



LA GRAINE ET LE MUGE

VERS UNE PISCICULTURE BASSE CONSOMMATION ?

2016 - 2020



BASSIN DE THAU
Entre Terre et Lagune



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE
L'ALIMENTATION



Agence de l'environnement
et de la Maîtrise de l'énergie



La Région
Occitanie
Pyrénées - Méditerranée



Projet
soutenu par
Fondation
de France



fondation
daniel & nina carasso



fondation
Banque Populaire
du Sud



BANQUE POPULAIRE
DU SUD



Groupe AGRICA

REMERCIEMENTS

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à nos partenaires techniques qui ont permis la réalisation de cette expérimentation.

Philippe CACOT, Olivier MIKOLASEK, Thierry GOLI, Marc CANNONE, Bruno BUFFET, Samira SARTER, Sylviane MORAND, Coline BRAU, Antoine DELPECH, Jean-Paul DANFLOUS, Isabelle MARAVALNelly FORESTIER-CHIRON du CIRAD, UMR QualiSud (Montpellier)

Michel TUDESQ, Sylvain PELLEGRIN, Jean Louis CHARRIAUX, Nadia TAMBURINI, Nadia RANCHON et Sylvie MIMOSA du Lycée de la Mer Paul Bousquet de Sète

Philippe BALMA, Benoît BUFFLIER, Wagner MACIEL LEITE, et Yan COMBES de l'entreprise Les Poissons du Soleil (LPDS)

Terahiti FAATAUIRA, Guillaume BURDEOS, volontaire civique au CPIE Bassin de Thau et encadré par LPDS

Meriem CHAGOUR et Hichem KARA de l'université d'Annaba - Algérie

Victor BAIZEAU et Hoanui JOSSLER – RAVATUA stagiaire chez LPDS, coordonnés par le CIRAD

L'équipe du CEPRALMAR et notamment Loïc LINARES et Jean François HOLLEY,

Beatrice PARY du Syndicat Mixte du Bassin de Thau

Jean-Sébastien BRUANT, Alexandre BOINOT et Julien ROBLIN de l'entreprise la Ferme Marine du Douhet (La-Brée-les-Bains)

Laurent PEZZOTTI, second Prud'homme à la Prud'hommie des Pêcheurs de Palavas

Jean-Marc VITALE de l'entreprise MUREX à Sète.

Aurélien CACOT de Ca Tech (Villeneuve-lès-Maguelone)

Laurent PEZZOTTI, prud'homme de Palavas

Et un remerciement tout particulier pour les membres du réseau CPIE Bassin de Thau, Fabrice JEAN Prud'homme de Mèze, Claudia AZAIS NEGRI prud'homme de Marseillan, Béatrice PARY administratrice et tout particulièrement John BANDELIER de KIMIYO et l'ensemble du Conseil d'administration

Nos partenaires financiers qui nous ont donné les moyens de réaliser ce projet ;

Christiane CHARTIER et Florence HUC de l'ADEME

Claire DERAM de la Draaf Occitanie

Benoît THIERRY, Bruno GARDE de la région Occitanie

Thierry GISSINGER de la fondation de France et Guilhem SOUTOU de la fondation Carasso

La fondation Kronenbourg, la fondation Banque Populaire du Sud, le groupe Agrica

L'association Bloom et plus particulièrement Frédéric LE MANACH, directeur scientifique

Sylvain MAIRE, C4Dev

Nadine PAQUIN, Fumoir d'Occ

Vincent ETIENNE, CCI Hérault

Aurélie DESSEIN, Criée d'Agde

Marie-Jo DUCHESNE, présidente de l'association Le pain de l'espoir

Les structures du secteur boulanger nous ayant consacré du temps pour répondre à nos questions.

Hervé BARBA, directeur général du groupe Barba

Stéphane SEGUIN, président d'Aqualis Seafood

Danielle LESTANG, AD'OCC

Eric CAUSSES, Greensea

Bill KOVEN, Israel Oceanographic and Limnological Research (IOLR), Israel, Diversify Project

Dr. Constantinos (Dinos) C Mylonas, Institute of Marine Biology, Biotechnology and Aquaculture

Hellenic Center for Marine Research, Diversify Project

Benjamin Geffroy, IFREMER, Diversify Project

Neil Duncan, Institute of Agrifood Research and Technology, Diversify Project

Aude LAPPRAND, de Sciences Citoyennes pour son accompagnement et son écoute

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : CPIE Bassin de Thau (Florian Martel, Adeline Rumpler), CIRAD (Philippe Cacot, Meriem CHAGOUR et Terahiti FAATAUIRA).

