

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2020-2021
Spécialité :
Ingénieur agronome
Spécialisation (et option éventuelle) :
Sciences halieutiques et aquacoles (AQUA)

Mémoire de fin d'études

- d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

**Evaluation multicritère et analyse de la durabilité des
exploitations aquacoles**

Par : Quentin LATOURRE



Photographie : Joël Aubin

Soutenu à Rennes le 17/09/2021

Devant le jury composé de :

Président : Bastien SADOUL

Maître de stage : Joël AUBIN

Enseignant référent : Bastien SADOUL

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Didier GASCUEL (Enseignant-chercheur Agrocampus Ouest)

Jean-Yves DOURMAD (Chercheur INRAE)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

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 17/09/2021
(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 LATOURE Quentin

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 : 17/10/2021

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.

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

Date et signature de l'enseignant :

12/10/2021

DÉLÉGÉ GASCUEL
Professeur Coordinateur du Pôle Informatique
AGROCAMPUS OUEST

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST 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

Avant de commencer ce mémoire, je souhaiterais remercier mon maitre de stage, Joël Aubin, pour son écoute, sa bienveillance, sa disponibilité, son soutien et ses conseils tout au long de ce stage, qui ont beaucoup contribué au très bon déroulement de cette expérience professionnelle.

Je voudrais aussi remercier Samuel Le Féon, qui m'a encadré pendant quelques semaines, et Christophe Jaeger pour leurs conseils et leur disponibilité tout au long de ce stage.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	p1
Partie A : Définition des concepts	p2
1) La durabilité.....	p2
2) L'évaluation multicritère (EMC).....	p3
3) L'Analyse du Cycle de Vie (ACV).....	p3
Partie B : Matériel et méthodes	p4
1) Le modèle DEXi.....	p4
2) L'Analyse du Cycle de Vie	p8
3) Exploitations étudiées.....	p10
Partie C : Résultats	p14
1) Résultats de l'ACV.....	p14
2) Résultats du modèle DEXi.....	p21
Partie D : Discussion et conclusion	p23
Bibliographie	p26
Annexes	
Résumé	

Liste des figures

Figure 1 : Branche « Durabilité environnementale » de l’arbre DexiAqua du projet SIMTAP (Le Feon et al, 2021).....	p6
Figure 2 : Principes et critères de l’arbre DexiSIMTAP.....	p7
Figure 3 : Allocation des différents processus aux productions de l’exploitation expérimentale du Lycée de la Mer et du Littoral (LML).....	p10
Figure 4 : Localisation du Lycée de la Mer et du Littoral (LML).....	p11
Figure 5 : Représentation du dispositif expérimental du LML.....	p11
Figure 6 : Localisation de la polyculture étudiée.....	p13
Figure 7 : Impact comparé entre l’exploitation expérimentale et la polyculture pour 1000€ de produits aquatiques vendus.....	p14
Figure 8 : Analyse des contributions des espèces par catégorie d’impact pour l’exploitation expérimentale.....	p14
Figure 9 : Analyse des contributions des espèces par catégorie d’impact pour la polyculture étudiée.....	p15
Figure 10 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d’acidification, allocation massique.....	p16
Figure 11 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d’acidification, allocation économique.....	p16
Figure 12 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d’eutrophisation, allocation massique.....	p17
Figure 13 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel de changement climatique, allocation massique.....	p18
Figure 14 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel de changement climatique, allocation économique.....	p19
Figure 15 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la concurrence foncière, allocation massique.....	p19
Figure 16 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la demande énergétique totale, allocation massique.....	p20
Figure 17 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à l’utilisation de production primaire, allocation massique.....	p21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Extrait de l'inventaire de l'exploitation expérimentale du Lycée de la Mer et du Littoral dans le logiciel Simapro.....	p9
Tableau 2 : Détail des processus nécessaires à la création des claires dans le logiciel Simapro.....	p9
Tableau 3 : Composition de l'aliment expérimental utilisé sur l'exploitation du LML.....	p12
Tableau 4 : Production finale de l'exploitation expérimentale du LML en 2020.....	p12
Tableau 5 : Résumé des appréciations obtenues par le modèle DexiSIMTAP pour l'exploitation expérimentale de SIMTAP.....	p22
Tableau 6 : Résumé des appréciations obtenues par le modèle DexiSIMTAP pour la polyculture.....	p22

Introduction

Actuellement, l'aquaculture fait face à de nombreux enjeux notamment environnementaux (Gascuel & Le Bris, 2011). En effet, le secteur aquacole exerce des pressions sur les ressources halieutiques entrant dans la composition des aliments d'élevages, sur la qualité de l'environnement via les effluents d'élevages et les rejets de produits chimiques ou vétérinaires, et aussi sur les populations sauvages par l'introduction de pathogènes ou encore par les croisements entre individus d'élevages et sauvages (Gascuel & Le Bris, 2011). L'un des défis actuels de l'aquaculture est donc de produire des produits de qualité tout en limitant ces impacts, et ainsi permettre au secteur de redorer son image auprès des consommateurs et de la société (Gascuel & Le Bris, 2011).

Une des solutions pour limiter les impacts de l'aquaculture est d'utiliser des systèmes d'Aquaculture Multi Trophique Intégrée (AMTI). En AMTI, une partie de la nourriture, des nutriments et de l'énergie qui pourrait être perdue lors de l'alimentation des poissons est recaptée par les espèces avec lesquelles ils sont associés, ce qui permet de convertir ces « pertes » en nourriture. Ces phénomènes sont appelés la bio mitigation. Ainsi, les espèces choisies pour les systèmes multi trophiques intégrés ont toutes une valeur commerciale, et la pêche de tous les composants du système participe à extraire des nutriments dans l'environnement (Chopin *et al*, 2008). Le concept d'AMTI est très flexible, puisqu'il peut être appliqué en pleine mer comme sur des systèmes en eau douce. Le plus important est le choix des espèces à associer, autant d'un point de vue environnemental que d'un point de vue économique puisque, pour être viable, tous les composants individuels du système doivent être valorisables ou avoir une valeur ajoutée en termes de services écosystémiques (Chopin *et al*, 2008 ; Buck *et al*, 2018). L'AMTI peut par exemple être une co-culture d'espèces nourries (ex : poissons, crevettes), de suspensivores (ex : concombre de mer, oursins) et de macro-algues (ex : kelps) qui se nourrissent sur les effluents organiques et inorganiques générés par les espèces nourries.

Le projet SIMTAP (Self-sufficient Integrated Multi Trophic AquaPonics) s'inscrit dans le programme PRIMA (Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area) et a pour objectif de construire les bases du renouvellement de l'aquaculture en zone méditerranéenne, en se basant sur les principes de l'AMTI. Ce projet est porté par l'université de Pise, avec comme partenaires les universités de Bologne et Milan (Italie) ; l'entreprise Korolev GmbH (Allemagne) dépositaire d'un système aquaponique ; le ministère de l'agriculture, de la pêche et des droits des animaux de Malte ; MEDFRI, l'institut technique et de recherche en production méditerranéenne de Turquie ; le Lycée de la Mer et du Littoral de Bourcefranc-le-Chapus (France) et l'UMR SAS (Sol Agro et hydrosystèmes Spatialisation) de l'INRAE à Rennes, dans lequel j'ai réalisé mon stage. Dans ce projet, le rôle de l'INRAE est d'analyser la durabilité des systèmes aquacoles mis en place par les partenaires et de les comparer à des systèmes plus traditionnels. L'objectif de mon stage est d'analyser la durabilité de deux exploitations (une polyculture huître/palourde/crevette et un système AMTI du projet SIMTAP) par une méthode d'Evaluation Multi Critère (EMC) et une Analyse du Cycle de Vie (ACV). Ces analyses identifient les points forts et les points faibles de la durabilité de ces exploitations afin de permettre aux aquaculteurs de prendre des décisions pour améliorer les points posant le plus de problèmes.

Partie A

Définition des concepts

1) La durabilité

La durabilité est une notion complexe, correspondant au caractère soutenable d'un modèle, c'est-à-dire sa capacité à perdurer dans le temps (Lairez *et al*, 2015). Elle correspond à une atténuation des interactions de l'activité avec l'environnement en s'intéressant aussi au développement social et économique (création d'emplois, développement social et culturel via des visites...) (FOESA, 2010). Une manière d'exprimer la durabilité et de l'évaluer est d'utiliser le concept du développement durable. La première définition du développement durable a été donnée dans le rapport de Brundtland (1987) : c'est un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Cette définition implique une construction collaborative d'indicateurs du développement durable afin de permettre un apprentissage collectif de cette notion (Chia *et al*, 2009). Le développement durable peut alors être divisé en trois piliers : environnement, société et économie (FOESA, 2010).

Lorsqu'on s'intéresse plus précisément aux activités agricoles, les différents piliers du développement durable peuvent être déclinés sous une autre forme qui permet de mieux répondre aux enjeux spécifiques de l'agriculture en terme de durabilité : agroécologie, socio-territoriale et économique (Zahm *et al*, 2019). De plus, différentes durabilités peuvent être évoquées lorsqu'on se focalise uniquement aux exploitations agricoles. En effet, Zahm *et al* (2019) ont défini la durabilité restreinte c'est-à-dire centrée sur l'exploitation considérée, et la durabilité étendue qui s'intéresse aux impacts de l'exploitation à des échelles plus larges (territoires, collectivités, pays, monde). Ainsi, on peut définir cinq propriétés d'un système agricole durable (Zahm *et al*, 2019) :

- **L'autonomie** qui est la capacité de l'exploitation à produire des biens et/ou services à partir de ressources produites sur place ou localement ;
- **La robustesse** c'est-à-dire la capacité d'une exploitation à faire face à des variations et à conserver un état d'équilibre ;
- **La capacité productive et reproductive de biens et services** qui correspond à la capacité de l'exploitation à produire de manière efficiente des biens et/ou services tout en s'assurant suffisamment de revenus ;
- **L'ancrage territorial** qui caractérise l'implication de l'exploitation dans la valorisation des ressources du territoire, ainsi que les liens de l'exploitation avec les autres acteurs de ce même territoire ;
- **La responsabilité globale** qui correspond à l'engagement de l'exploitant dans la prise en compte des impacts environnementaux, sociaux et économiques de son activité.

Malgré toutes ces définitions, la durabilité reste difficile à évaluer sans une méthode d'analyse précise et multicritère (EMC).

2) L'évaluation multicritère (EMC)

Les EMC ont pour but de développer des outils d'aide à la décision, notamment pour résoudre des problèmes complexes qui incluent des aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs (Aouadi, 2011 ; Prabhu *et al*, 2000). C'est un processus qui contient quatre étapes principales (Aouadi, 2011) :

- La structuration du problème de décision,
- L'articulation et la modélisation des préférences,
- L'agrégation des préférences,
- La réalisation de recommandations.

L'EMC est une méthode complète qui intègre plusieurs critères dans l'analyse et utilise des données à la fois quantitatives et qualitatives. Elle permet aussi d'inclure des groupes d'experts dans les différentes étapes de l'évaluation et de fournir une analyse transparente pour les personnes concernées. Elle contient aussi des systèmes de vérification et de validation qui adaptent l'analyse en fonction des différents avis consultés (Prabhu *et al*, 2000). Elle peut être réalisée *ex post* c'est-à-dire sur une exploitation déjà existante où la situation est évaluée à un instant t, ou bien *ex ante* c'est-à-dire de manière exploratoire sur l'identification de nouveaux systèmes (Lairez *et al*, 2015).

Afin de réaliser une EMC, notamment pour des activités agricoles, il est nécessaire de définir plusieurs notions pour structurer l'analyse (Rey-Valette *et al*, 2008) :

- Les principes qui sont des postulats définissant la formulation d'actions en faveur d'une agriculture durable,
- Les critères qui permettent de décomposer les principes en thématiques ou caractéristiques et de faire le lien avec les variables étudiées,
- Les indicateurs qui permettent de mesurer les critères. Ils peuvent être qualitatifs ou quantitatifs. D'après Lairez *et al* (2015), un indicateur doit remplir trois conditions :
 - o Être scientifiquement pertinent,
 - o Être facile à renseigner et à interpréter,
 - o Être utile et clair c'est-à-dire répondre aux besoins de l'utilisateur tout en étant compréhensible par tous les publics.

Prabhu *et al* (2000) ajoutent à ces trois notions une quatrième qui correspond aux vérificateurs. Ils ont pour but d'augmenter la signification et la précision de l'indicateur en donnant des détails spécifiques sur ce qui est recherché pour un indicateur donné. Ils peuvent aussi être définis comme des moyens pour déterminer si les conditions énoncées pour chaque indicateur ont bien été remplies.

3) L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode standardisée par les normes ISO 14000 qui quantifie les impacts d'un produit ou d'un service sur l'environnement, la santé humaine et les ressources naturelles pendant tout son cycle de vie. L'ACV est une méthode multi étapes, généralement réalisée du berceau à la tombe, c'est à dire de l'extraction des matières premières à la fin de vie. Cela peut inclure par exemple les étapes de fabrication, d'utilisation ou encore de stockage et de distribution (Caillet, 2003). Cet outil peut être utilisé

pour aider à la prise de décision, notamment en aquaculture puisqu'il permet de définir les zones sensibles d'un système afin de réduire leurs impacts sur l'environnement (Bohnes *et al*, 2018). Une ACV en aquaculture se focalise généralement sur les impacts environnementaux suivants : l'eutrophisation, l'acidification, le réchauffement climatique, l'utilisation d'énergie, l'utilisation de production primaire nette et la dépendance à l'eau. Tous ces impacts sont calculés relativement à une unité fonctionnelle qui est l'unité à laquelle sont rapportés tous les flux de l'inventaire et qui sert de référence (Jolliet *et al*, 2017). Souvent, en aquaculture, l'unité fonctionnelle choisie est la tonne de poissons produite (Aubin *et al*, 2014).

L'analyse sociale du cycle de vie (ASCV) a, quant à elle, pour objectif d'évaluer les effets sociaux attribuables au cycle de vie d'un produit. Elle permet d'identifier les points d'amélioration possibles des effets sociaux tout en évitant les transferts d'effets négatifs d'une phase du cycle à une autre. L'ASCV permet aussi d'informer les décideurs (privés, gouvernementaux ou non), d'identifier des indicateurs pertinents des effets sociaux et de développer de nouveaux outils de marketing (via l'étiquetage par exemple) (Aubin *et al*, 2014). L'analyse du coût du cycle de vie (ACCV) permet de calculer tous les coûts reliés à un bien et/ou un service tout au long de son cycle de vie. Ces coûts doivent être supportés par un ou plusieurs acteurs du cycle de vie du produit (Bjorn & Mazijn, 2012). L'ACCV est utilisée pour des décisions de conception, de développement et d'achat de produits (Mami, 2015). On peut aussi définir l'ACCV environnementale qui est un moyen de transférer les coûts indirects de gestion environnementales à des considérations directes de production. L'ACCV peut évaluer le pilier économique du développement durable (Mami, 2015).

Partie B

Matériel et méthodes

1) Le modèle DEXi

Il existe différentes méthodes d'EMC qui permettent de faire face à de nombreuses situations et à différents types de problèmes :

- Les méthodes de sur-classement, basées sur la comparaison d'actions deux à deux (ELECTRE, PROMETHEE par exemple ; Caillet, 2003),
- Les méthodes basées sur la théorie de l'utilité, qui associent une utilité à chaque critère utilisé (MAUT, sommes pondérées par exemple ; Caillet, 2003),
- Les méthodes multi objectifs, qui sont utilisées lorsque de nombreuses alternatives sont considérées (Sadok *et al*, 2008),
- Les méthodes multi attributs, qui sont utilisées lorsqu'il y a un nombre limité d'alternatives caractérisées par de nombreux critères (Sadok *et al*, 2008).

Afin d'obtenir une appréciation de la durabilité, nous avons choisi d'utiliser le modèle DEXi (DEX = Decison EXpert, le « i » désigne le logiciel). DEXi est un logiciel d'analyse et d'évaluation créé en 2000 par Marko Bohanec qui a pour objectif de prendre des décisions qualitatives multi attributs. DEXi est une méthode multi attributs, avec une structure hiérarchique qui décompose le problème principal en plusieurs sous problèmes moins complexes (Aouadi, 2011 ; Bohanec, 2008).

Une autre étape importante dans l'EMC est l'agrégation des critères, qui consiste à

synthétiser plusieurs informations en une nouvelle plus importante. L'agrégation se repose sur une pondération qui attribue des poids aux éléments à agréger, et une compensation qui permet de compenser les mauvais résultats obtenus pour un indicateur par de meilleurs résultats obtenus pour un autre. L'agrégation devient alors un moyen de faciliter l'interprétation auprès du public mais il est nécessaire de donner l'accès à une forme désagrégée pour permettre une meilleure interprétation des résultats (Lairez *et al*, 2015). DEXi utilise des attributs qualitatifs dont la valeur est souvent définie par des termes comme « faible », « approprié », « inacceptable » L'obtention d'une appréciation de la durabilité nécessite donc d'appeler des fonctions d'utilité, qui sont définies à l'aide de règles de décision du type « Si ... Alors » (Aouadi, 2011). Ces fonctions d'utilité, impliquant les pondérations, permettent d'agréger l'information nœud par nœud, et d'obtenir une note qualitative pour chaque nœud. Dans le cadre du projet SIMTAP et de mon stage, les indicateurs ont été agrégés par thématique, c'est-à-dire regroupés selon les critères puis les principes qu'ils définissent le mieux.

L'utilisation de DEXi nécessite donc de créer un arbre de décision qui permet, dans notre cas, d'évaluer la durabilité des systèmes étudiés. Pour ce faire, il faut passer par cinq étapes qui permettent de créer un arbre complet :

- Etape 1 : définition du périmètre de l'évaluation. Lors de cette étape, il faut définir qui est impliqué, quels experts seront consultés, pourquoi il faut faire une EMC, quels sont les objectifs ou encore quels systèmes seront évalués.
- Etape 2 : sélection des principes et des critères.
- Etape 3 : définition des indicateurs et saisie des données permettant d'évaluer les critères.
- Etape 4 : définition des valeurs seuils. Elles servent à transformer les données quantitatives récoltées en données qualitatives permettant d'alimenter le modèle.
- Etape 5 : évaluation des critères, pondération et agrégation, qui se fait dans notre cas par thématique. Lors de cette étape, les relations entre les critères sont agrégées nœud par nœud, grâce aux règles de décision de DEXi. De plus, les fonctions d'utilité, impliquant les pondérations, permettent de déterminer les notes attribuées aux critères grâce aux notes que les indicateurs ont obtenues.

Dans le cadre du projet SIMTAP et en amont de mon stage, un premier arbre permettant d'évaluer la durabilité a été créé en lien avec tous les partenaires, qui est appelé l'arbre DexiAqua (Le Feon *et al*, 2021), basé sur les principes du développement durable : environnement (figure 1), économie et social (annexe I).

