consommations liées aux activités de transformation ne sont pas à inclure.

Utilisez-vous des systèmes d'oxygénation dans vos cages/bassins ? Si oui, de quel(s) type(s) ?

- ☐ Diffuseurs
- ☐ Aérateurs
- ☐ Plateformes à jets

Quelle est votre consommation annuelle en oxygène liquide (m³) ?

Pratiquez-vous la recirculation partielle ou totale de l'eau d'élevage ?

Disposez-vous d'un système de traitement en sortie de site ? si oui, lequel :

- ☐ Décanteur + Filtre rotatif
- ☐ Décanteur
- ☐ Filtre rotatif
- ☐ Aucun
- ☐ Autre

Combien de bateaux, et de quels types (et longueur), sont utilisés sur votre exploitation ?

Quel(s) type(s) de carburant(s) utilisez-vous ? Pour quels types d'équipement (bateau, fenwick, groupe électrogène...) ? En quelle(s) quantité(s) à l'année (m³) ?

Disposez-vous d'une unité de transformation ?

3. Votre intérêt pour la suite du projet

Souhaiteriez-vous pouvoir comparer les données de votre site de production par rapport aux moyennes et écart-types des données collectées via ce questionnaire ?

Seriez-vous intéressé par la réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV) de votre site de production dans le futur ?

Pour vous fournir les données moyennées recueillies via ce questionnaire ou engager un éventuel échange pour calculer ACV pour votre site : veuillez renseigner ci-dessous votre adresse e-mail et/ou nom-téléphone de contact :

Merci beaucoup pour votre participation !

Annexe 4 : Tableau complet des données de l'archétype PP_TP

PP-TP		<i>Unité</i>	<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production (TP)</i>	26,52	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,2		Jeu de données
<i>Surface de l'exploitation</i>	5236,17	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des bassins</i>	1662,6	m ³	Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Débit moyen (entrée de site)</i>	298	L/s	Jeu de données
<i>Taux de renouvellement journalier</i>	9,87	%	Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	1330	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Décision arbitraire
<i>Électricité</i>	54215	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	727	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	8	m ³	Jeu de données
<i>Désinfectant (Chloramine T)</i>	64	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Formol 30%</i>	102	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Médicaments et antibiotiques</i>	32	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Nombre de bassins</i>	5,5	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Bâtiment à terre</i>	0,51	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Hangar</i>	76,5	m ²	Jeu de données, dires d'experts
<i>Aérateurs</i>	5,61	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Élévateur à poissons</i>	0,51	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Engin à moteur</i>	0,51	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Pompe (80L/s)</i>	1,02	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	0,51	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Tuyau PVC</i>	2,04	m	Jeu de données, dires d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	210	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	248	j	Jeu de données
<i>Poids TP</i>	292	g	Jeu de données
<i>Mortalité alevinage</i>	11,4	%	Jeu de données
<i>Mortalité TP</i>	5	%	Jeu de données
<i>IC alevinage</i>	0,8		Jeu de données
<i>IC TP</i>	1,1		Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	573	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	29164	kg	Jeu de données

Annexe 5 : Tableau complet des données de l'archétype PP_GT

PP-GT		Unité	Origine des données
<i>Volume de production (GT)</i>	20,8	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,2		Jeu de données
<i>Surface de l'exploitation</i>	4106,8	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des bassins</i>	1304	m ³	Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Débit moyen (entrée de site)</i>	298	L/s	Jeu de données
<i>Taux de renouvellement journalier</i>	9,9	%	Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	1043,2	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Décision arbitraire
<i>Électricité</i>	72138	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	967	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	11	m ³	Jeu de données
<i>Désinfectant (Chloramine T)</i>	85	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Formol 30%</i>	136	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Médicaments et antibiotiques</i>	43	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Nombre de bassins</i>	4,3	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Bâtiment à terre</i>	0,4	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Hangar</i>	60	m ²	Jeu de données, dire d'experts
<i>Aérateurs</i>	4,4	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Élévateur à poissons</i>	0,4	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Engin à moteur</i>	0,4	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Pompe (80L/s)</i>	0,8	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	0,4	p	Jeu de données, dire d'experts
<i>Tuyau PVC</i>	1,6	m	Jeu de données, dire d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	210	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	248	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production GT</i>	319	j	Jeu de données
<i>Poids GT</i>	1375	g	Jeu de données
<i>Mortalité alevinage</i>	11,4	%	Jeu de données
<i>Mortalité TP</i>	5	%	Jeu de données
<i>Mortalité GT</i>	5,5	%	Jeu de données
<i>IC alevinage</i>	0,8		Jeu de données
<i>IC TP</i>	1,1		Jeu de données
<i>IC GT</i>	1,25		Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	101	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	5125	kg	Jeu de données
<i>Aliment 400-1800g</i>	21041	kg	Jeu de données