Contributeurs ; Lisa PETIT (CPIE BT), Wagner MACIEL LEITE (LPDS), Olivier MIKOLSAEK (CIRAD), Victor BAIZEAU (LPDS), Guillaume BURDEOS (CPIE BT), Isabelle MARAVAL (CIRAD)

Année de publication ; 2020

Titre du rapport : La Graine et le muge ; vers une aquaculture basse consommation ? Rapport final

Etude réalisée par le CPIE (Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement) du Bassin de Thau sous la coordination scientifique du CIRAD et l'appui technique du lycée de la mer Paul Bousquet de Sète et de l'entreprise Les Poissons du Soleil.

Etude financée par l'appel à projet « Lutte contre le gaspillage alimentaire et réduction des déchets Draaf – ADEME » de 2015, l'appel à projet Economie circulaire (ADEME – Région Occitanie) de 2016, et l'appel à projet Alimentation de la Fondation de France de 2016

Avec le soutien également des fondation Kronenbourg, fondation Banque populaire du Sud et le groupe Agrica

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

LE COMITE TECHNIQUE AYANT MIS EN ŒUVRE LE PROJET



LES PARTENAIRES TECHNIQUES



LES PARTENAIRES FINANCIER



Table des matières

1. Résumé 11

2.	Abstract	12
3.	Glossaire	13
1.	Contexte du projet.....	15
1.1.	Historique.....	15
1.2.	Contexte territorial	16
	1.2.1. Le territoire	16
	1.2.2. Les besoins et les attentes des consommateurs	18
1.3.	L'aquaculture durable, une activité en devenir.....	19
	1.3.1. Impact environnemental de l'aquaculture	19
	1.3.2. Comparaison avec les élevages terrestres.....	20
	1.3.3. Aquaculture multitrophique intégrée	21
	1.3.4. Panorama des initiatives contribuant à la durabilité de l'aquaculture	22
1.4.	L'économie circulaire, au cœur du projet.....	22
1.5.	Hypothèses scientifiques	24
	1.5.1 Hypothèse relative à la substitution du maïs par le pain.....	24
	1.5.2 Hypothese relative à la substitution du tourteau de soja par l'algue <i>Ulva rigida</i>	25
1.6.	Enjeux et objectifs du projet.....	25
2.	Concertation territoriale et analyse de la filière pain.....	27
2.1.	La concertation territoriale à l'origine du projet	27
	2.1.1. La mise en réseau des acteurs.....	27
	2.1.2. Gouvernance et méthodologie de travail	29
2.2.	Analyse de la filière pain	31
	2.2.1. Contexte scientifique	31
	2.2.2. Panorama du secteur boulanger	31
	2.2.3. Diagnostic de la filière pain « recyclable ».....	32
	2.2.4. Filière de valorisation.....	34
3.	Expérimentation scientifique avec l'aliment pain	36
3.1.	Phase de pré grossissement	36
	3.1.1. Matériel et méthode	36
	3.1.2. Résultats phase de pré-grossissement	41
3.2.	Phase de grossissement	45
	3.2.1. Matériel et méthode	45
	3.2.2. Résultats phase de grossissement	48
3.3.	Discussion des résultats	51
3.4.	Synthèse.....	53
4.	Expérimentation scientifique avec l'aliment algues	54
4.1.	Objectifs de l'étude et démarche	54
	4.1.1. Le test d'alimentation.....	54