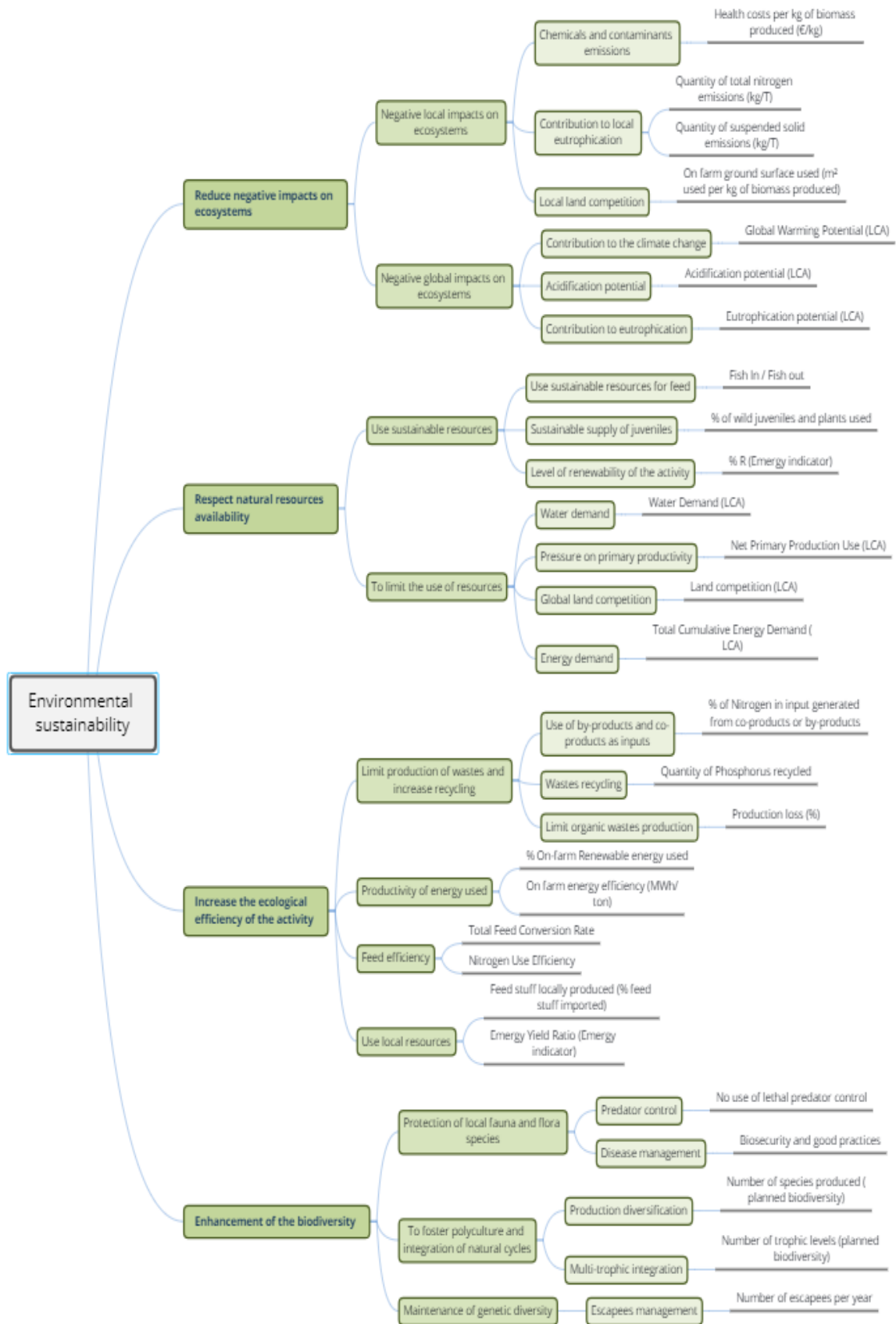


Figure 1 : Branche « Durabilité environnementale » de l'arbre DexiAqua du projet SIMTAP (Le Feon et al., 2021).

Cet arbre implique tous les acteurs de l'aquaculture prêts à faire une évaluation de leur système. Afin de le créer, les experts dans les domaines économique, environnement et social de chaque partenaire ont été réunis pour donner une liste d'indicateurs à évaluer lors de cette étude. Ici, l'EMC permet d'évaluer la durabilité des systèmes aquacoles et de leur donner une appréciation qualitative de celle-ci, tout en ayant pour modèle de référence les systèmes en AMTI. Cette évaluation a aussi pour but de déterminer les « hot spots » c'est-à-dire les points qui doivent être améliorés en priorité pour améliorer la durabilité globale du système (Le Feon *et al*, 2021).

En partant de ce périmètre précédemment établi et de la liste des indicateurs qui choisis pour l'arbre DexiAqua, j'ai créé un deuxième arbre, appelé DexiSIMTAP, en utilisant pour principes les cinq propriétés des exploitations agricoles durables définies par Zahm *et al* en 2019 (autonomie, robustesse, ancrage territorial, capacité productive et responsabilité globale). De plus, pour fournir l'arbre DexiAqua en données, un template a été créé, dans lequel les aquaculteurs entrent des données, qui calcule en sortie les notes pour chaque indicateur. En réorganisant les indicateurs et les critères afin de les attribuer à ces nouveaux principes, je peux donc réutiliser ce template pour récupérer les données nécessaires à l'analyse. Puis, en consultant mon maître de stage et d'autres chercheurs (de l'INRAE ou indépendants), j'ai pu obtenir la version finale de l'arbre DexiSIMTAP, sans pondération (Figure 2, chaque branche est présentée en détail en annexe II). Ce nouvel arbre donne une autre vision de la durabilité qui ne se base pas sur les principes du développement durable, mais qui permet d'obtenir une autre appréciation pour les mêmes exploitations et de comparer les résultats obtenus, tout en réutilisant les outils développés pour DexiAqua. L'objectif de cet arbre n'est donc pas de remplacer DexiAqua mais d'apporter une analyse complémentaire de la durabilité des exploitations.

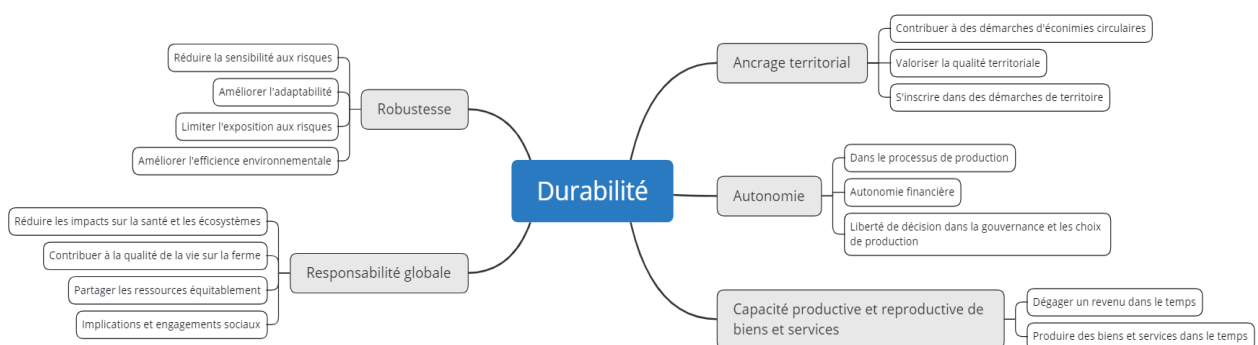


Figure 2 : Principes et critères de l'arbre DexiSIMTAP.

Enfin, pour pondérer les branches du nouvel arbre, nous avons fait appel à une classe de BTS Aquaculture du Lycée de la Mer et du Littoral (LML) à Bourcefranc-le-Chapus (17). Cette classe de deuxième année de BTS comptait 18 étudiants âgés de 18 à 20 ans. Pour pondérer l'arbre, nous avons créé un atelier découpé en plusieurs étapes :

- Etape 1 : hiérarchisation et pondération des principes de l'arbre en commun,
- Etape 2 : hiérarchisation et pondération des branches de l'arbre par groupe de 3 étudiants, chaque groupe ayant deux branches à pondérer (6 branches au total),

- Etape 4 : confrontation des réponses obtenues puis discussion et débat pour arriver à un consensus,
- Etape 5 : application sur un cas fictif (une exploitation de saumon Atlantique en système recirculé ; Wilfart *et al*, 2013) et comparaison des résultats obtenus avec ceux de l'arbre DexiAqua.

Afin de faciliter leur travail et de leur permettre de bien comprendre les critères et indicateurs de l'arbre, j'ai construit un livret d'atelier (Annexe III). Ce livret contient les définitions de chaque principe et indicateur. Grâce à cet atelier, nous avons pu obtenir la forme finale de l'arbre avec toutes les pondérations associées (Annexe II) qui nous permet d'analyser la durabilité des exploitations aquacoles.

2) L'Analyse du Cycle de Vie

Dans le modèle DEXi, certains indicateurs d'impact calculés par l'ACV sont utilisés, tels que le potentiel d'acidification, le potentiel d'eutrophisation, ou encore le potentiel de changement climatique. Il est donc nécessaire de réaliser les ACV des exploitations étudiées afin de pouvoir obtenir ces données. Une ACV est découpée en quatre étapes :

- La définition des objectifs et du champ d'étude : une exploitation aquacole avec la prise en compte de la production des intrants et sortants jusqu'à la porte de la ferme ;
- L'inventaire du cycle de vie : pour cette étape, il est nécessaire de faire l'inventaire de tout ce qu'utilise l'exploitation que ce soit en termes d'infrastructure, d'équipement, ou même de produits chimiques (engrais, aliment...).
- L'évaluation des impacts : ici, on cherche à déterminer les effets du système étudié sur les 6 impacts suivants :
 - o Le potentiel de changement climatique (en kg de CO₂ émis),
 - o Le potentiel d'acidification terrestre et aquatique (en kg de SO₂ émis),
 - o Le potentiel d'eutrophisation (en kg de PO₄³⁻ émis),
 - o La concurrence foncière (en m².année),
 - o La demande énergétique totale (en MJ),
 - o L'utilisation de production primaire (en kg de C).

En ACV, l'évaluation des impacts se fait grâce à l'étape de la caractérisation. La caractérisation prend en compte toutes les substances émises par un élément de l'inventaire et les convertit en un équivalent d'une molécule de référence d'un impact considéré, en prenant en compte un facteur de conversion qui est fixé par des consensus internationaux appelé facteur de caractérisation. Par exemple, un bloc de 1kg d'acier émet du CO₂ et du CH₄ lors de son cycle de vie. Donc, pour caractériser l'impact de ce bloc sur le changement climatique, on convertit les quantités de CO₂ et de CH₄ en kg équivalents CO₂ (kg éq CO₂), molécule choisie comme référence du changement climatique. Puis on somme les masses obtenues ce qui permet de déterminer l'impact du bloc d'acier sur le changement climatique. Cette étape est réalisée sur le logiciel Simapro.

- L'analyse et l'interprétation des résultats.

Pour réaliser ces analyses, nous utilisons le logiciel Simapro. Sur ce logiciel, chaque élément de l'inventaire est entré un à un, soit à l'aide de base de données préexistante qui contiennent déjà les éléments recherchés, soit en créant les éléments de l'inventaire à partir de leur composition (par exemple, pour créer une claire, il faut entrer dans le logiciel l'utilisation d'une pelleuse pour la creuser et l'entretenir ainsi que l'électricité utilisée pour le pompage de l'eau ; Tableaux 1 et 2).

Tableau 1 : Extrait de l'inventaire de l'exploitation expérimentale du lycée de la Mer et du Littoral dans le logiciel Simapro.

Entrées connues de la technosphère (matériaux/carburants)	Quantité	Unité
Oyster, pre-growing, FR/U	1720*0,0448 = 77,1	kg
Clam, pre-growing, FR/U	40	kg
Kuruma shrimp, pre-growing, FR/U	3550	p
Clam net, FR/U	8	p
Coastal pond, FR/U	1830	m2a
Oyster bag, FR/U	18	p
Anti-predator net, polyethylene, FR/U	526	m2
Shed {CH} construction Cut-off, S	15/15 = 1	m2
Mussel, common, raw, processed in FR Chilled PS at distribution/FR	724,5	kg
PVC pipe, 250 mm diameter, polyvilidenchloride, FR/U	40	m
PVC pipe, 50 mm diameter, polyvilidenchloride, FR/U	92	m
PVC pipe, 90 mm diameter, polyvilidenchloride, FR/U	99	m
Plant-based feed, experimental, FR/U	235	kg
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton	0,235*386 = 90,7	tkm
Pump, 1,1 kWh, FR/U	1	p
Sea bass or sea bream, 200-500g, conventional, in cage, at farm gate/FR U	1387*0,211 = 293	kg
Pump 4 kwh/p/FR U	0,75	p

Tableau 2 : Détail des processus nécessaires à la création des claires dans le logiciel Simapro.

Sortants connus vers la technosphère. Produits et co-produits	Quantité	Unité		
Coastal pond, FR/U	1000	m2a		
(Insérer une ligne ici)				
Sortants connus vers la technosphère. Produits évités	Quantité	Unité		
(Insérer une ligne ici)				
Entrées				
Entrées connues de la nature (ressources)	Sous-compartiment	Quantité	Unité	Distribution
Occupation, inland waterbody, unspecified		1667	m2a	Indéfini
(Insérer une ligne ici)				
Entrées connues de la technosphère (matériaux/carburants)	Quantité			
Delimiting/sorting, excavator-based processor {RER} delimiting, with excavator-based proces	21/30 = 0,7			
Delimiting/sorting, excavator-based processor {RER} delimiting, with excavator-based proces	300/120 = 2,5			
(Insérer une ligne ici)				
Entrées connues de la technosphère (électricité/chaueur)	Quantité		Unité	
Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, S	8,7		kWh	
(Insérer une ligne ici)				

Dans le cadre d'un système produisant plusieurs produits ou coproduits différents, comme c'est le cas en AMTI et pour les systèmes étudiés lors de ce stage, il est difficile de calculer les impacts de chaque produit bien qu'on puisse calculer les impacts totaux du système. Pour obtenir les impacts d'un produit ou d'un coproduit pour un système donné, plusieurs méthodes existent en ACV. Celle que nous avons choisi ici est l'allocation qui vise à répartir les impacts des processus communs sur chaque produit proportionnellement à une grandeur choisie et connue pour chacun (Le Feon *et al*, 2020 ; Figure 3).

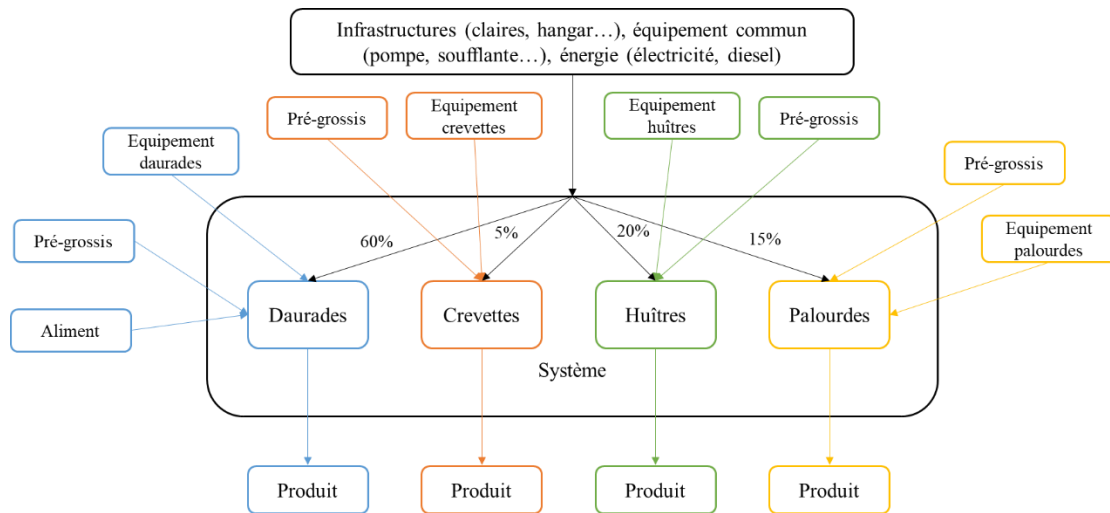


Figure 3 : Allocation des différents processus aux productions de l'exploitation expérimentale du Lycée de la Mer et du Littoral (LML)

Dans le cadre de ce stage, nous avons choisi de travailler sur deux allocations différentes :

- L'allocation massique qui répartit les impacts selon la proportion de la biomasse d'un produit par rapport à la biomasse totale produite par le système,
- L'allocation économique qui répartit les impacts selon la proportion de la valeur totale des ventes issue de l'espèce étudiée.

Une fois toutes ces données collectées et entrées dans le logiciel et les allocations effectuées, les analyses ont été réalisées afin de déterminer quels sont les processus ou les éléments qui ont le plus d'impacts sur le cycle de vie considéré. La méthode d'analyse qui a été retenue est la méthode CML 2 baseline de 2001 développée par l'INRAE.

3) Exploitations étudiées

Deux exploitations ont été étudiées dans le cadre de ce stage. Ces deux exploitations sont situées en Charente-Maritime à proximité des villes de Marennes et d'Oléron. Le climat dans cette région est océanique, l'ensoleillement moyen annuel est de 1461 kWh/m², la température moyenne annuelle est de 13,2°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 827 mm.

La première est l'exploitation expérimentale du lycée de la Mer et du Littoral utilisée dans le cadre du projet SIMTAP. Cette exploitation est située à Bourcefranc-le-Chapus (Figure 4).



Figure 4 : Localisation du Lycée de la Mer et du Littoral (LML).

C'est un système AMTI constitué de cinq claires avec des daurades royales (*Sparus aurata*), des huîtres creuses (*Crassostrea gigas*), des palourdes japonaises (*Ruditapes philipinarum*) et des crevettes kurumas (*Penaeus japonicus*). Les claires sont connectées en cascade avec l'eau circulant par gravité exceptées entre les claires 4 et 7 où l'eau est pompée en continu (figure 5).

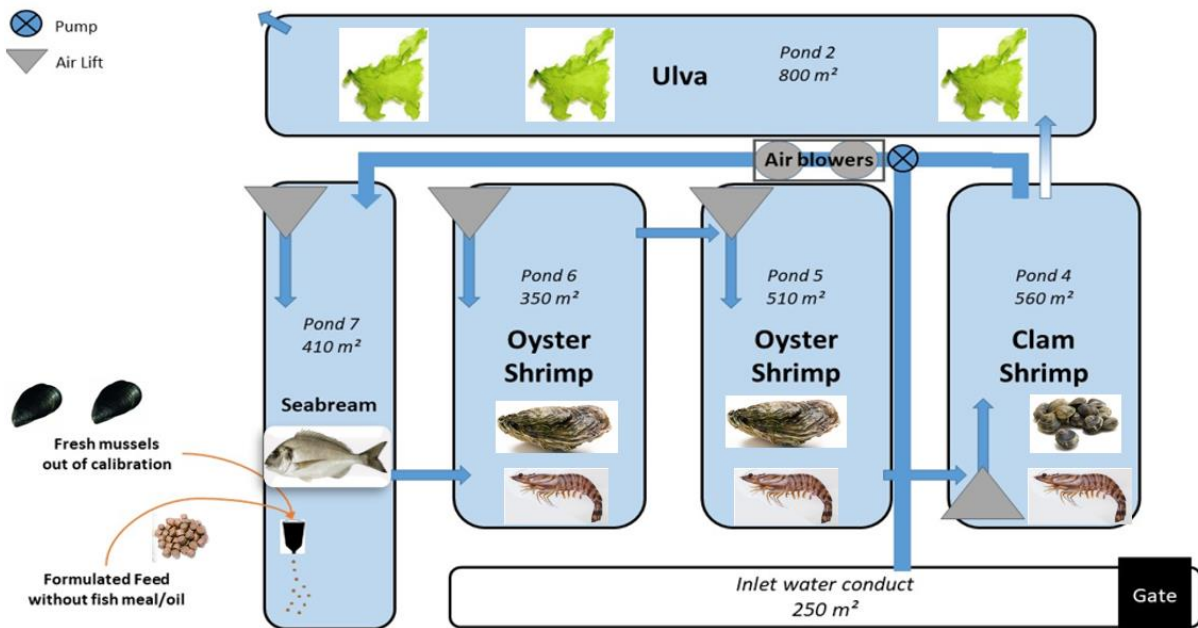


Figure 5 : Représentation du dispositif expérimental du LML.