Annexe 6 : Tableau complet des données de l'archétype GP_TP

GP-TP		Unité	Origine des données
<i>Volume de production (TP)</i>	58,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,21		Jeu de données
<i>Surface de l'exploitation</i>	2184,62	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des bassins</i>	1090,98	m ³	Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Débit moyen (entrée de site)</i>	1363	L/s	Jeu de données
<i>Taux de renouvellement journalier</i>	25,6	%	Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	872,8	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Jeu de données
<i>Électricité</i>	68476,3	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	7838,2	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	53,2	m ³	Jeu de données
<i>Désinfectant (Chloramine T)</i>	55	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Formol 30%</i>	51	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Médicaments et antibiotiques</i>	6	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Chaux hydratée</i>	79	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Eau de javel</i>	183	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Eau oxygénée</i>	305	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Nombre de bassins</i>	2,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Bâtiment à terre</i>	0,57	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Hangar</i>	95	m ²	Jeu de données, dires d'experts
<i>Aérateurs</i>	2,66	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Élévateur à poissons</i>	0,19	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Engin à moteur</i>	0,19	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Pompe (80L/s)</i>	0,76	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	0,38	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Tuyau PVC</i>	1,14	m	Jeu de données, dires d'experts
<i>Cuve à oxygène</i>	0,19	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Silo à aliment</i>	0,19	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Distributeur d'aliment</i>	0,19	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	150	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	240	j	Jeu de données
<i>Poids TP</i>	290	g	Jeu de données
<i>Mortalité alevinage</i>	28	%	Jeu de données
<i>Mortalité TP</i>	6,4	%	Jeu de données
<i>IC alevinage</i>	0,68		Jeu de données
<i>IC TP</i>	0,9		Jeu de données
<i>Aliment alevinage</i>	9502	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	43245	kg	Jeu de données

Annexe 7 : Tableau complet des données de l'archétype GP_TGT

GP-TGT		Unité	Origine des données
<i>Volume de production (TGT)</i>	211,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,21		Jeu de données
<i>Surface de l'exploitation</i>	7933,6	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des bassins</i>	3962	m ³	Jeu de données
<i>Approvisionnement en eau</i>	Cours d'eau		Jeu de données
<i>Débit moyen (entrée de site)</i>	1363	L/s	Jeu de données
<i>Taux de renouvellement journalier</i>	25,6	%	Jeu de données
<i>Volume d'eau</i>	3169,6	m ³	Jeu de données
<i>Recirculation</i>	Non		Jeu de données
<i>Électricité</i>	478225,3	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	54740,2	L	Jeu de données
<i>Oxygène liquide</i>	371,3	m ³	Jeu de données
<i>Désinfectant (Chloramine T)</i>	383	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Formol 30%</i>	354	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Médicaments et antibiotiques</i>	43	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Chaux hydratée</i>	553	kg	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Eau de javel</i>	1276	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Eau oxygénée</i>	2127	L	Entretiens, Pouil et al. 2024
<i>Nombre de bassins</i>	9,9	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Bâtiment à terre</i>	2,1	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Hangar</i>	345	m ²	Jeu de données, dires d'experts
<i>Aérateurs</i>	9,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Élévateur à poissons</i>	0,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Engin à moteur</i>	0,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Pompe (80L/s)</i>	2,8	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	1,4	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Tuyau PVC</i>	4,1	m	Jeu de données, dires d'experts
<i>Cuve à oxygène</i>	0,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Silo à aliment</i>	0,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Distributeur d'aliment</i>	0,7	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	150	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TP</i>	240	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production GT</i>	135	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production TGT</i>	225	j	Jeu de données
<i>Poids TGT</i>	2900	g	Jeu de données
<i>Mortalité alevinage</i>	28	%	Jeu de données
<i>Mortalité TP</i>	6,4	%	Jeu de données
<i>Mortalité GT</i>	3,2	%	Jeu de données
<i>Mortalité TGT</i>	4,7	%	Jeu de données
<i>IC alevinage</i>	0,68		Jeu de données
<i>IC TP</i>	0,9		Jeu de données
<i>IC GT</i>	1,12		Jeu de données
<i>IC TGT</i>	1,28		Jeu de données

<i>Aliment alevinage</i>	3730	kg	Jeu de données
<i>Aliment 50-400g</i>	16978	kg	Jeu de données
<i>Aliment 400-1800g</i>	80655	kg	Jeu de données
<i>Aliment 1800-2500g</i>	160213	kg	Jeu de données