4.1.2.	Poissons utilisés	54
4.1.3.	Culture d'algue intégrée	55
4.1.4.	Une expérimentation qui a essuyé des difficultés techniques	55
4.2.	Matériels et méthodes	55
4.2.1.	Une expérimentation en deux phases	55
4.2.2.	Protocole pêche alevins	55
4.2.3.	Manipulation des poissons	56
4.2.4.	Protocole de fabrication des aliments.....	57
4.2.5.	Principe de culture d'algue en lagune (<i>sur le modèle de la ferme marine du Douhet</i>).....	59
4.2.6.	Circuit de l'expérimentation	60
4.2.7.	Protocole de nourrissage.....	62
4.3.	Résultats.....	62
4.3.1.	Préambule	62
4.3.2.	Résultats de <i>Liza ramada</i> durant la 2ème phase	63
4.3.3.	Composition corporelle de <i>Liza ramada</i>	64
4.3.4.	Ensemble des résultats	65
4.3.5.	Qualité de l'eau.....	68
4.4.	Discussion des résultats	70
4.4.1.	Les 2 phases du test	70
4.4.2.	Taux de nourrissage et croissance.....	70
4.4.3.	Farine d'algue et gluten de blé	70
4.4.4.	Estimation du prix des aliments	71
4.5.	Synthèse.....	72
5.	Du test pain au test algue : évolutions.....	74
5.1.	Structures expérimentales	74
5.2.	Protocoles.....	75
5.3.	Résultats.....	75
6.	Valorisation et sensibilisation	76
6.1.	Matériel et méthode	76
6.1.1.	Projet d'Initiative Communication	76
6.1.2.	Support vidéo	77
6.1.3.	Supports pédagogiques.....	77
6.1.4.	Communication, visibilité du projet	79
6.2.	Bilan de la sensibilisation.....	80
6.2.1.	Retombée du « projet d'initiatives-communication »	80
6.2.2.	Valorisation.....	80
6.3.	Synthèse.....	83
7.	Lien aux filières et « analyses du marché »	84

7.1.	Enquête auprès d'entreprises	84
7.2.	Le projet Diversify	84
7.2.1.	Présentation	84
7.2.2.	Lien avec notre projet - Comparaisons sur l'aspect nutrition	85
7.2.3.	Perspectives pour notre projet en lien avec Diversify	86
7.2.4.	Aspects socio-économiques – Liens aux filières	86
7.3.	Enquête auprès des restaurateurs.....	86
7.3.1.	Première campagne d'enquête.....	86
7.3.2.	Seconde campagne d'enquête	87
7.4.	Atelier scenario	89
7.4.1.	Conclusions principales des ateliers.....	89
7.4.2.	Résultats issues du questionnaire	90
7.5.	Analyse de cycle de vie de l'aliment algue	90
7.5.1.	Contexte	90
7.5.2.	Méthode	91
7.5.3.	Résultats.....	92
7.5.4.	Conclusions et perspectives.....	94
8.	Perspectives.....	96
9.	conclusions.....	97
10.	Références bibliographiques	98
11.	Sigles et acronymes	101
12.	Annexes	102

Table des figures

Figure 1 : Production mondiale (en tonnes) de <i>Mugil cephalus</i>	17
Figure 2 : Nomenclature ICPE encadrant les activités de pisciculture et arrêtés en vigueur. Source : Aida Ineris.	21
Figure 3 : Les piliers de l'économie circulaire. Source : ADEME.	23
Figure 4 : Schéma détaillé de la mise en pratique de l'économie circulaire au sein du projet.	24
Figure 5 : Schéma explicatif de la méthodologie de travail autour du projet.	28
Figure 6 : COPIL 2018 – Maison Régionale de la mer à Sète.	29
Figure 7 : Calendrier de projet.....	30
Figure 8 : Détails des bacs d'élevage pour les essais de prégrossissement.	38
Figure 9 : Schéma du circuit fermé pour l'expérimentation au lycée de la Mer. Source : présentation de Huanui J.R.....	39
Figure 10 : La culture de la macroalgue <i>Ulva rigida</i> , utilisée en complément du biofiltre bactérien dans le circuit fermé.....	40
Figure 11 : Photographie de la maintenance du circuit.	41
Figure 12: Poids et longueurs moyens des poissons en début et fin d'expérimentation.	41
Figure 13 : Photographies de la biométrie des poissons (poids et taille).	42
Figure 14 : « Grand » muge en élevage de grossissement et bassins en béton utilisés chez les Poissons du Soleil sur le site de La Vise.....	46
Figure 15 : Session de filetages des muges et de travail sur les filets à l'atelier poissonnerie.	48
Figure 16 : Croissance des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain (graphiques issus du rapport pain).....	49
Figure 17 : Alimentation des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain (graphiques issus du rapport pain).....	50
Figure 18 : Test de dégustation de la chair de muge (nos poissons) et de panga (<i>Pangasianodon hypophthalmus</i> importé du Viêtnam). Source : Isabelle Maraval (CIRAD, UMR QualiSud).	
Mu ge Standard = muges nourris avec l'aliment Biomar®.	51
Figure 19 : Photographie de la cage de stockage des muges avant transfert sur le site de la Vise.	56
Figure 20 : Photographies des trois espèces de muges identifiées.	56
Figure 21 : Process de fabrication des granulés extrudés expérimentaux.....	58
Figure 22 : Photographies des trois types de granulés testés (dont le granulés Biomar® reconditionné).....	58
Figure 23 : Culture d'ulve (<i>Ulva rigida</i>) en lagunes à la Ferme Marine du Douhet.	60
Figure 24 : Aperçu du container et du système d'élevage à l'intérieur.	61
Figure 25 : Système d'élevage utilisé.....	62
Figure 26 : Taux de croissance spécifique (TCS) en fonction du taux d'alimentation journalier (TAJ) pour <i>Liza ramada</i> durant la 2ème phase.	64
Figure 27 : Taux de croissance spécifique (TCS) en fonction du poids initial de <i>Liza ramada</i> durant la 2ème phase.....	64
Figure 28 : Taux de croissance spécifique par type de poisson, par type d'aliment et par phase.	67
Figure 29 : Taux d'alimentation journalier (TAJ) par type de poisson, type d'aliment et phase.....	68
Figure 30 : Indice de conversion alimentaire (ICA) par type de poisson, type d'aliment et phase.	68
Figure 31 : Exposition anti-gaspi affichée au Lycée de la mer.	76
Figure 32 : Affiche réalisée par les élèves.....	76
Figure 33 : Livret et exemple d'une page située à l'intérieur.	77
Figure 34 : Photographie des jeux de simulation.	78
Figure 35 : Photographie des quatre posters.	78
Figure 36 : Photographie de l'écorché de muge.....	79