Seules les daurades sont nourries avec un aliment végétal expérimental dont la composition est donnée dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Composition de l'aliment expérimental utilisé sur l'exploitation du LML.

Ingrédient	Proportion (%)
Farine de gluten de maïs	14,5
Protéine de pois	22
Gluten de blé	8,6
Blé	11,2
DL Méthionine	0,2
Attractant	1,5
Vitamin premix	1,5
Huile de colza	10
Mineral premix	1,5
Huile de lin	7
Phosphate dicalcique	3
Féverole	12
Farine de colza	5
Lécithine de soja	2

Cet aliment granulé est complété par des moules de retrait issues d'une exploitation située à 1,3 km du lycée. Le principe est de faire circuler les nutriments de la claire où sont élevées les daurades vers les autres claires afin qu'ils soient utilisés pour la production notamment de phytoplanctons et de zooplanctons. Ainsi, ils nourrissent les crevettes, les huîtres et les palourdes. Dans la claire 2, une production d'ulves devait permettre d'utiliser les derniers nutriments dissous encore disponibles mais cette production n'a pas fonctionné durant l'année 2020. Le détail de la production de l'année 2020 est donné dans le tableau suivant (Tableau 4) :

Tableau 4 : Production finale de l'exploitation expérimentale du LML en 2020

Espèce	Biomasse récoltée (kg)	Valeur (€/kg)
Daurade royale	418,3	10
Crevette kuruma	42,5	28
Huître creuse	119,7	8,5
Palourde japonaise	92,4	12

La deuxième exploitation est située sur les bords de la Seudre (Figure 6). Elle occupe 30 hectares dont 12 en eau. Cette exploitation fonctionne en polyculture de grossissement d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*), de palourdes japonaises (*Ruditapes philippinarum*) et de crevettes kurumas (*Penaeus japonicus*). Cinq claires sont équipées de serres et de compresseurs d'air qui permettent à l'exploitant de faire du pré-grossissement de crevettes kurumas.



Figure 6 : Localisation de la polyculture étudiée.

L'exploitation produit 14,4 tonnes de coquillages par an (1200 kg par hectare en eau), et 3,6 tonnes de crevettes par an (300 kg par hectare en eau). Cette exploitation distribue quotidiennement un aliment pour vers marins de Alltech Copens contenant 45% de protéines brutes qui nourrit à la fois directement les crevettes mais qui stimule aussi la productivité des claires. Environ 4600 kg d'aliments sont utilisés par an pour les 12 hectares en eau. L'exploitation compte trois employés à temps plein, en prenant en compte le chef de l'exploitation. Leurs salaires sont en moyenne de 1800 € net par mois. Chaque cycle de production est suivi d'une période d'assec durant environ un mois.

En plus de ces deux exploitations qui ont fait l'objet d'ACV et d'une analyse par le modèle DEXi, j'ai créé, dans le cadre des ACV, les étapes d'écloserie et de pré-grossissement pour les crevettes, huîtres et palourdes. Les données pour ces étapes ont été obtenues via des enquêtes auprès des professeurs du lycée de la Mer et du Littoral.

Partie C Résultats

1) Résultats de l'ACV

Tout d'abord, nous avons comparé les impacts obtenus pour les deux exploitations et pour 1000€ de produits aquatiques vendus (figure 6). On observe que l'exploitation de SIMTAP contribue le plus à tous les impacts considérés. Cependant, on voit que la différence entre les deux exploitations est très variable, allant de plus de 90% de différence pour le potentiel d'eutrophisation et l'utilisation de production primaire à environ 10% pour le potentiel de changement climatique (Figure 7).

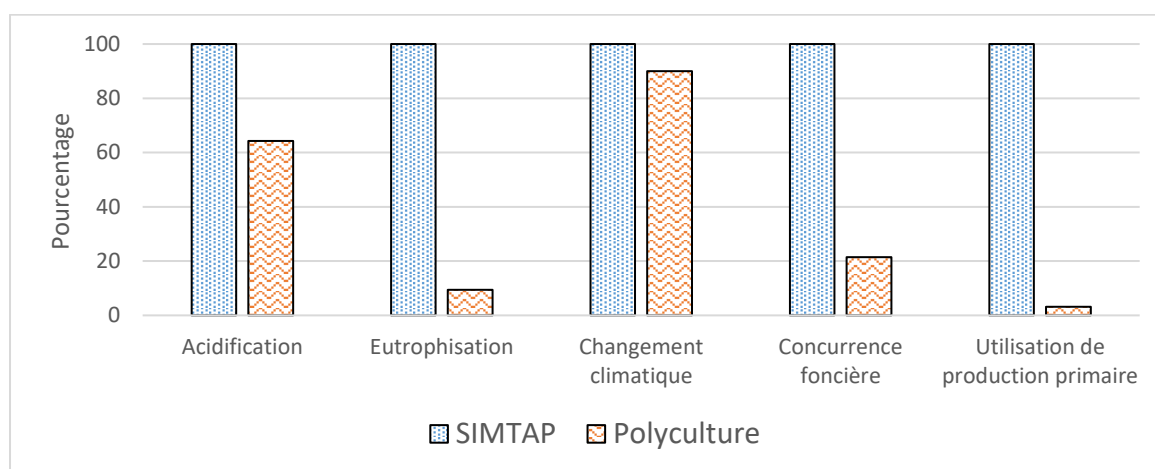


Figure 7 : Impact comparé entre l'exploitation expérimentale et la polyculture pour 1000€ de produits aquatiques vendus.

Afin de comprendre d'où proviennent ces écarts, nous avons réalisé une analyse par exploitation des contributions de chaque espèce élevée aux impacts étudiés (Figures 8 et 9).

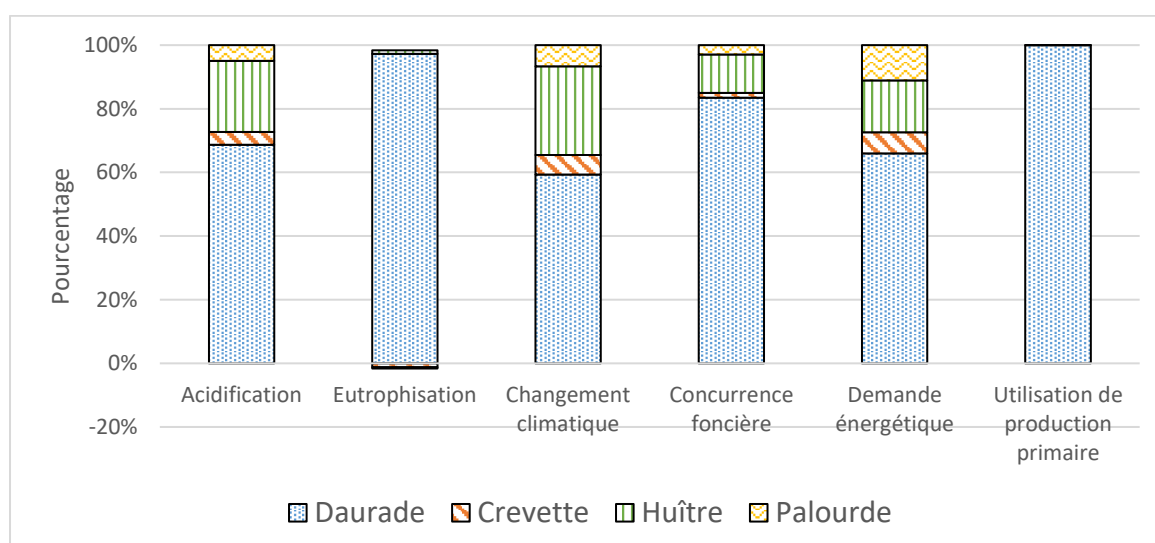


Figure 8 : Analyse des contributions des espèces par catégorie d'impact pour l'exploitation expérimentale.

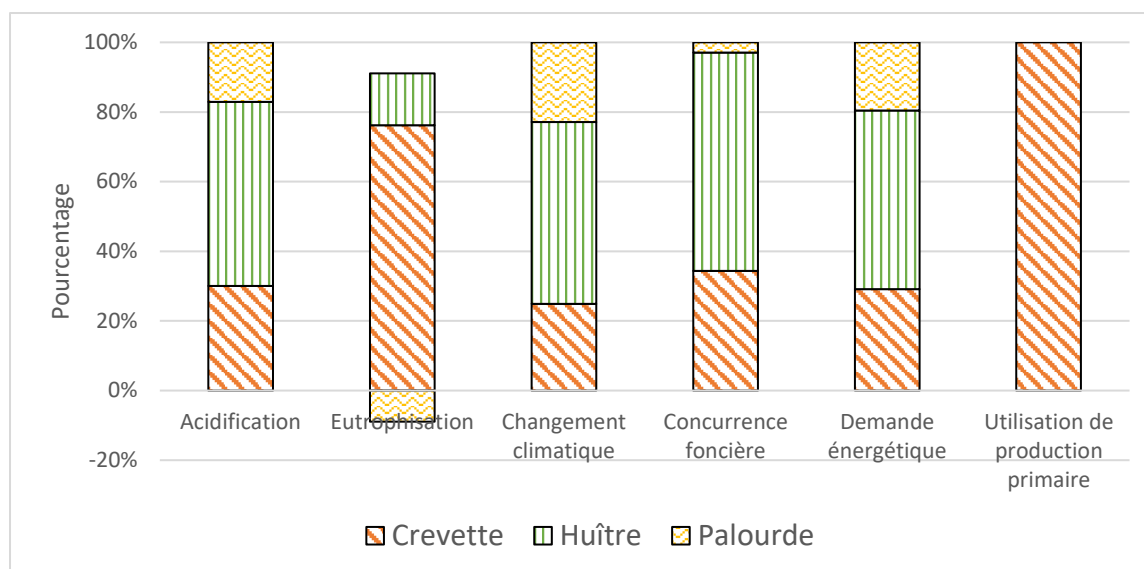


Figure 9 : Analyse des contributions des espèces par catégorie d'impact pour la polyculture étudiée.

Pour la polyculture d'élevage (Figure 9), on voit que les productions de crevettes et d'huîtres contribuent le plus aux différents impacts, et que la production de palourde est très peu impactante en comparaison (jamais plus de 18% de l'impact total). Pour l'exploitation expérimentale de SIMTAP (Figure 8), on observe que la production de daurades est la plus contributrice, avec plus de 65% de contribution pour chaque impact, et près de 100% de contribution au potentiel d'eutrophisation et à l'utilisation de production primaire. La différence entre les deux exploitations provient donc de l'élevage des daurades qui augmente les impacts de l'exploitation sur l'environnement.

Afin de comprendre comment se comportent les différentes productions face aux impacts étudiés, nous avons réalisé des analyses de contributions de la production des produits aquatiques par catégorie d'impact, l'unité fonctionnelle choisie étant 1 kg pour chaque espèce.

a. Potentiel d'acidification

Ici, on observe que les productions de daurades, d'huîtres et de crevettes de polyculture sont celles qui ont le plus d'impact sur le potentiel d'acidification, en allocation économique et massique, avec plus de 0,03 kg éq SO₂ par kg de produit. De plus, la production de palourdes est celle qui a le moins d'impact avec à peine plus de 0,01 kg éq SO₂ (Figures 10 & 11). Pour la production d'huîtres, les animaux pré-grossis représentent plus de 70% de l'impact pour les deux allocations ce qui correspond à plus de 0,022 kg éq SO₂. En ce qui concerne la production des crevettes en polyculture, l'aliment représente 39% de contribution (0,016 kg éq SO₂) et le pré-grossis 30% de contribution (0,012 kg éq SO₂) alors que sur le système de SIMTAP, l'infrastructure est le deuxième plus gros contributeur (Plus de 30% de l'impact soit plus de 0,005 kg éq SO₂). Enfin, l'aliment donné aux dorades représente 35% de l'impact de cette production (0,011 kg éq SO₂) et les animaux pré-grossis 43% de l'impact (0,014 kg éq SO₂). Pour la production de palourdes, ce sont les infrastructures qui contribuent le plus à cet impact avec plus de 45% de contribution (soit plus de 0,005 kg éq SO₂) pour chaque système et chaque allocation (Figures 10 & 11).

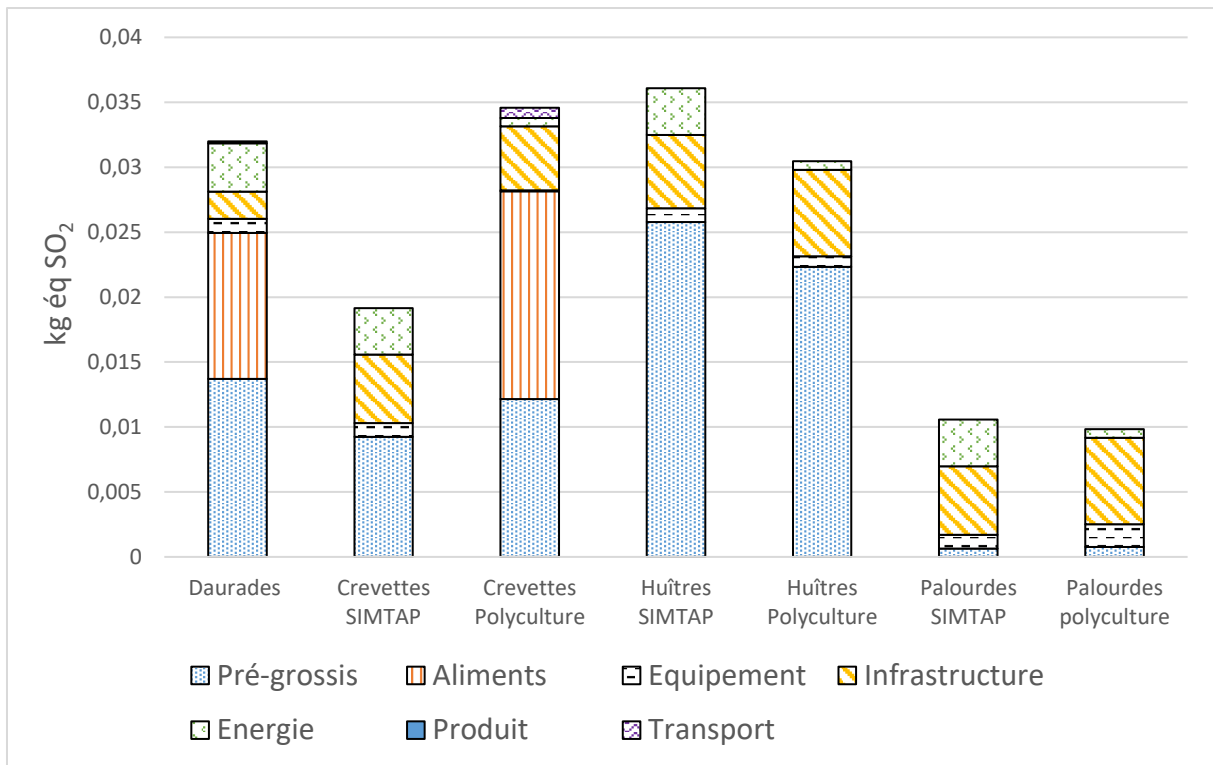


Figure 10 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d'acidification, allocation massique.

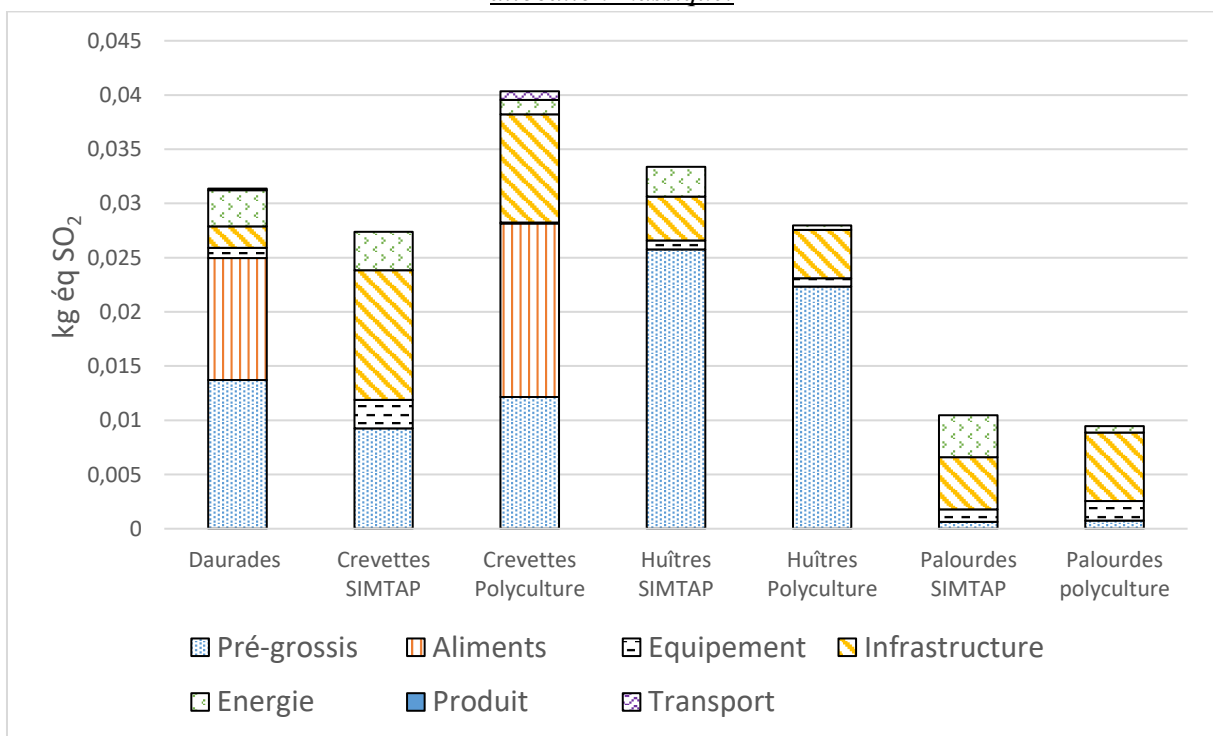


Figure 11 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d'acidification, allocation économique.

b. Potentiel d'eutrophisation

Dans le cas du potentiel d'eutrophisation, on observe que la production de daurades est celle qui a le plus d'impact, avec plus de 0,25 kg éq PO_4^{3-} par kg de produit, en allocation massique (Figure 12). En comparaison, les crevettes de polyculture sont la deuxième production la plus impactante, avec moins de 0,1 kg éq PO_4^{3-} , soit plus de 50% de moins que la production de daurades (Figure 12). Les résultats obtenus en allocation économique sont équivalents (Annexe IV, figure IV.1).