Annexe 8 : Tableau complet des données de l'archétype de bar commun (calibre 1)

Bar commun – Calibre 1 (C1)	Unité		Origine des données
<i>Volume de production</i>	122,1	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	2		Jeu de données
<i>Mortalité moyenne</i>	13,85	%	Jeu de données
<i>Surface à terre</i>	2022,7	m ²	Jeu de données
<i>Surface de la concession</i>	25283,3	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des cages</i>	13737,4	m ³	Jeu de données
<i>Nombre de cages</i>	35,8	p	Jeu de données
<i>Électricité</i>	54627	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	2310	L	Jeu de données
<i>Essence</i>	13460	L	Jeu de données
<i>Système de traitement (sortie de site)</i>	Non		Jeu de données
<i>Système d'oxygénation</i>	Non		Jeu de données
<i>Bateaux secondaires</i>	1	p	Jeu de données
<i>Bateaux en résine</i>	1,7	p	Jeu de données
<i>Barge</i>	0,7	p	Jeu de données
<i>Véhicule</i>	1,3	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Compteur à poisson</i>	0,2	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Filets anti-oiseaux</i>	3160,2	m ²	Jeu de données, dires d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	0,1	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	60	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C1</i>	727,5	j	Jeu de données
<i>Poids C1</i>	450	g	Jeu de données
<i>Mortalité C1</i>	14,75	%	Jeu de données
<i>IC C1</i>	2,06		Jeu de données
<i>Aliment alevinage/pré-grossissement</i>	7899	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C1</i>	252071	kg	Jeu de données

Annexe 9 : Tableau complet des données de l'archétype de daurade royale (calibre 2)

<i>Daurade royale – Calibre 2 (C2)</i>	<i>Unité</i>		<i>Origine des données</i>
<i>Volume de production</i>	202,4	t	Jeu de données
<i>IC moyen</i>	1,96		Jeu de données
<i>Mortalité moyenne</i>	6,3	%	Jeu de données
<i>Surface à terre</i>	3005,3	m ²	Jeu de données
<i>Surface de la concession</i>	9016	m ²	Jeu de données
<i>Volume total des cages</i>	20883,5	m ³	Jeu de données
<i>Nombre de cages</i>	27,1	p	Jeu de données
<i>Électricité</i>	87579	kWh	Jeu de données
<i>Gazole</i>	7406	L	Jeu de données
<i>Essence</i>	8177	L	Jeu de données
<i>Système de traitement (sortie de site)</i>	Non		Jeu de données
<i>Système d'oxygénation</i>	Non		Jeu de données
<i>Bateaux secondaires</i>	0,6	p	Jeu de données
<i>Bateaux en résine</i>	0,8	p	Jeu de données
<i>Barge</i>	0,2	p	Jeu de données
<i>Véhicule</i>	1,4	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Compteur à poisson</i>	0,2	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Filets anti-oiseaux</i>	4695,5	m ²	Jeu de données, dires d'experts
<i>Trieur à poissons</i>	0,2	p	Jeu de données, dires d'experts
<i>Durée de la phase d'alevinage</i>	50	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C1</i>	475	j	Jeu de données
<i>Durée de la phase de production C2</i>	322	j	Jeu de données
<i>Poids C1</i>	450	g	Jeu de données
<i>Poids C2</i>	700	g	Jeu de données
<i>Mortalité C1</i>	7	%	Jeu de données
<i>Mortalité C2</i>	7,5	%	Jeu de données
<i>IC C1</i>	2,01		Jeu de données
<i>IC C2</i>	2,14		Jeu de données
<i>Aliment alevinage/pré-grossissement</i>	9034	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C1</i>	271586	kg	Jeu de données
<i>Aliment phase C2</i>	160492	kg	Jeu de données

Annexe 10 : Histogrammes réalisés pour l'étude de sensibilité

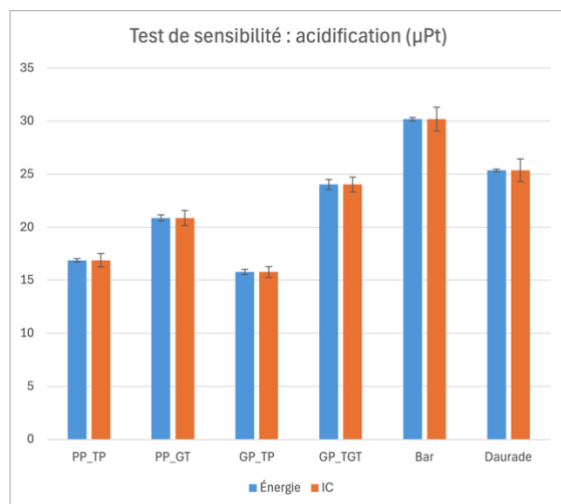


Figure I : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur l'acidification pour chaque archétype (μPt)