En ce qui concerne la production de daurades, on voit que les animaux pré-grossis représentent la majeure partie de l'impact (environ 82% de l'impact, soit 0,2 kg éq PO_4^{3-}). Le reste de l'impact est émis par les daurades produites. Cependant, les émissions des daurades, qui correspondent à 0,044 kg éq PO_4^{3-} , sont totalement compensées par ce que fixent les crevettes, huîtres et palourdes du système qui représente 0,049 kg éq PO_4^{3-} . Ceci permet au système en lui-même d'être neutre sur le potentiel d'eutrophisation, les émissions provenant essentiellement de l'amont de l'exploitation. Pour ce qui est de la polyculture d'élevage, les crevettes sont les plus impactantes, et les produits représentent près de 80% de l'impact (0,07 kg éq PO_4^{3-}) mais, contrairement au système de SIMTAP, la production d'huîtres et de palourdes ne permet pas de compenser cette émission.

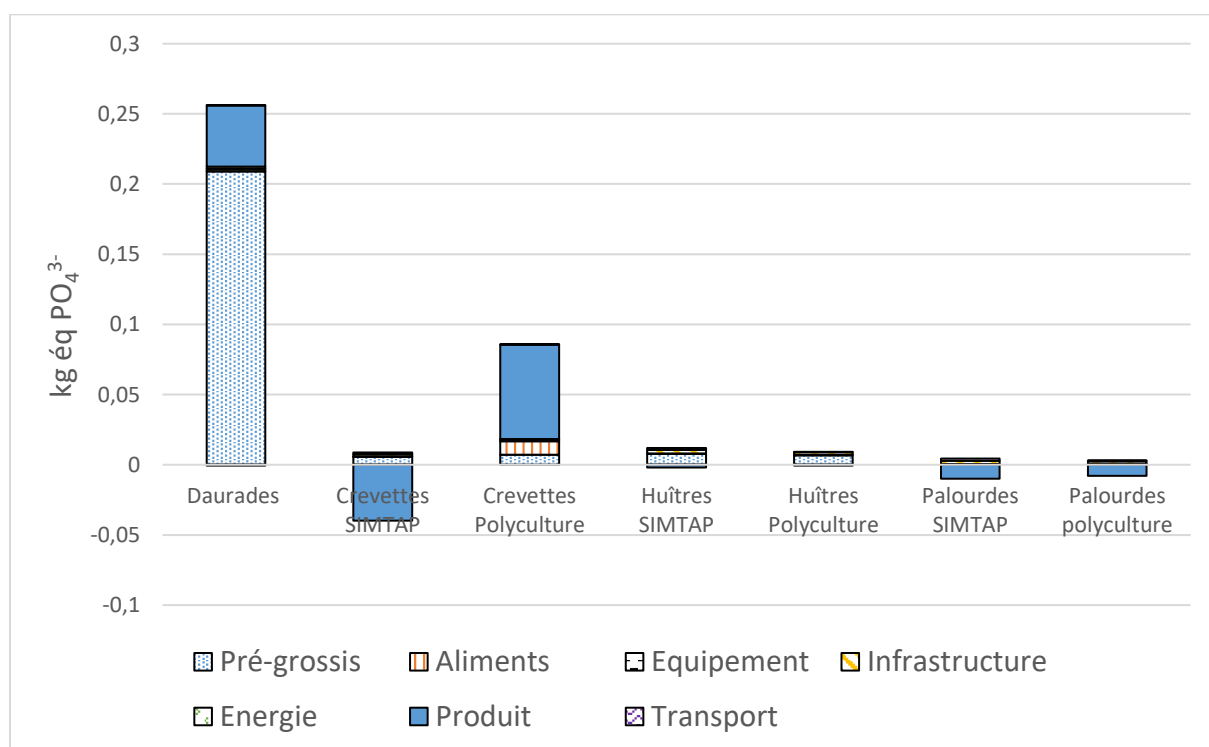


Figure 12 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d'eutrophisation, allocation massique.

c. *Potentiel de changement climatique*

Sur la figure 13, on observe que la production d’huîtres contribue le plus au potentiel de changement climatique, avec plus de 5,5 kg éq CO₂ par kg de produit dans les deux systèmes, tandis que la production de palourdes est celle qui contribue le moins à cet impact, avec moins de 2,5 kg éq CO₂. De plus, on voit que pour la majorité des espèces, la production des animaux pré-grossis contribue le plus à cet impact, avec plus de 40% de contribution au minimum et jusqu’à près de 70%, sauf pour les palourdes, pour lesquelles les infrastructures impactent le plus sur le potentiel de changement climatique (plus de 55% de l’impact, soit plus de 1,05 kg éq CO₂).

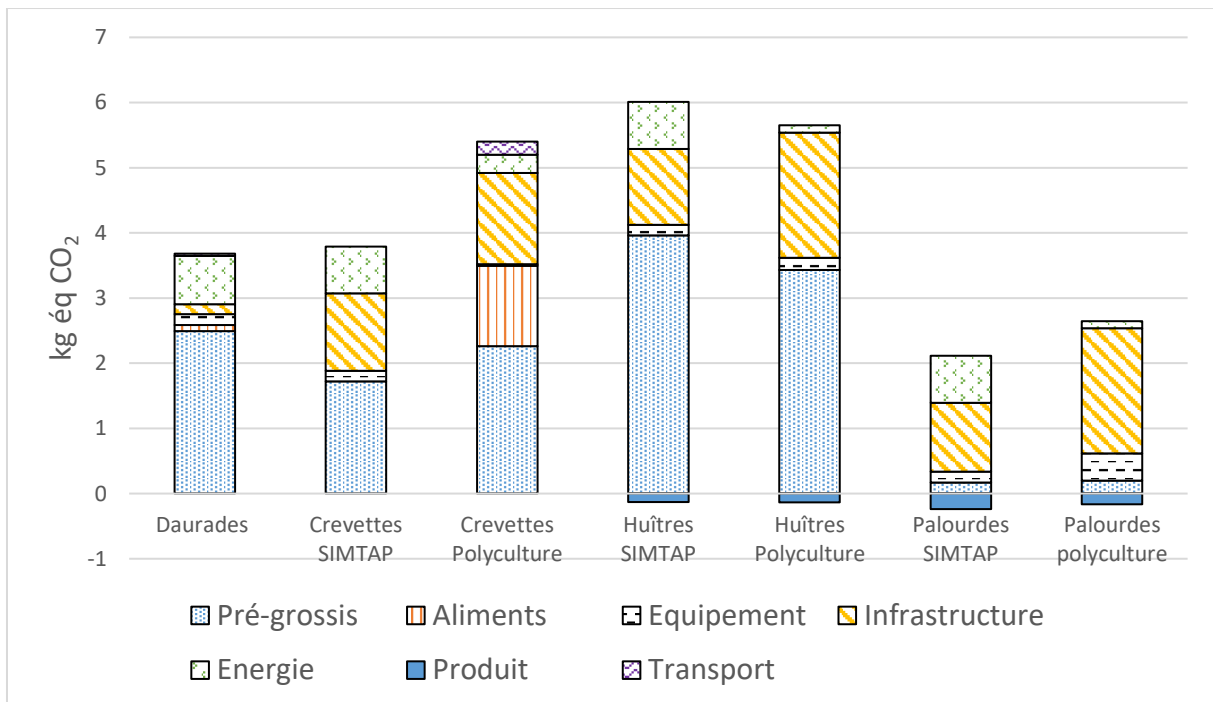


Figure 13 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel de changement climatique, allocation massique.

Pour ce qui est de l’allocation économique (Figure 14), la production de crevettes devient la première source d’impact dépassant la production d’huîtres dans les deux systèmes. Si les animaux pré-grossis restent les plus gros contributeurs pour la production des daurades et des huîtres, les infrastructures le deviennent pour la production des crevettes, avec plus de 42% de l’impact, soit plus de 2,6 kg éq CO₂. Pour la production des palourdes qui reste la plus faible source d’impact, on n’observe ici aucun changement par rapport à l’allocation massique.

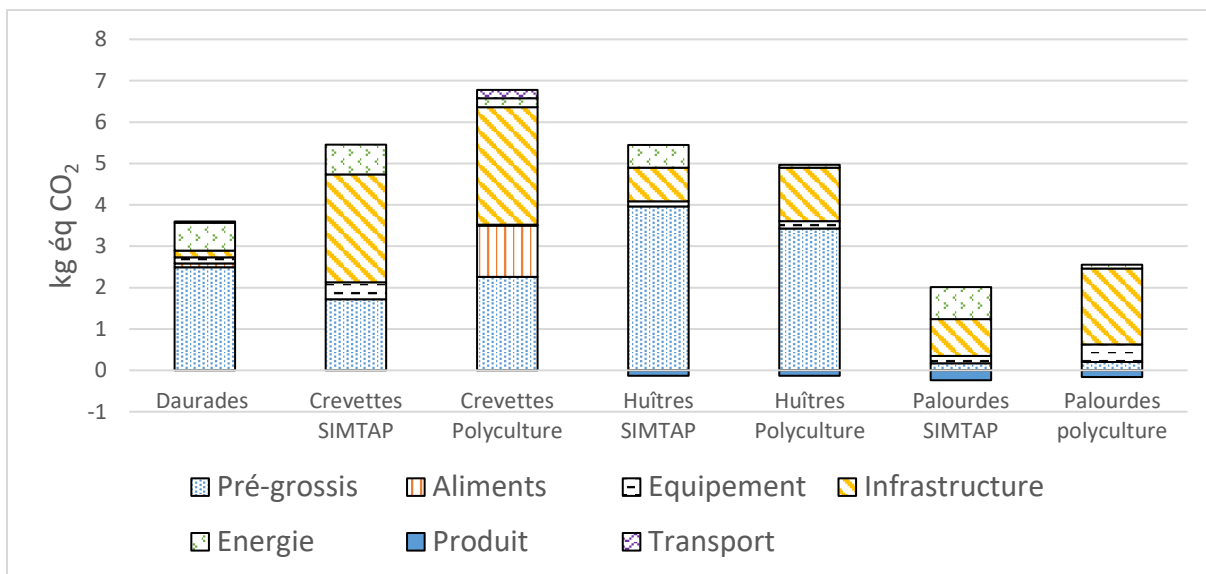


Figure 14 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel de changement climatique, allocation économique.

d. Concurrence foncière

Sur la figure 15, on voit que la production de daurades est celle qui utilise le plus d'espace avec environ 8 m².année par kg de produit. De plus, on observe que c'est l'aliment qui contribue le plus à cette occupation de l'espace avec près de 70% de contribution pour les daurades (5,6 m².année) et environ 90% pour les crevettes de polyculture qui sont nourries. La production occupant le moins d'espace est celle des palourdes avec à peine plus de 1 m².année pour le système de SIMTAP et environ 0,1 m².année pour le système de polyculture. Pour cette production, ce sont les infrastructures qui contribuent le plus avec environ 94% de contribution pour le système de SIMTAP et environ 65% pour le système de polyculture. En allocation économique, les résultats sont équivalents (Figure IV.2)

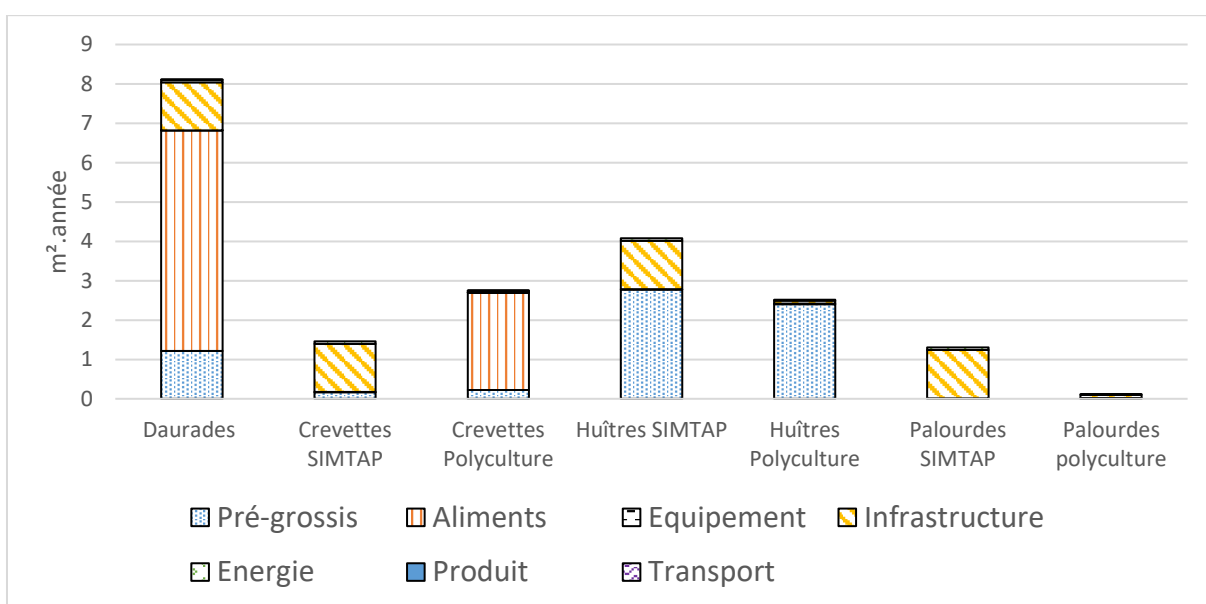


Figure 15 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la concurrence foncière, allocation massique.

e. Demande énergétique totale

En ce qui concerne la demande énergétique totale, on peut constater que les espèces élevées dans le système de SIMTAP ont plus d'impact que les espèces du système de polyculture, et qu'elles demandent toutes une quantité d'énergie proche (entre 220 et 280 équivalents MJ par kg de produit). De plus, on voit que le plus gros contributeur sur cet impact est l'énergie utilisée par le système (entre 52 et 84% de contribution) ce qui semble cohérent. Le deuxième plus gros contributeur est la production des animaux pré-grossis (entre 22 et 37% de contribution) sauf pour les palourdes pour lesquelles l'énergie (dans le cas des palourdes de l'électricité et du diesel) domine largement (environ 84% de l'impact, le reste étant plutôt également réparti) (Figure 16). En allocation économique, les résultats obtenus sont équivalents (Figure IV.3)

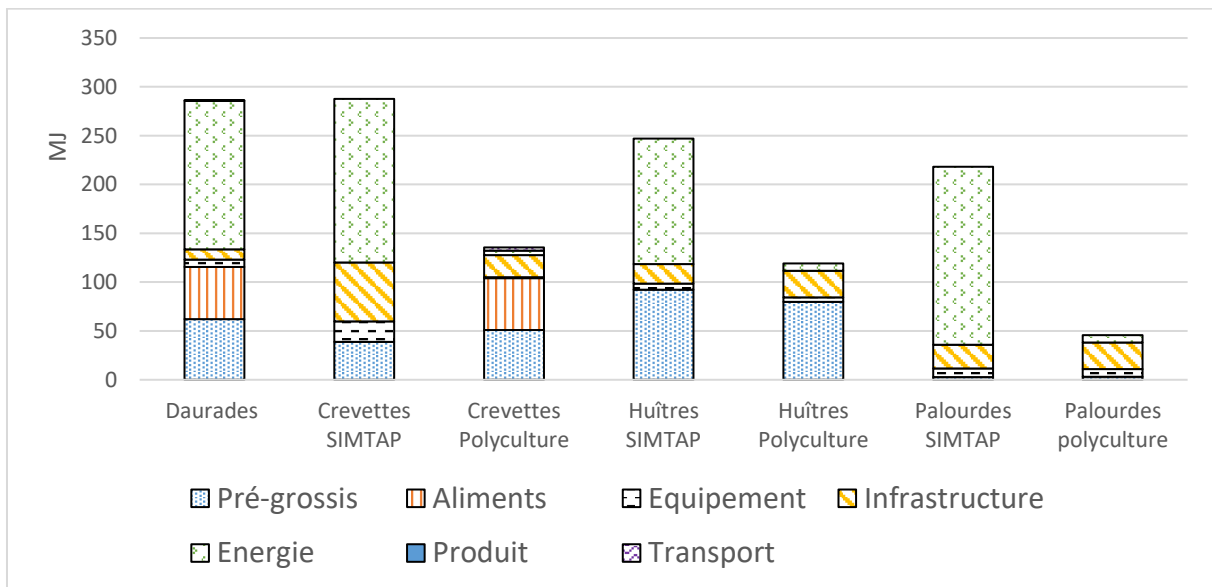


Figure 16 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la demande énergétique totale, allocation massique.

f. Utilisation nette de production primaire

Sur la figure 17, on observe que l'utilisation nette de production primaire associée à la production des daurades domine complètement celle faite par les autres productions. En effet, la production des daurades consomme environ 26 kg de carbone par kg de produit alors que la deuxième production qui en consomme le plus est la production de crevettes de polyculture qui ne consomme que 3,2 kg de carbone. De plus, c'est la production des pré-grossis de daurades qui contribue le plus à cet impact avec environ 96% de contribution soit environ 25 kg de carbone. En allocation économique, on obtient des résultats équivalents (Figure IV.4)

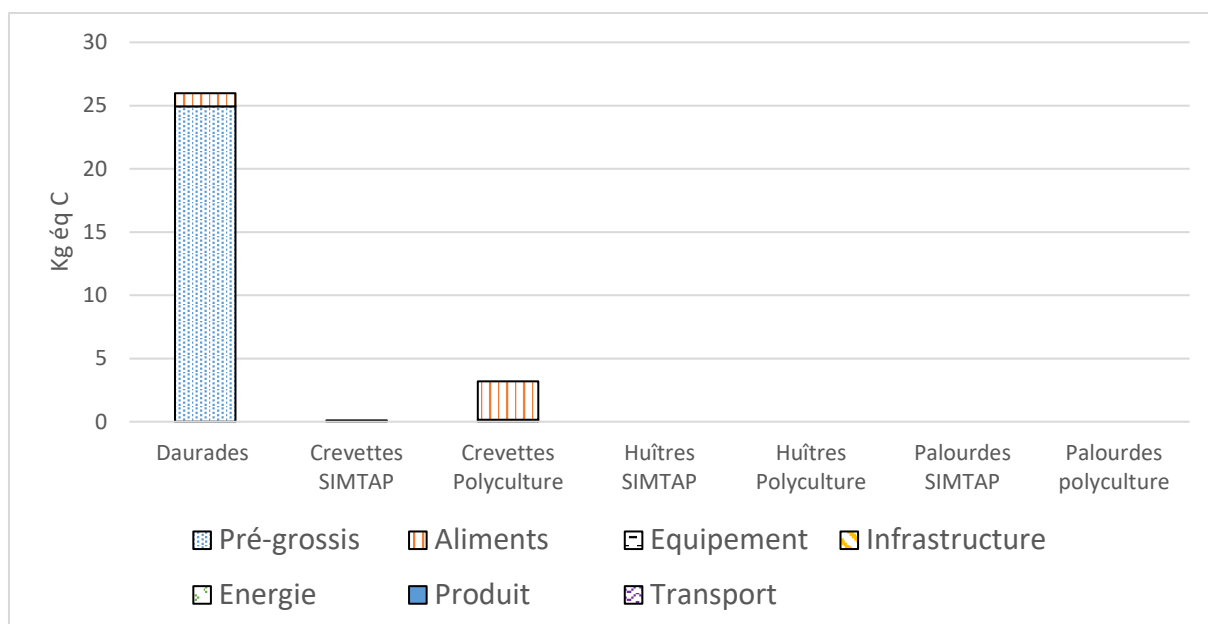


Figure 17 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à l'utilisation de production primaire, allocation massique.

Grâce aux résultats obtenus avec l'ACV, nous avons pu utiliser le modèle DEXi avec l'arbre DexiSIMTAP afin d'obtenir une notation de la durabilité globale des exploitations étudiées.

2) Résultats du modèle DEXi

Pour chaque exploitation, nous avons pu obtenir une appréciation de la durabilité grâce au modèle DexiSIMTAP ainsi que les appréciations de chaque indicateur, sous-critère, critère et principe. Les résumés de ces appréciations obtenues sont compilés dans le tableau 5 pour l'exploitation de SIMTAP et dans le tableau 6 pour la polyculture. Ainsi, on observe que les deux systèmes ont obtenu la même note de durabilité globale, qui est « Medium to High », avec des scores égaux pour chaque principe. On peut cependant observer les premières différences au niveau des critères puisque le système de SIMTAP obtient un meilleur score pour, par exemple, les implications et engagements sociaux ou encore la valorisation de la qualité du territoire mais de moins bons scores pour le partage équitable des ressources ou encore l'amélioration de l'adaptabilité (qui reste bonne pour le système de SIMTAP malgré tout, tableaux 5 & 6).

De plus, si on regarde au niveau des indicateurs, on observe que les deux systèmes obtiennent de très bons scores sur les impacts environnementaux, qui sont ceux issus de l'ACV, avec des scores souvent égaux à « Low » soit le minimum possible. Ils obtiennent également de très bons scores pour les valeurs des productions (« Very High ») mais on peut constater que l'accessibilité des produits obtient un faible score (« Very Low »). Le système de SIMTAP obtient également de très bons scores pour l'utilisation de ressources durables (critère « améliorer l'efficacité environnementale », « Very High ») et la contribution au développement local. Cependant, le système obtient un mauvais score sur la santé du cheptel, avec notamment des pertes de production ayant un score de « Very High », et aussi sur l'efficacité énergétique de la ferme (« Low »). L'exploitation en polyculture obtient quant à elle de moins bons scores pour la promotion de la qualité du territoire (« Medium » contre

« High »), notamment à cause d'une moins bonne implication professionnelle (moins de participation à des séminaires par exemple, score de « Low »). Une comparaison complète des deux systèmes est présentée en annexe V.

Tableau 5 : Résumé des appréciations obtenues par le modèle DexiSIMTAP pour l'exploitation expérimentale de SIMTAP.

Représentation de la durabilité - exploitation de SIMTAP	Principe	Score	Critère	Score
	Autonomie	High	Dans le processus de production	High
	Robustesse	High	Autonomie financière	High
			Liberté de décision dans la gouvernance et les choix de production	Medium
			Réduire la sensibilité aux risques	Medium
	Ancrage territorial	Medium	Améliorer l'adaptabilité	High
			Limiter l'exposition aux risques	High
			Améliorer l'efficacité environnementale	Very High
	Capacité productive	Medium	Contribuer à des démarches d'économies circulaires	High
			Valoriser la qualité territoriale	High
			S'inscrire dans des démarches de territoire	Low
Responsabilité globale	Medium	Dégager un revenu dans le temps	High	
		Produire des biens et des services dans le temps	Low	
		Réduire les impacts sur la santé et les écosystèmes	Medium	
			Contribuer à la qualité de la vie sur la ferme	Medium
			Partager les ressources équitablement	Low
			Implications et engagements sociaux	High

Score global : Medium to High

Tableau 6 : Résumé des appréciations obtenues par le modèle DexiSIMTAP pour la polyculture.

Représentation de la durabilité - polyculture d'élevage	Principe	Score	Critère	Score
	Autonomie	High	Dans le processus de production	High
	Robustesse	High	Autonomie financière	High
			Liberté de décision dans la gouvernance et les choix de production	Medium
			Réduire la sensibilité aux risques	Medium
	Ancrage territorial	Medium	Améliorer l'adaptabilité	Very High
			Limiter l'exposition aux risques	High
			Améliorer l'efficacité environnementale	High
	Capacité productive	Medium	Contribuer à des démarches d'économies circulaires	High
			Valoriser la qualité territoriale	Medium
			S'inscrire dans des démarches de territoire	Low
Responsabilité globale	Medium	Dégager un revenu dans le temps	Medium	
		Produire des biens et des services dans le temps	Low	
		Réduire les impacts sur la santé et les écosystèmes	Medium	
			Contribuer à la qualité de la vie sur la ferme	Very High
			Partager les ressources équitablement	Medium
			Implications et engagements sociaux	Medium

Score global : Medium to High

Partie D

Discussion & conclusion

Discussion

Le système SIMTAP est plus impactant que le système de polyculture, notamment à cause de la production de daurades qui contribue le plus aux différents impacts qui ont été étudiés. Si on s'intéresse plus particulièrement à cette production de daurades, on remarque que la plus grosse source d'impact est la production des pré-grossis. En effet, l'exploitation de SIMTAP utilise au départ des individus pesant déjà 200g. Pour l'analyse, nous avons choisi un élevage de daurades en cage en mer ; n'ayant pas pu enquêter auprès de la société produisant ces animaux en bassins en circuit fermé. Si on analyse la production de ces poissons pré-grossis, on observe que c'est l'utilisation en grande quantité d'un aliment classique, avec farine et huile de poisson, qui pose le plus de problèmes notamment en terme d'acidification, de changement climatique, d'utilisation de production primaire, de demande énergétique et de concurrence foncière. En ce qui concerne l'eutrophisation, les impacts les plus importants proviennent des émissions des daurades pré-grossis produites allant de l'aliment non consommé jusqu'aux nutriments dissous qu'elles émettent (Annexe VI, figure VI.1).

L'impact de la production des huîtres est un autre point important à relever. En effet, si on compare toutes les productions sur une même unité fonctionnelle, on observe que la production d'huîtres est très impactante encore une fois à cause des animaux pré-grossis. Si on s'intéresse à l'analyse de la production des pré-grossis (Figure VI.2), on peut voir que c'est la consommation de diesel par l'exploitation ainsi que la quantité de machines nécessaires à la production qui rendent le pré-grossissement des huîtres très impactant. L'exploitation qui a été utilisée pour estimer les impacts du pré-grossissement est l'exploitation pédagogique du LML qui produit 13 à 15 tonnes d'huîtres par an.

En étudiant l'aliment, on peut constater que l'utilisation d'un aliment végétal complétement par des moules de retrait permet de réduire l'impact sur le potentiel d'acidification, sur le potentiel d'eutrophisation, sur le potentiel de changement climatique et sur l'utilisation de production primaire, mais il augmente l'impact sur la concurrence foncière (Figures 10 à 17). Ceci est dû au fait que cet aliment végétal ne contient pas de farine et d'huile de poissons qui génèrent de gros impacts sur l'environnement comme nous avons pu le constater avec la production des daurades pré-grossis (Figure VI.1). Il pourrait alors être intéressant de combiner un aliment végétal, un aliment classique et des moules de retrait afin d'observer comment se comporte le système face aux impacts étudiés.

Lorsqu'on s'intéresse à la durabilité de ces exploitations évaluées avec l'outil DexiSIMTAP, le score global obtenu est satisfaisant. Les bons scores obtenus par les exploitations pour les valeurs des productions proviennent du fait que les deux systèmes élèvent des espèces à forte valeur ajoutée avec un prix de vente élevé. Cependant, ceci réduit le score pour l'indicateur d'accessibilité des produits. Les bons scores obtenus sur la partie environnementale, issus des indicateurs d'impact de l'ACV, sont très encourageants quant à la capacité des systèmes de polyculture ou d'AMTI à diminuer leurs impacts environnementaux par rapport aux systèmes conventionnels grâce à la réutilisation des nutriments par l'association des espèces. De plus, le système SIMTAP obtient un très bon score pour l'utilisation de

ressources durables car ce système utilise un aliment végétal ne contenant pas de farine et d'huile de poissons qui sont des ressources très impactantes sur cet indicateur. Le mauvais score obtenu en perte de production s'explique par la perte de 30 kg crevettes de la claire 5 à cause d'un aléa météorologique. Il pourrait ainsi être intéressant de faire une analyse ne prenant pas en compte ces pertes ponctuelles afin de connaître le score que le système aurait pu obtenir. Pour finir sur le système de SIMTAP, le faible score obtenu pour l'efficacité énergétique de la ferme provient de la nécessité de pomper de l'eau en entrée du système et pour faire circuler l'eau de la claire 2 à la claire 7 (celle contenant les daurades), alors que le système de polyculture, situé au bord de la Seudre, utilise les marées pour vider et remplir ses claires et donc n'utilise aucun pompage. Le système de polyculture étant une entreprise privée, il est normal qu'il obtienne de moins bons scores en implication professionnelle et en promotion de la qualité du territoire, contrairement au système de SIMTAP qui s'inscrit dans un projet européen et qui est situé au sein du LML.

Enfin, nous avons comparé les scores de durabilité obtenus avec DexiSIMTAP avec ceux obtenus avec DexiAqua. Ainsi, nous avons les mêmes scores globaux pour les deux exploitations (« Medium to High »), avec un score en environnement de « High » et un score en social de « Medium ». Sur la partie économique, une différence entre les deux systèmes est observée puisque le système SIMTAP obtient « High » tandis que la polyculture obtient « Medium », grâce à une meilleure viabilité du système SIMTAP (« High » contre « Medium » pour la polyculture). Comparer les deux résultats permet alors d'obtenir une autre vision de la durabilité et de fournir une deuxième analyse moins classique que celle se basant sur les piliers du développement durable.

Cependant, cette étude montre quelques limites. Tout d'abord, en ce qui concerne l'ACV, le choix de prendre des daurades pré-grossies élevées en cage en mer ne correspond pas exactement à ce qui a été fait sur le système SIMTAP puisque celles de cette exploitation proviennent d'un système recirculé avec élevage en bassin. Ainsi, les scores obtenus pour les différents impacts pourraient être très différents, notamment pour l'eutrophisation, puisqu'en bassin il est plus facile de gérer la quantité d'aliments donnée aux animaux et la filtration de l'eau permet de réduire en partie les émissions. Pour la demande énergétique ces systèmes peuvent s'avérer très énergivores contrairement à l'élevage en cage en mer. De plus, l'exploitation d'huîtres choisie est l'exploitation pédagogique du LML qui dispose de beaucoup plus de machines que nécessaire pour leur production. Lors de l'entretien avec les responsables de l'exploitation, ils nous ont dit qu'une exploitation classique pourrait produire, avec leurs infrastructures et leurs équipements, près de 80 tonnes par an alors qu'en exploitation pédagogique, ils produisent 13 à 15 tonnes par an. En ce qui concerne le modèle DEXi, la qualité de l'analyse pourrait être améliorée, certaines données ayant été estimées car manquantes. Nous avons choisi, dans certains cas, la plus mauvaise option afin d'avoir un score soit égal, soit meilleur si ces données pouvaient être estimées par la suite. De plus, les pondérations ont été construites en lien avec une classe de BTS qui sont sensibles aux aspects de production que sociaux. D'autres pondérations pourraient ainsi donner des résultats différents.

Conclusion

Pour conclure, nous avons pu voir que les systèmes de polyculture et d'AMTI ont obtenu des scores de durabilité satisfaisants, notamment grâce aux impacts environnementaux réduits par l'association des différentes espèces qui permettent d'utiliser les nutriments non consommés ou émis par les autres espèces. Certains points de l'analyse pourraient être améliorés notamment pour le choix des animaux pré-grossis. Mais nous avons aussi pu constater que l'élevage de daurades dans le système AMTI augmente les impacts sur l'environnement par rapport au système de polyculture car l'élevage des premiers stades de vie des daurades est très impactant. Cet impact important est particulièrement dû à l'utilisation de grandes quantités d'aliments contenant farines et huiles de poissons qui sont des ressources peu durables et qui contribuent beaucoup aux impacts étudiés.

Afin d'aller plus loin dans ce travail d'évaluation de la durabilité et de confirmer ou non les résultats obtenus, il pourrait être intéressant d'étudier le système de SIMTAP tel qu'il a été fait en 2021 et de comparer ses performances de nouveau au système de polyculture. Pour étayer l'analyse, il serait aussi pertinent de comparer ces deux systèmes à d'autres systèmes existants soit déjà étudiés dans la littérature, soit en faisant l'ACV et l'analyse grâce au modèle DEXi de nouvelles exploitations. De plus, il serait opportun, pour diminuer l'impact des daurades pré-grossies, de tester le système avec des daurades d'une taille inférieure ou avec une autre espèce, comme le mulot par exemple, qui est une espèce avec un régime alimentaire très large. Nous pourrions aussi refaire ces analyses en prenant en compte les élevages des animaux pré-grossis qui ont été utilisés par le système, et non pas en approximant leurs impacts par des systèmes qui ont été évalués antérieurement, ou par les impacts d'une exploitation pédagogique. Enfin, même si, lors de ce stage, nous avons étudié des systèmes de polyculture ou d'AMTI, les outils qui ont été développés permettent d'étudier tout type de système aquacole. Il serait donc intéressant de les utiliser pour déterminer les scores de durabilité d'une plus grande diversité d'exploitations.

Bibliographie

- Aouadi N** (2011) DEXiPM-vigne: un outil d'évaluation multicritère de stratégies phytosanitaires en viticulture. CIHEAM-IAMM, Montpellier
- Aubin J, Rey-Valette H, Mathé S, Wilfart A, Legendre M, Slembrouck J, Chia E, Masson G, Callier M, Blancheton JP, et al** (2014) Guide de mise en oeuvre de l'intensification écologique pour les systèmes aquacoles.
- Bjorn D, Mazijn B** (2012) Manuel pour l'utilisation de l'analyse des coûts du cycle de vie (ACCV) dans les marchés publics (durables). SPP Développement Durable
- Bohanec M** (2008) DEXi : Program for multi-attribute decision making. User's manuel. 69
- Bohnes FA, Hauschild MZ, Schlundt J, Laurent A** (2019) Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Rev Aquacult* **11**: 1061–1079
- Buck BH, Troell MF, Krause G, Angel DL, Grote B, Chopin T** (2018) State of the Art and Challenges for Offshore Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Front Mar Sci*. doi: 10.3389/fmars.2018.00165
- Caillet R** (2003) Analyse multicritère : Étude de comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie. CIRANO
- Chia E, Rey-Valette H, Lazard J, Clément O, Mathé S** (2009) Évaluer la durabilité des systèmes et des territoires aquacoles: proposition méthodologique. *Agriculture* **18**: 211–219
- Chopin T, Robinson SMC, Troell M, Neori A, Buschmann AH, Fang J** (2008) Multitrophic Integration for Sustainable Marine Aquaculture. *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, pp 2463–2475
- FOESA** (2010) Définition d'indicateurs de durabilité dans l'aquaculture méditerranéenne. Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid
- Gascuel D, Le Bris H** (2011) La pêche et l'aquaculture face aux enjeux du développement durable : états des lieux et diagnostics : enjeux environnementaux. France, p 4
- Guenec T, Tocqueville A, Aubin J, Timsit M, Michel G** (2010) Guide méthodologique: les indicateurs de durabilité pour l'aquaculture. CIPA, Comité interprofessionnel des produits de l'aquaculture, Paris (32 rue de Paradis)
- Jolliet O, Saadé M, Crettaz P, Jolliet-Gavin N, Shaked A** (2017) Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan (1^{ère} édition). Presse polytechnique et universitaire romande. ISBN : 9782889151356

- Lairez J, Feschet P, Aubin J, Bockstaller C, Bouvarel I** (2015) Agriculture et développement durable: guide pour l'évaluation multicritère.
- Lairez J, Feschet P, Botreau R, Bockstaller C, Fortun-Lamothe L, Bouvarel I, Aubin J** (2018) L'évaluation multicritère des systèmes d'élevage pour accompagner leurs évolutions : démarches, enjeux et questions soulevées. *INRA Prod Anim* **30**: 255–268
- Le Féon S, Aubin J, Gac A, Lapasin C, Wilfart A** (2020) Allocation factors for meat coproducts: Dataset to perform life cycle assessment at slaughterhouse. *Data in Brief* **33**: 106558
- Le Féon S, Dubois T, Jaeger C, Wilfart A, Akkal-Corfini N, Bacenetti J, Costantini M, Aubin J** (2021) DEXiAqua, a Model to Assess the Sustainability of Aquaculture Systems: Methodological Development and Application to a French Salmon Farm. *Sustainability* **13**: 7779
- Mami F** (2015) Éco-efficience et analyse des coûts du cycle de vie : développement d'un outil d'aide à la conception dans l'industrie aéronautique. masters. École Polytechnique de Montréal
- Prabhu R, Colfer CJP, Dudley RG** (2000) Directives pour le développement, le test et la sélection de critères et indicateurs pour une gestion durable des forêts. CIRAD, Montpellier
- Rey-Valette H, Clement O, Aubin J, Mathe S, Chia E, Legendre M, Caruso D, Mikolasek O, Blancheton JP, Slembrouck J, et al** (2008) Guide de co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture. EVAD, Montpellier
- Sadok W, Angevin F, Bergez J-É, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Doré T** (2008) Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agron Sustain Dev* **28**: 163–174
- Wilfart A, Prudomme J, Blancheton JP, Aubin J** (2013) LCA and emergy accounting of aquaculture systems : Towards ecological intensification. *Journal of Environmental Management*. **121** : 96-109
- Zahm F, Alonso Ugaglia A, Barbier J-M, Boureau H, Del'homme B, Gafsi M, Gasselin P, Girard S, Guichard L, Loyce C, et al** (2019) Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cah Agric* **28**: 5

Annexe I

Branches « Durabilité économique » et « Durabilité sociale » de l'arbre DexiAqua (Le Feon *et al.*, 2021)

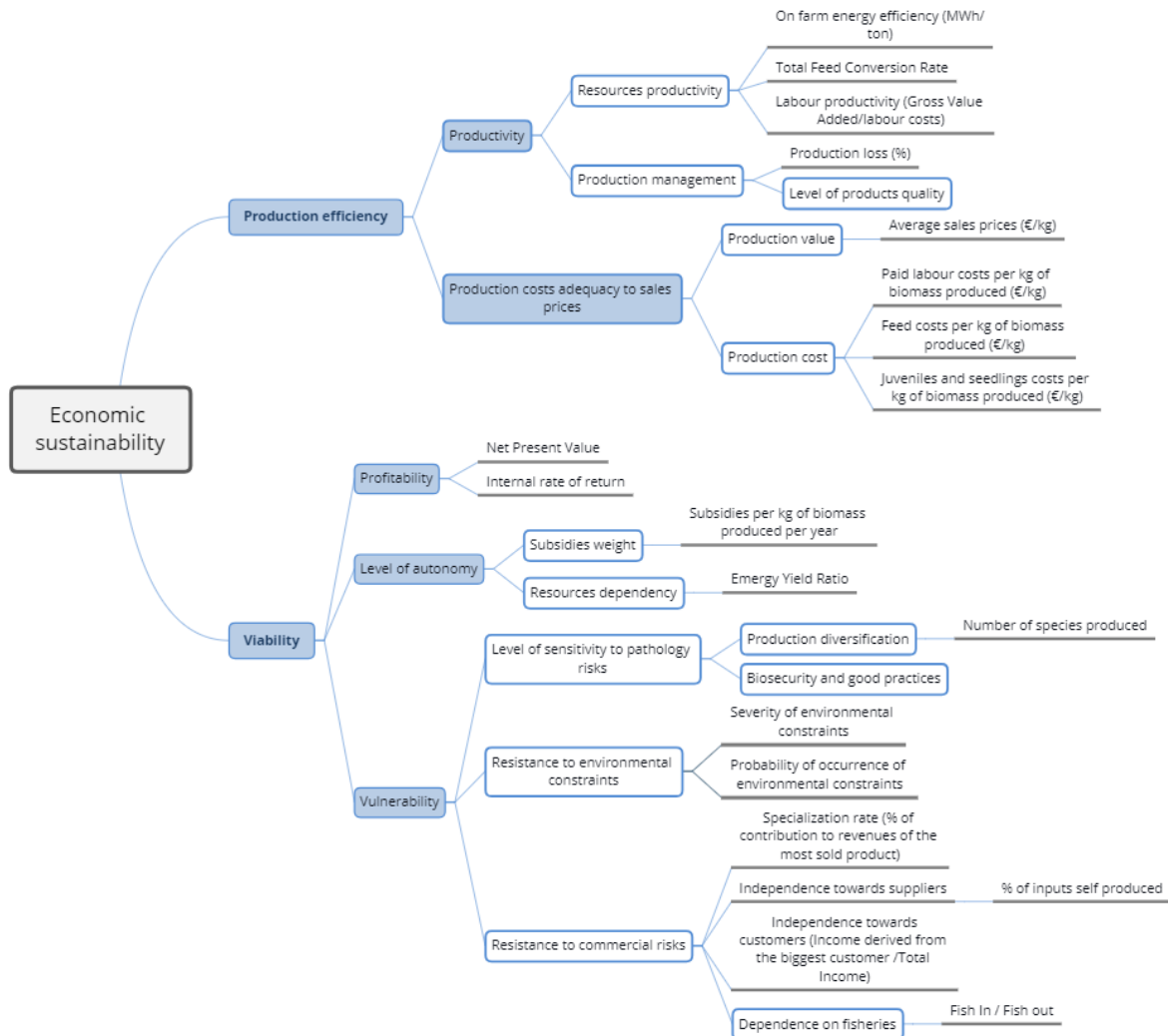


Figure I.1 : Branche « Durabilité économique de l'arbre DexiAqua.