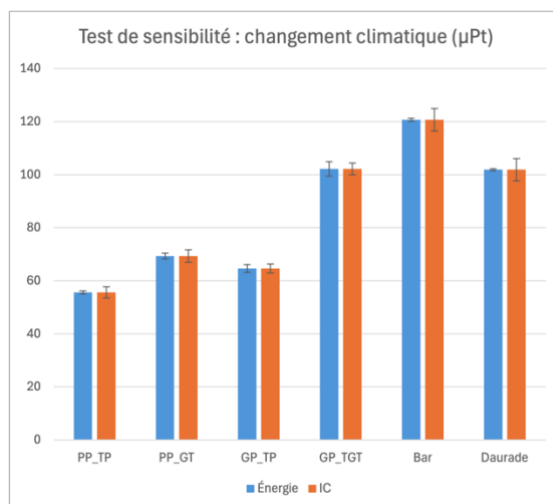


Figure II : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur le changement climatique pour chaque archétype (μPt)

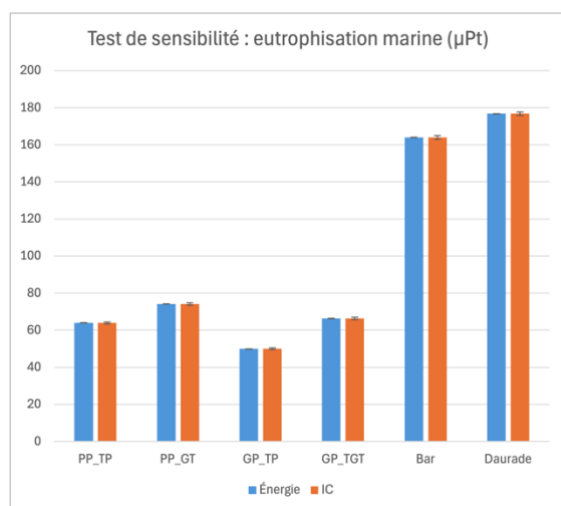


Figure III : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur l'eutrophisation marine pour chaque archétype (μPt)

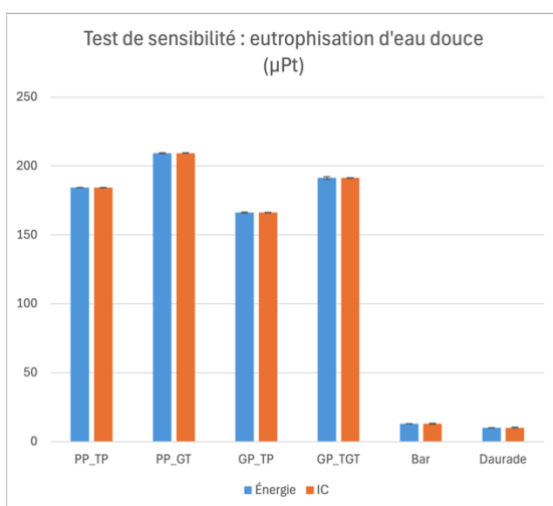


Figure IV : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur l'eutrophisation d'eau douce pour chaque archétype (μPt)

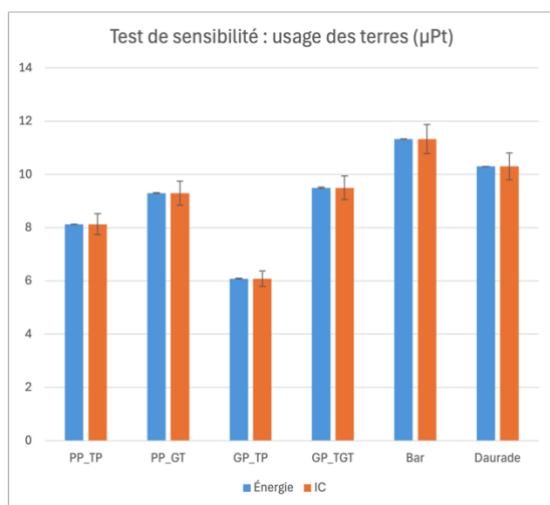


Figure V : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur l'usage des terres pour chaque archétype (μPt)