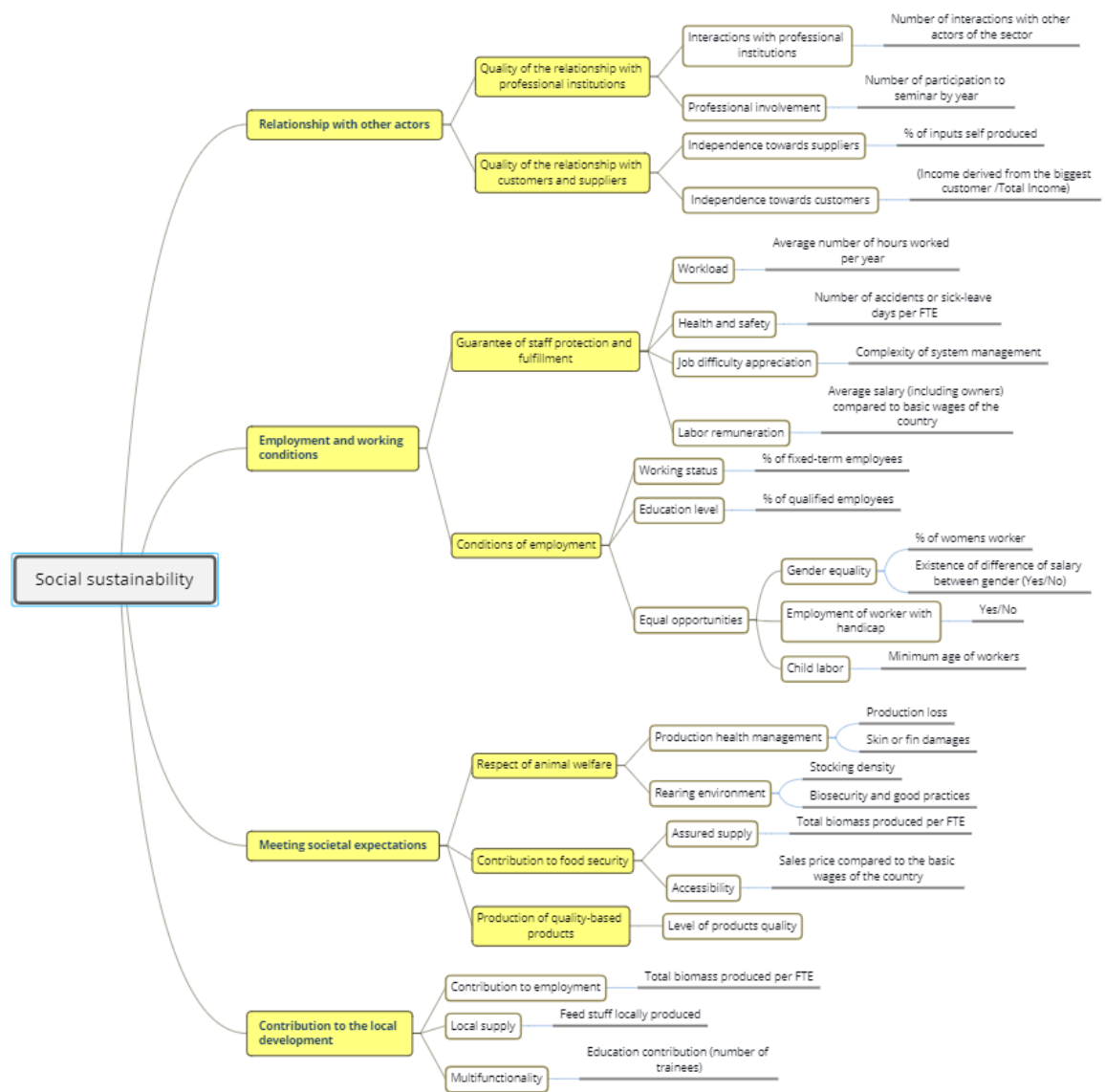


Figure I.2 : Branche « Durabilité sociale » de l'arbre DexiAqua.

Annexe II

Détail des branches de l'arbre DexiSIMTAP

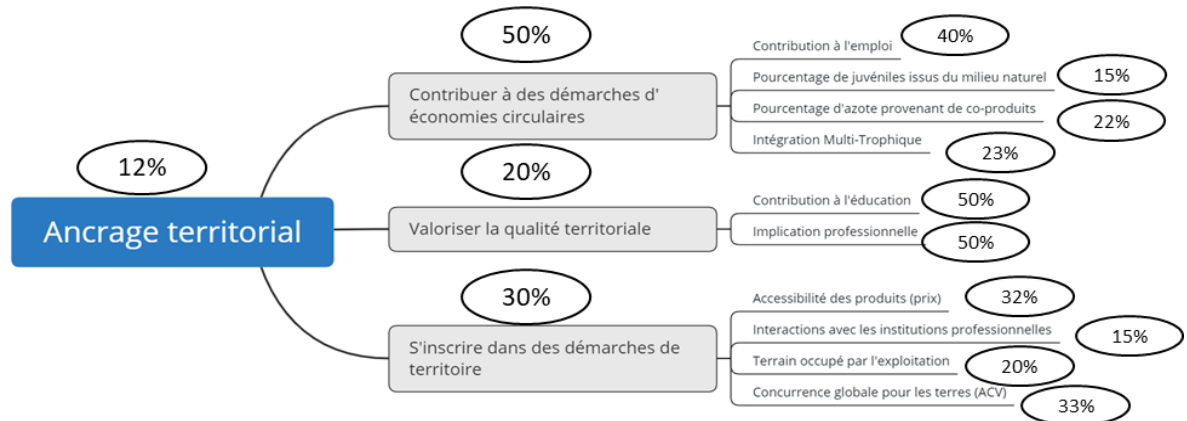


Figure II.1 : Branche « Ancrage territorial » avec pondération de l'arbre DexiSIMTAP.

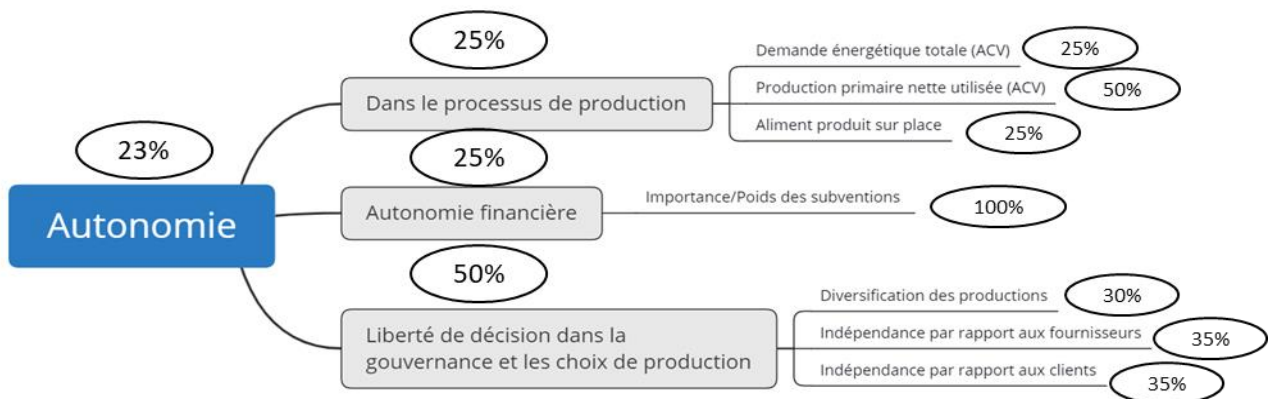


Figure II.2 : Branche « Autonomie » avec pondération de l'arbre DexiSIMTAP.

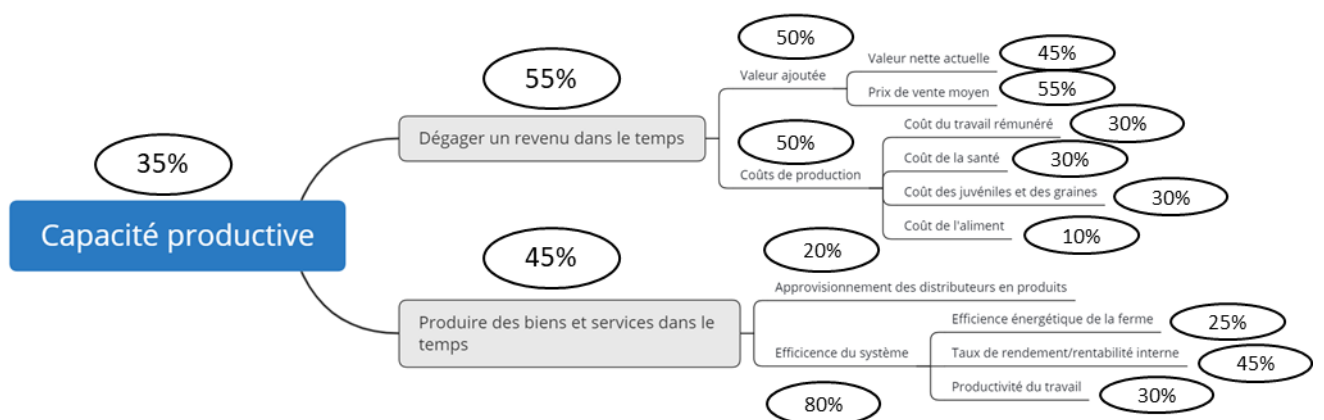


Figure II.3 : Branche « Capacité productive et reproductive de biens et services » avec pondération de l'arbre DexiSIMTAP.

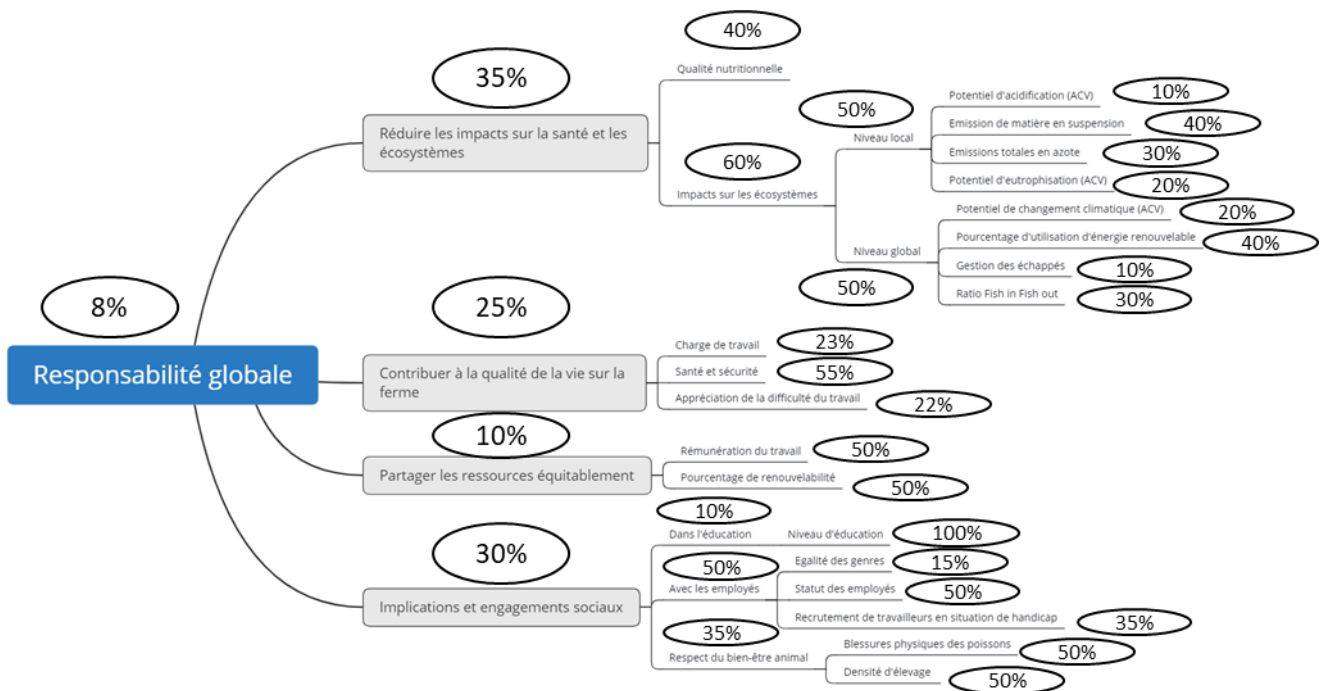


Figure II.4 : Branche « Responsabilité globale » avec pondération de l'arbre DexiSIMTAP.

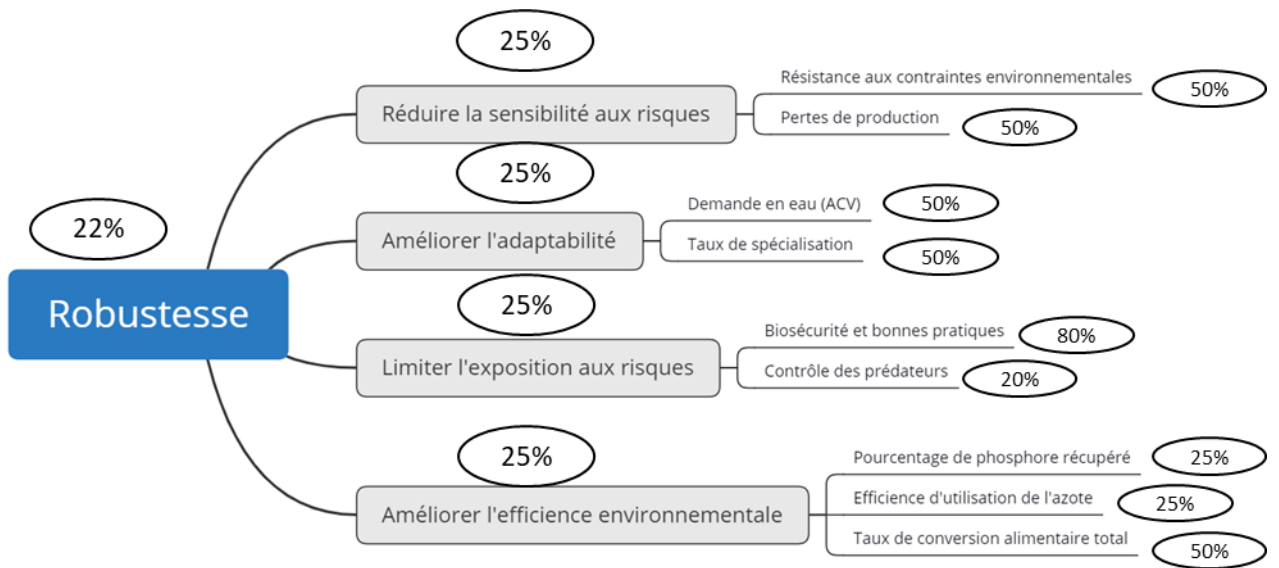


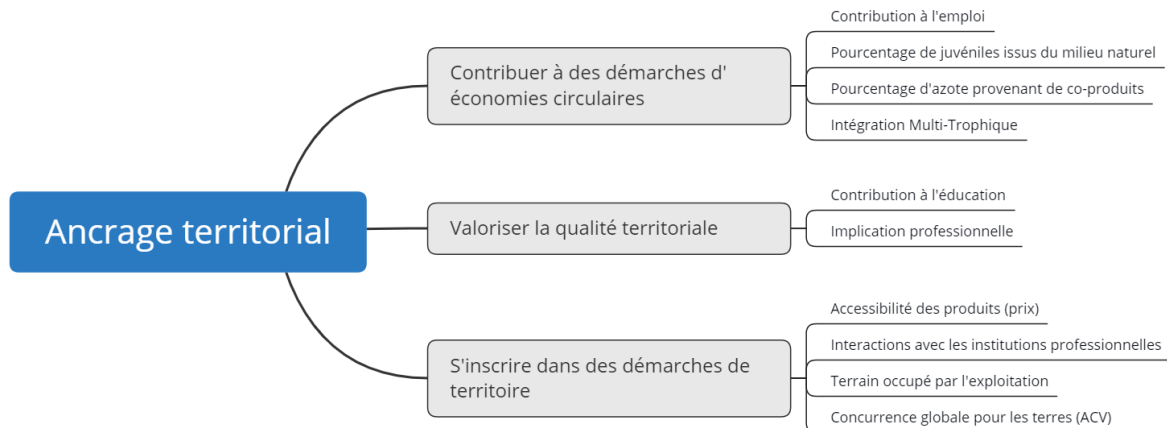
Figure II.5 : Branche « Robustesse » avec pondération de l'arbre DexiSIMTAP.

Annexe III

Livret pour l'atelier de pondération avec les BTS 2 du LML

I/ Ancrage territorial

L'ancrage territorial correspond à la contribution de l'exploitation à la co-production et la valorisation des ressources territoriales.



Contribution à l'emploi : nombre d'UTH (Unité de Travail Humain) pour 100 000 € de revenus totaux.

Pourcentage de juvéniles issus du milieu naturel : pourcentage d'utilisation de juvéniles et de graines sauvages.

Pourcentage d'azote provenant de co-produits : pourcentage de co-produits utilisés comme intrants pour l'aliment ou les engrais.

Intégration Multi-Trophique : nombres de niveaux trophiques planifiés dans le système.

Contribution à l'éducation : nombre de stagiaires engagés, de visites éducatives ou de présentations pédagogiques par an.

Implication professionnelle : nombre de participation à des séminaires ou des réunions professionnelles par an.

Accessibilité des produits (prix) : accessibilité des produits pour les consommateurs, c'est-à-dire le prix moyen de vente comparé au salaire minimum du pays.

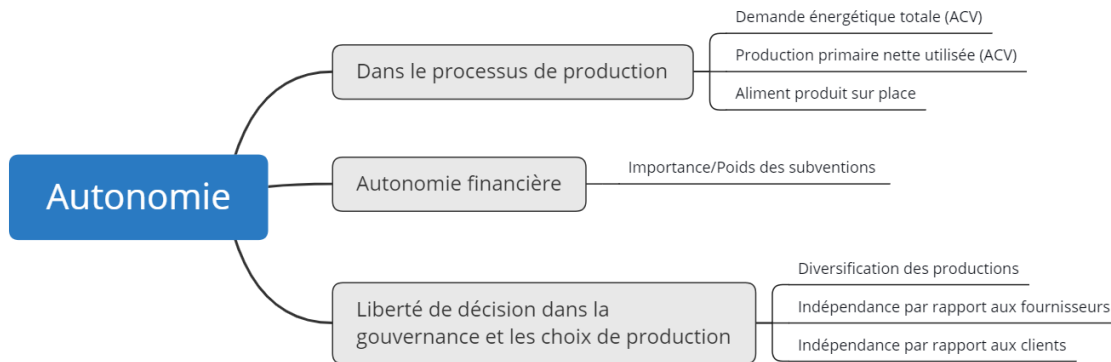
Interactions avec les institutions professionnelles : nombre d'interactions avec des institutions professionnelles (organisation de producteurs, autres exploitations, centre technique ou de recherche...) par an.

Terrain occupé par l'exploitation : surface (en m²) de terres locales utilisée par le système par tonnes de biomasse produites.

Concurrence globale pour les terres (ACV) : pression exercée par le système sur l'occupation des terres et ses compétitions avec les autres usages/activités.

II/ Autonomie

L'autonomie est la capacité de l'exploitation à produire à partir de ressources propres ou collectives locales, permettant à l'exploitant de limiter sa dépendance aux dispositifs de régulation publique et aux acteurs de l'amont et de l'aval.



Demande énergétique totale : quantité totale d'énergie utilisée pour la production d'un produit.

Production primaire nette utilisée (ACV) : quantité d'énergie produite par la photosynthèse utilisée par le système d'exploitation.

Aliment produit localement : proportion d'aliment produit localement, c'est-à-dire non importé au niveau national.

Importance/Poids des subventions : valeur des subventions par kg produit.

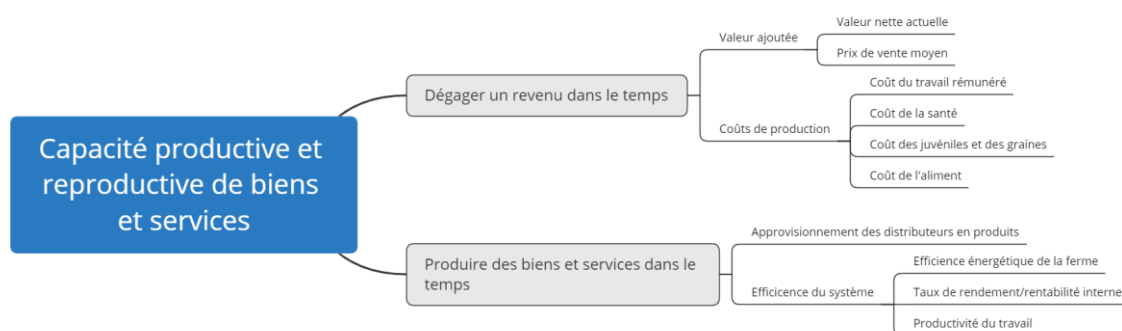
Diversification des productions : nombre d'espèces prévues dans le système d'élevage.

Indépendance par rapport aux fournisseurs : considère la proportion d'intrants et d'aliment produit sur place.

Indépendance par rapport aux clients : pourcentage des revenus totaux provenant du plus gros client.

III/ Capacité productive

La capacité productive correspond à la capacité de l'exploitant à produire de manière efficiente et durable dans le temps tout en assurant suffisamment de revenus.



Valeur nette actuelle : somme de tous les futurs flux de trésorerie attendus.

Prix de vente moyen : moyenne pondérée des prix de vente des produits de l'exploitation, représentant la capacité du système à valoriser efficacement sa production.

Coût du travail rémunéré : fait référence au coût du travail incluant les dépenses salariales et les salaires des propriétaires, par quantité de biomasse produite.

Coût de la santé : quantité de produits phytosanitaires (pesticides, engrais...) utilisés par kg

de biomasse produite.

Coût des juvéniles et des graines : coût des juvéniles et des graines par quantité de biomasse produite.

Coût de l'aliment : coût de l'aliment, incluant l'achat d'aliment et l'aliment produit sur place, par quantité de biomasse produite.

Approvisionnement des distributeurs en produits : capacité du système à approvisionner en produits alimentaires le marché.

Efficacité énergétique de la ferme : productivité de l'énergie utilisée sur la ferme par kg de biomasse produite.

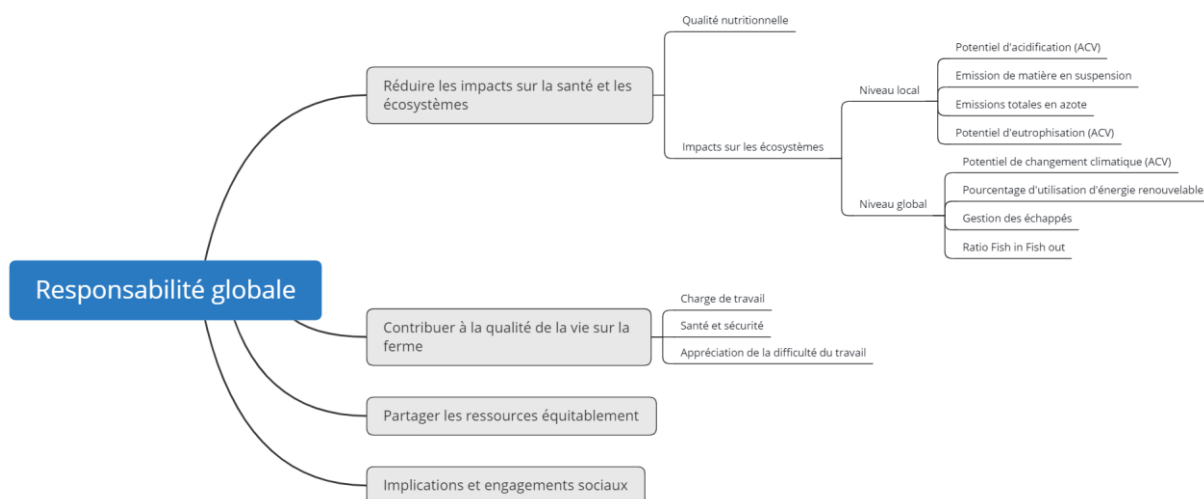
Taux de rendement/rentabilité interne : pourcentage de rentabilité par rapport aux fonds utilisés.

Productivité du travail : productivité moyenne par employés.

IV/ Responsabilité globale

La responsabilité globale correspond au degré d'engagement de l'exploitant dans la prise en compte des impacts environnementaux, sociaux et économiques de ses choix.

Partie 1 :



Qualité nutritionnelle : niveau de qualité des produits, notamment la quantité d'oméga 3 contenu dans les muscles.

Potentiel d'acidification (ACV) : contribution du système à l'acidification de l'environnement proche, exprimé en kg de SO₂ émis par kg de biomasse produite.

Emission de matières en suspension : quantité de matière en suspension émise par tonne de biomasse produite.

Emissions totales en azote : quantité totale d'azote relâchée par le système par tonne de biomasse produite.

Potentiel d'eutrophisation (ACV) : contribution du système à l'eutrophisation marine et en eau douce.

Potentiel de changement climatique (ACV) : quantité de gaz à effet de serre émis par le système de production par kg de biomasse produite.

Pourcentage d'utilisation d'énergie renouvelable : proportion d'énergie renouvelable utilisé

sur la ferme.

Gestion des échappés : pourcentage d'échappés par an.

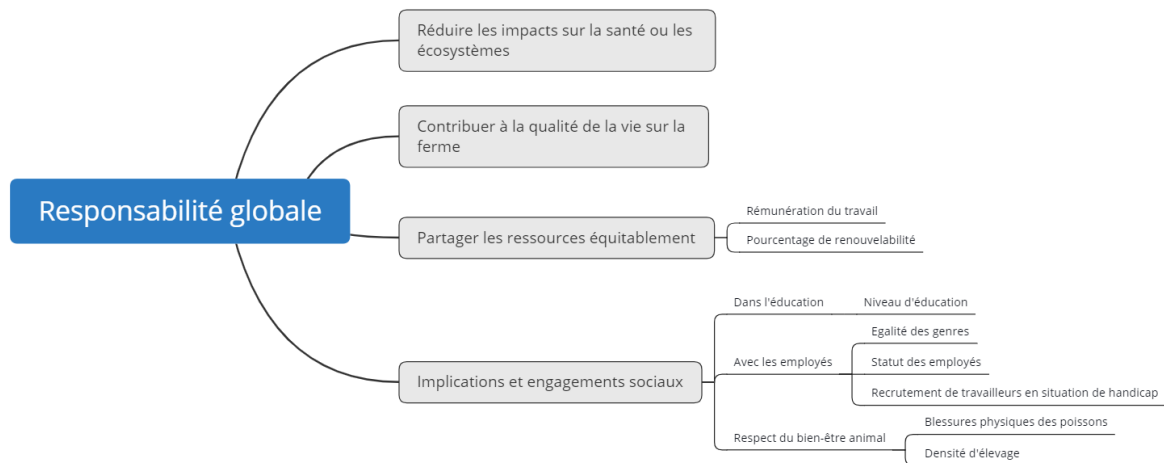
Ratio Fish in Fish out : dépendance du système aux ressources de poissons sauvages, c'est-à-dire une mesure de la quantité de ressources marines consommées par la production des espèces d'élevage.

Charge de travail : nombre moyen d'heures travaillée par an et par équivalent temps plein.

Santé et sécurité : nombre de jours d'arrêts temporaires causés par des accidents de travail ou des arrêts maladie à cause du travail par an et pour 1000 heures travaillées.

Appréciation de la difficulté du travail : appréciation qualitative de la complexité de gérer le système, qui peut être un facteur de stress.

Partie 2 :



Rémunération du travail : rémunération du travail des employés et des propriétaires de l'exploitation.

Pourcentage de renouvelabilité : capacité du système à utiliser des ressources durables et renouvelables.

Niveau d'éducation : pourcentage d'employés qualifiés (employés depuis plus de 6 mois).

Egalité des genres : pourcentage de femmes employées et éventuelle différence de salaire entre les genres.

Statut des employés : pourcentage d'employés en CDI.

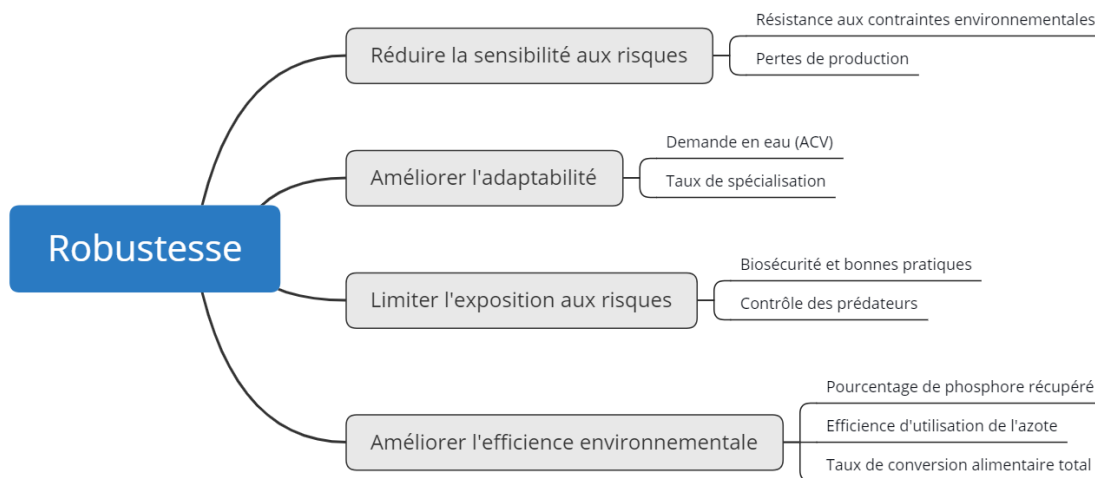
Recrutement de travailleurs en situation de handicap : proportion de travailleurs en situation de handicap employés.

Blessures physique des poissons : pourcentage d'animaux présentant des blessures sur la peau et les nageoires.

Densité d'élevage : densité d'élevage maximale des espèces élevées.

V/ Robustesse

La robustesse est la capacité de l'exploitation à faire face à des variations de différentes intensités et de différentes natures et à conserver ou retrouver un état d'équilibre.



Résistance aux contraintes environnementales : fait référence à la sévérité des impacts des contraintes environnementales (pollution, risques naturels, variations biotiques ou abiotiques...)

Pertes de production : Quantité de biomasse perdue en kg par an.

Demande en eau (ACV) : évalue la pression effectuée par le système sur les ressources en eau.

Taux de spécialisation : diversification du système, considère le ratio du chiffre d'affaire du produit principal par le chiffre d'affaire total.

Biosécurité et bonnes pratiques : mesures de biosécurité et bonnes pratiques développées dans le système (désinfection, quarantaine des juvéniles...)

Contrôle des prédateurs : utilisation de moyen non létaux de contrôle des prédateurs.

Pourcentage de phosphore récupéré : part du phosphore recyclé dans le système, considère la quantité de phosphore recyclé par les organismes élevés dans le système ou réutilisés dans un autre système.

Efficacité de l'utilisation de l'azote : pourcentage du total des intrants azotés récupéré en biomasse.

Taux de conversion alimentaire total : productivité de l'aliment utilisé.

Annexe IV Graphiques restants de l'ACV

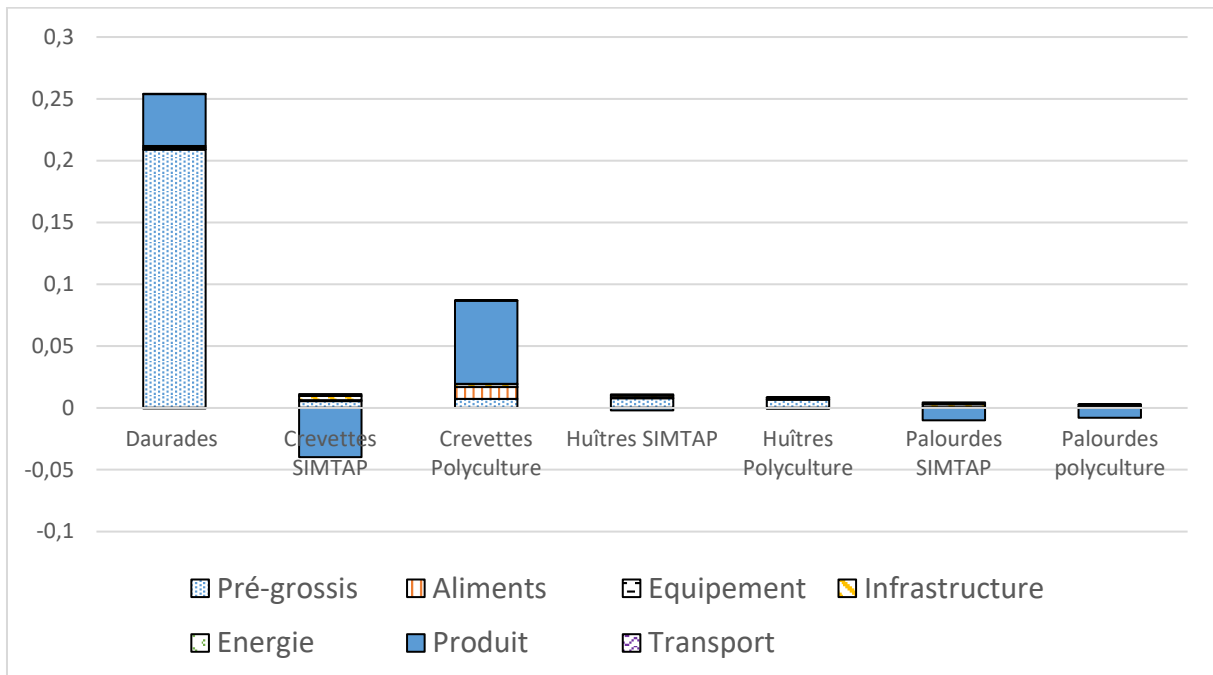


Figure IV.1 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques au potentiel d'eutrophisation, allocation économique.

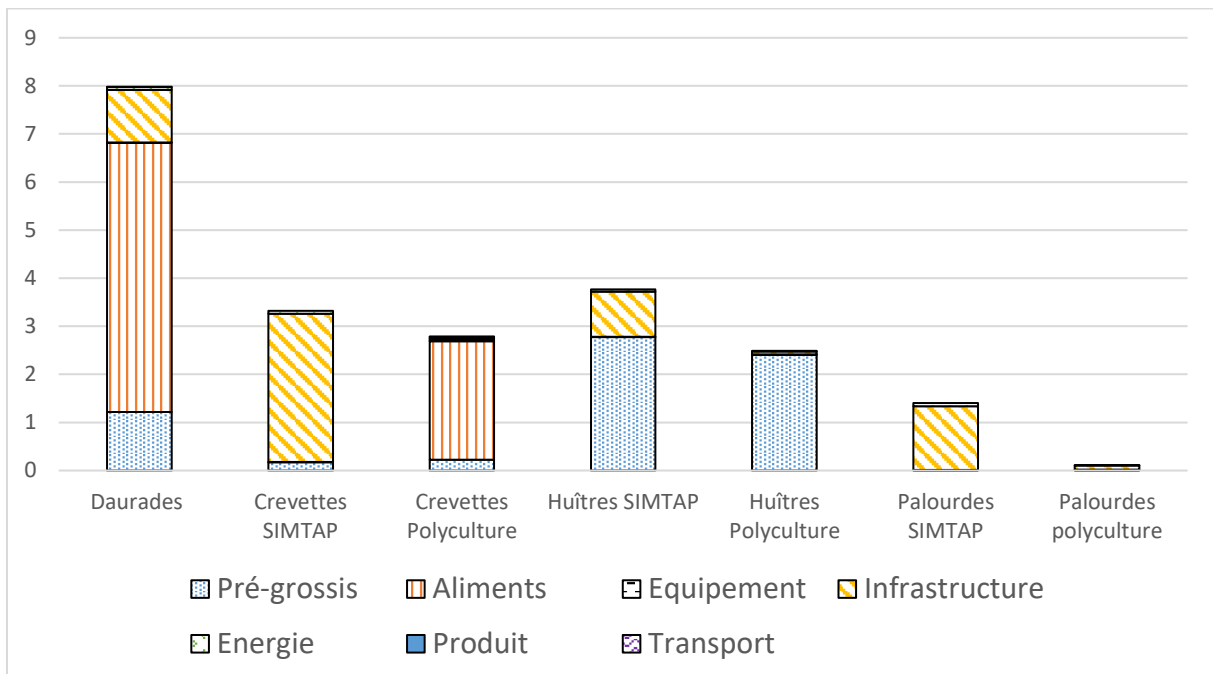


Figure IV.2 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la concurrence foncière, allocation économique.