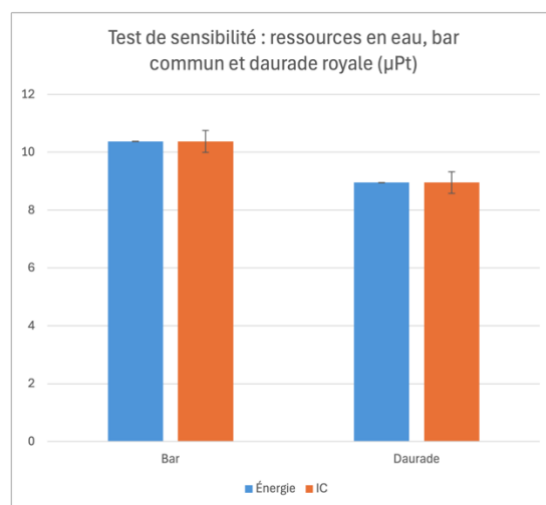


Figure VI : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur la consommation des ressources en eau pour les archétypes de poissons marins (μPt)

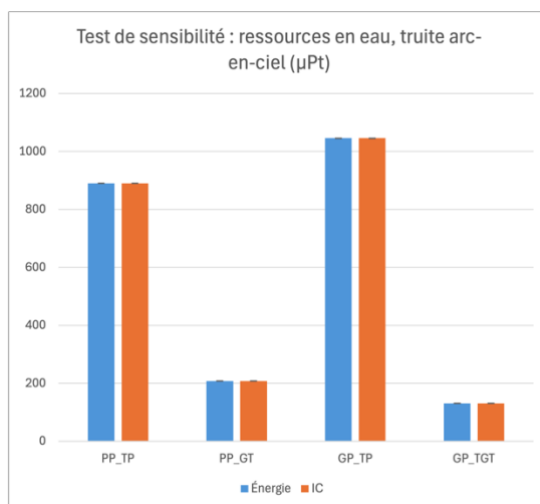


Figure VII : Effets de la variation de $\pm 5\%$ de l'énergie et de l'IC sur la consommation des ressources en eau pour les archétypes de truite arc-en-ciel (μPt)

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la démarche d'affichage environnemental et vise à mettre à jour la base de données AGRIBALYSE. Il explore les impacts environnementaux des systèmes de production français de truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), de bar commun (*Dicentrarchus labrax*) et de daurade royale (*Sparus aurata*).

Une collecte de données a permis la modélisation d'archétypes de ces systèmes piscicoles selon le type de production et le calibre produit, qui se sont avérés plutôt cohérents malgré des échantillons d'effectifs restreints.

Leurs performances environnementales ont été étudiées pour la production d'1 kg de poisson (poids vif) par Analyse du Cycle de Vie (ACV) selon la méthode PEF. Six indicateurs ont été analysés : l'acidification, le changement climatique, les eutrophisations marine et d'eau douce, l'usage des terres et les ressources en eau. Les résultats ont ensuite été comparés avec ceux obtenus pour les modèles issus de la base de données AGRIBALYSE.

Les résultats montrent que l'aliment, la consommation d'énergie et d'oxygène liquide ainsi que les émissions directes d'azote et de phosphore contribuent fortement aux scores des indicateurs. Une baisse de l'impact de l'aliment et une augmentation de l'impact de la consommation d'énergie et d'oxygène liquide ont été observées par rapport aux modèles d'AGRIBALYSE. Une étude de sensibilité a révélé l'influence majeure de l'IC sur les indicateurs.

Ces résultats soulignent l'importance de ces paramètres pour l'optimisation des systèmes piscicoles et l'amélioration de leurs performances environnementales.

Abstract

This dissertation is part of the environmental labeling initiative and aims to update the AGRIBALYSE database. It explores the environmental impacts of French production systems for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), European seabass (*Dicentrarchus labrax*), and gilthead seabream (*Sparus aurata*).

Data collection enabled the modeling of archetypes for these aquaculture systems based on production type and product size, which proved to be relatively consistent despite limited sample sizes.

Their environmental performances were studied for the production of 1 kg of fish (live weight) through Life Cycle Assessment (LCA) using the PEF method. Six indicators were analyzed: acidification, climate change, marine and freshwater eutrophication, land use, and water resources. The results were then compared with those obtained for models from the AGRIBALYSE database.

The results show that feed, energy consumption, liquid oxygen use, and direct nitrogen and phosphorus emissions are significant contributors to the indicators' scores. A decrease in feed impact and an increase in energy consumption and liquid oxygen use impacts were observed compared to AGRIBALYSE models. A sensitivity analysis revealed the significant influence of FCR on the indicators.

These findings highlight the importance of these parameters for optimizing fish farming systems and improving their environmental performances.