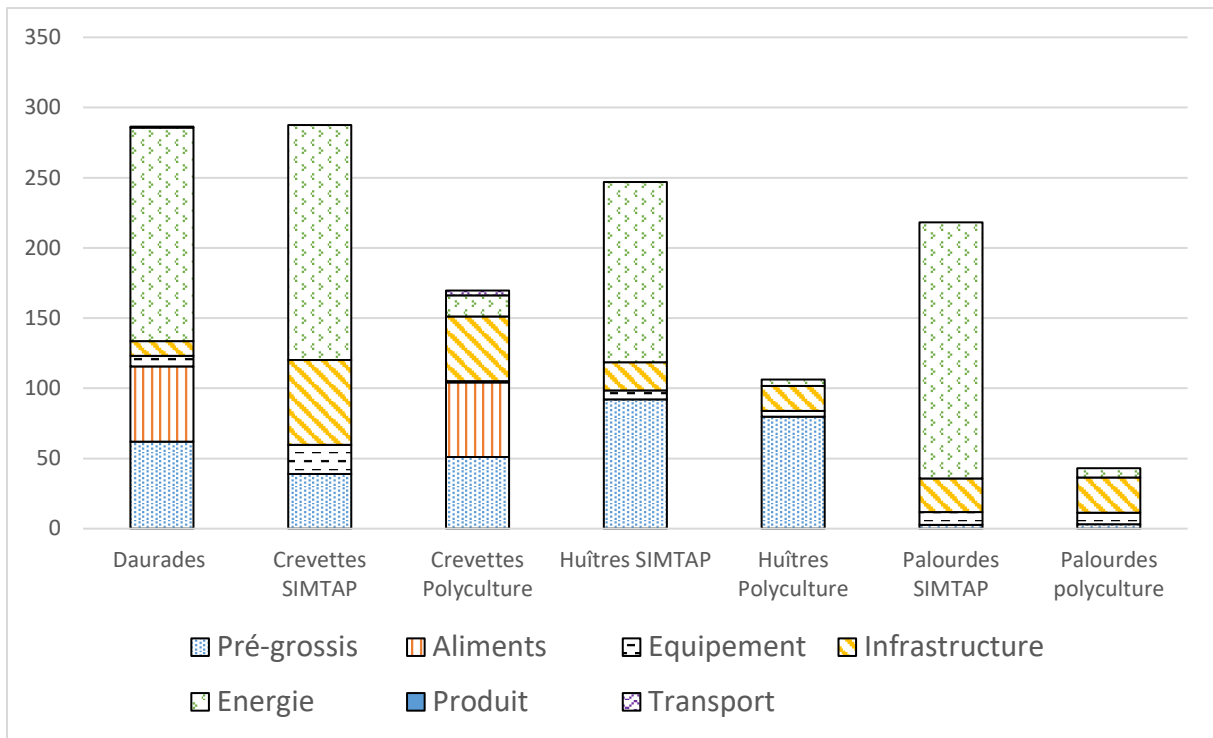


Figure IV.3 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à la demande énergétique totale, allocation économique.

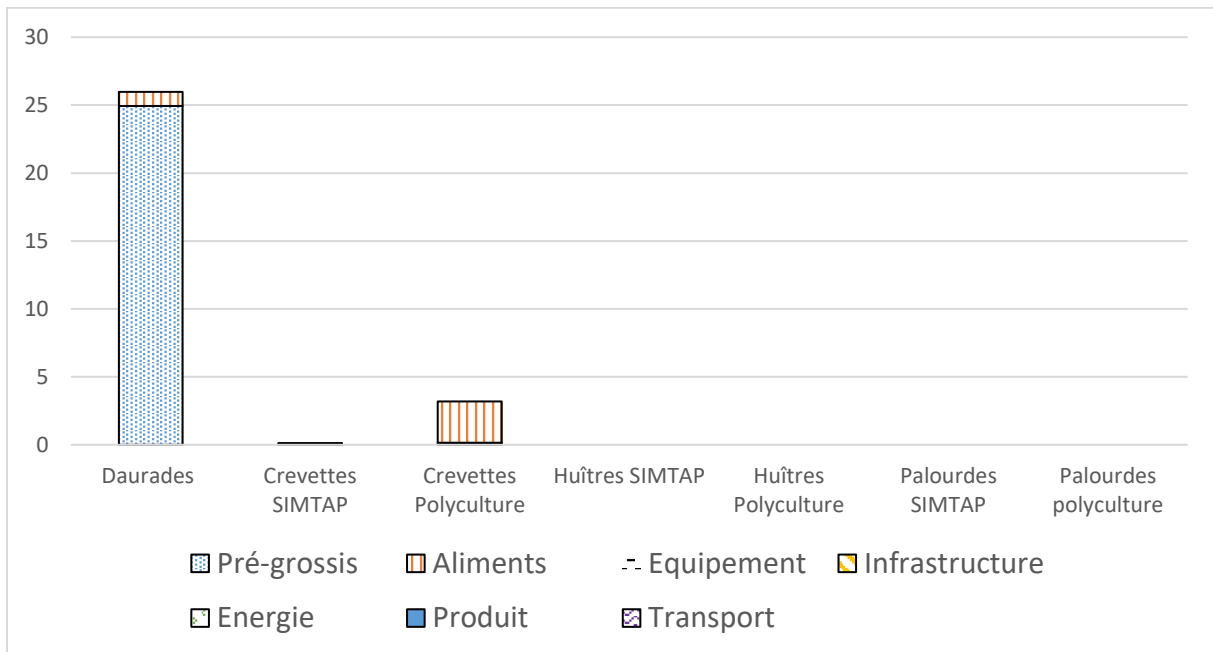


Figure IV.4 : Analyse des contributions des différents produits aquatiques à l'utilisation de production primaire, allocation économique.

Annexe V

Comparaison des résultats obtenus avec DexiSIMTAP pour les deux systèmes étudiés

Attribute	Polyculture	SIMTAP
Sustainability	Medium to high	
Autonomy	High	
Autonomy in the production process	High	
Net primary production use	Low	Medium
Total cumulative energy demand	Very Low	
Feedstuff locally produced	Low	
Financial autonomy	High	
Subsidies weight	Low	
Freedom of decision in governance and production choices	Medium	
Production diversification	Medium	
Independence toward suppliers	Low	
Independence toward customers	High	
Robustness	High	
Sensibility to hazards	Medium	
Resistance to environmental constraints	High	
Production loss	Very High	
Adaptability	Very High	High
Water demand	Very Low	
Specialization rate	Low	Medium
Exposure to hazards	High	
Biosecurity and good practices	Low	
Predator control	Acceptable	
Improve the environmental efficiency	High	Very High
Nitrogen use efficiency	Low	High
Percentage of phosphorus recovered	Medium	
Total feed conversion rate	Very Low	
Territorial anchoring	Medium	
Contribution to circular economy approaches	High	
Contribution to employment	Very High	
Percentage of wild juveniles and plants used	Medium	Low
Percentage of nitrogen derived from co products	Low	
Multi Trophic Integration	Medium	
Emergy Yield Ratio	Low	
Promotion of the quality of the territory	Medium	High
Education contribution	High	
Professional involvements	Low	Medium
Be part of a territorial approach	Low	
Interactions with professional institutions	Medium	
On farm ground surface used	High	
Global land competition	Very Low	
Accessibility of products	Very Low	
Productive capacity	Medium	
Generate income over time	Medium	High
Added Value	Medium	High
Net present value	Low	High
Average sale prices	Very High	
Costs of production	Medium	
Paid labour costs	Very High	
Feed costs	Very Low	
Juveniles and seedings costs	Medium	High
Health costs	Low	
Produce goods and services over time	Low	
System efficiency	Medium	
On farm energy efficiency	Low	
Labour productivity	Very High	High
Internal rate of return	Low	High
Assured supply of food products	Very Low	
Global responsibility	Medium	
Reduction of its impacts on health and ecosystems	Medium	
Impacts on ecosystems	Low	

Attribute	Polyculture	SIMTAP
Local impacts	<i>Low</i>	
Acidification potential	<i>Low</i>	
Eutrophication potential	<i>Low</i>	
Total nitrogen emissions	<i>Low</i>	
Suspended solid emissions	<i>Low</i>	
Global impacts	Medium	
Global warming potential	<i>Low</i>	
Percentage of renewable energy	Low	
Escapes management	<i>Low</i>	
Fish in Fish out ratio	Very Low	
Nutritional quality	Very Low	
Contribution to the quality of life on the farm	Very High	Medium
Workload	<i>Low</i>	
Health and safety	High	Low
Job difficulty appreciation	<i>Low</i>	
Share resources equitably	Medium	Low
Labour remuneration	High	Medium
Percentage of renewability	Low	
Social implications and commitments	Medium	<i>High</i>
With workers	Medium	
Gender equality	Low	
Working status	High	
Employment of workers with handicap	No	
Education level	High	
Respect of animal welfare	Medium	<i>High</i>
Fish physical damages	<i>Low</i>	Medium
Stocking density	High	<i>Low</i>

Annexe VI

Graphiques d'analyses des animaux pré-grossis

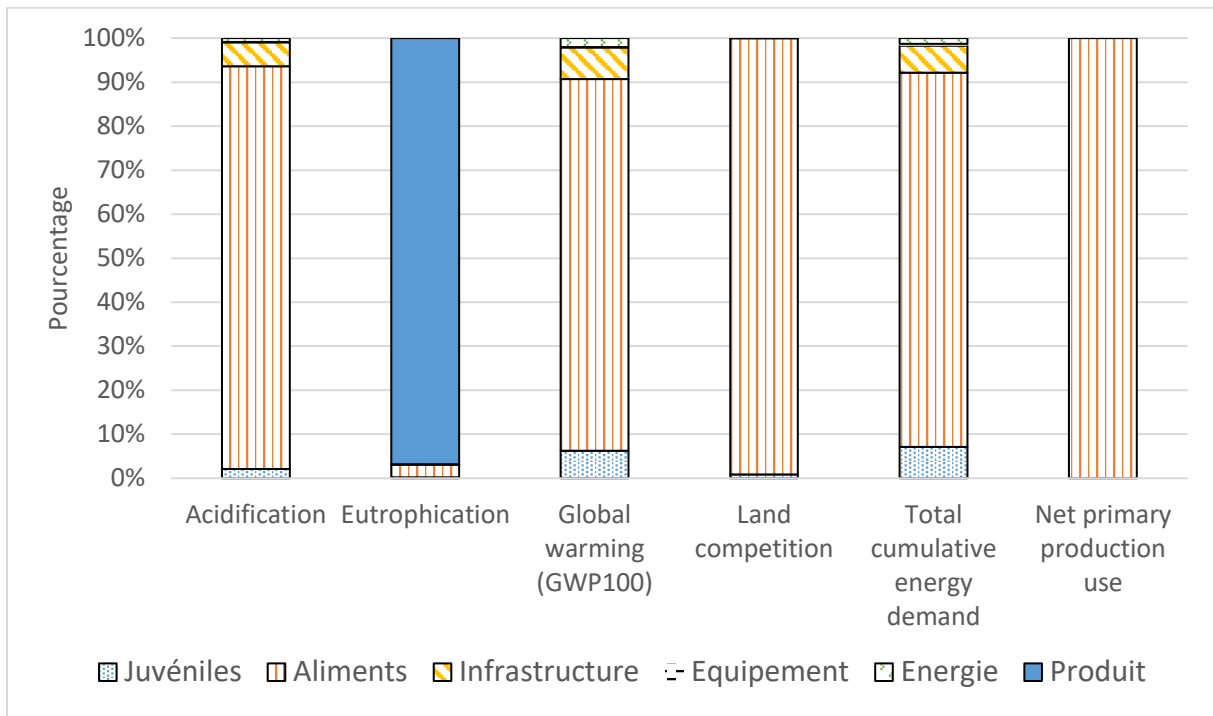


Figure VI.1 : Analyse des contributions des processus des daurades pré-grossies aux différents impacts.

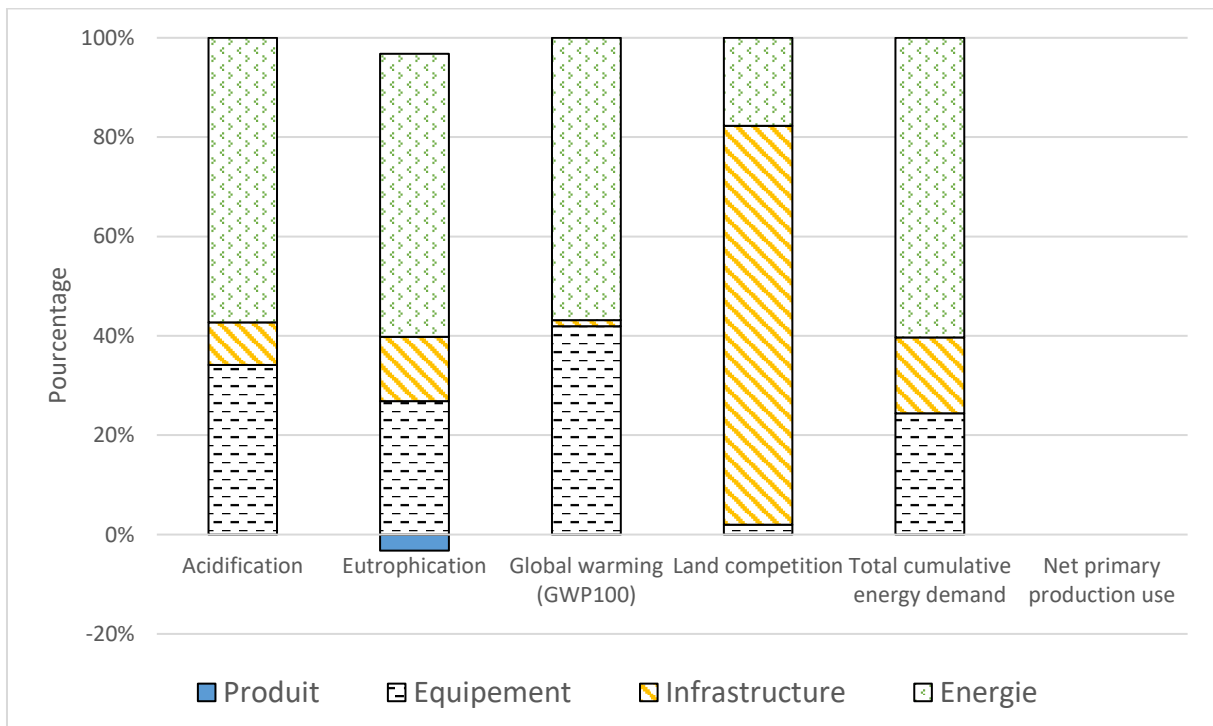



Figure VI.2 : Analyse des contributions des processus des huîtres pré-grossies aux différents impacts.

 agriculture • alimentation • environnement	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Ingénieur agronome Spécialisation / option : Sciences Halieutiques et Aquacoles/AQUA Enseignant référent : Bastien SADOUL
Auteur(s) : Quentin LATOURRE Date de naissance* : 01/10/1998	Organisme d'accueil : INRAE UMR SAS Adresse :
Nb pages : 50 Annexe(s) : 6	
Année de soutenance : 2021	Maître de stage : Joël AUBIN
Titre français : Evaluation multicritère et analyse de la durabilité des exploitations aquacoles.	
Titre anglais : Multi criteria analysis and analysis of the sustainability of aquaculture farms	
Résumé :	
<p>Le projet SIMTAP est un projet européen visant à redéfinir l'aquaculture en zone méditerranéenne. Dans ce projet, l'INRAE réalise les analyses de durabilité des exploitations expérimentales utilisées avec pour référence l'Aquaculture Multi Trophique Intégrée (AMTI). Dans le cadre de ce stage, deux exploitations ont été étudiées : une polyculture crevettes/huîtres/palourdes et l'exploitation expérimentale du Lycée de la Mer et du Littoral qui est un système d'AMTI combinant des daurades avec des crevettes, des huîtres et des palourdes. Afin d'analyser la durabilité de ces exploitations, une évaluation multicritère (EMC) a été réalisée à l'aide d'un modèle DEXi qui utilise une méthode d'analyse multi attributs et qui nécessite de créer un arbre de décision. De plus, pour alimenter ce modèle, une Analyse du Cycle de Vie (ACV) a été conduite pour déterminer les impacts des exploitations sur l'environnement. Grâce à l'ACV, nous avons pu constater que l'exploitation expérimentale a plus d'impacts sur l'environnement que la polyculture, notamment à cause de la production des daurades pré-grossies de 200g. En ce qui concerne l'analyse par le modèle DEXi, les deux exploitations obtiennent de très bonnes notes d'un point de vue environnemental mais le système expérimental obtient un moins bon score sur l'efficacité énergétique, et la polyculture sur la promotion de la qualité du territoire. En conclusion, les deux systèmes ont obtenu des bons scores de durabilité grâce à l'association des espèces mais l'impact des animaux pré-grossis est le point le plus important à améliorer.</p>	
Abstract :	
<p>SIMTAP project is a European project aiming to redefine aquaculture in the Mediterranean area. In this project, INRAE realizes sustainability analysis of the experimental farms and uses Integrated Multi Trophic Aquaculture as a reference. This internship focuses on the analysis of two farms: a shrimp/oyster/clam polyculture and an experimental farm of Lycée de la Mer et du Littoral, an IMTA system combining gilthead seabream with shrimps, oysters and clams. In order to analyse the sustainability of these farms, a multi criteria analysis (MCA) was made with DEXi model, which uses a multi attribute method and need to create a decision tree. Moreover, to give environmental data to the model, we realised a Life cycle assessment (LCA). Thanks to the LCA, we observed that the experimental farm has more impacts on environment than the polyculture, mostly because of the production of young seabreams of 200g. The DEXi model gives for both farm very good environmental marks, but the experimental farm obtained a less good score in energy efficiency and the polyculture un the promotion of the quality of the territory. To conclude, both system obtain a good environmental score due to the association of different species, but the impact of young animals is the most important point to improve.</p>	
Mots-clés : aquaculture, durabilité, SIMTAP, analyse du cycle de vie, évaluation multicritère.	
Key Words: aquaculture, sustainability, SIMTAP, life cycle assessment, multi criteria analysis.	