Figure 37 : Affiche de l'organisation de la Fête des arts et du muge	81
Figure 38 : Photographie d'un atelier scénario.....	82
Figure 39 : Graphiques présentant les réponses concernant la consommation du muge par les restaurateurs et leur approvisionnement en poissons locaux.....	87
Figure 40 : Freins identifiés par les restaurateurs pour se fournir en poissons locaux.....	88
Figure 41 : Résultats d'impacts environnementaux des différents scénarios.....	92
Figure 42. Analyse des contributions des grandes étapes du cycle de vie du scénario 3	93
Figure 43. Analyse des contributions des grandes étapes du cycle de vie du scénario 3	94

Tableaux

Tableau 1 : Phasage et objectifs de l'expérimentation scientifique avec l'aliment pain.	36
Tableau 2 : Tableau de composition des granulés.....	37
Tableau 3 : Résultats de analyses physico-chimiques pour les bassins des 4 traitements (tableau issu du Rapport pain)	42
Tableau 4 : Composition de l'aliment pain pour le test de grossissement.	45
Tableau 5 : Description synthétique des deux phases de l'expérimentation.	59
Tableau 6 : Principaux résultats obtenus avec Liza ramada durant la 2ème phase du test (valeurs moyennes).....	63
Tableau 7 : Composition des carcasses de Liza ramada.	65
Tableau 8. : Qualité de l'eau durant le test d'alimentation (valeurs moyennes).	69
Tableau 9 : Estimation du prix des matières premières des aliments (prix de gros).	71
Tableau 10 : Principales caractéristiques des deux tests d'alimentation réalisés avec Liza ramada en prégrossissement.	74
Tableau 11 : Bilan du nombre de personnes sensibilisées et de documents réalisés.....	80
Tableau 12 : Entreprises rencontrées durant le projet.....	84
Tableau 13 : Questionnaire type - entretien restaurateurs.....	87
Tableau 14 : Liste des participants à l'atelier scénario	89
Tableau 15 : Description des scénarios étudiés (* ingrédients non pris en compte dans l'ACV par manque de données.....	91
Tableau 16 : Principaux postes influençant les comparaisons de résultats des scénarios pris deux à deux.	92

Annexes

Annexe 1. Référence de rejet azoté pour l'élevage de porc. Source : Rey & Lobry 2017.	102
Annexe 2. Quantité d'azote exporté par les cultures. Source : Rey & Lobry 2017.	103
Annexe 3. Comité de pilotage du projet.....	104
Annexe 4. Photographies du process de fabrication de l'aliment à base de pain.	105
Annexe 5. Résultats des deux expériences de pré grossissement.....	106
Annexe 6. Résultats du 2ème test de pré grossissement.	108
Annexe 7. Récapitulatif des mesures effectuées lors de l'expérimentation sur la culture d'algues utilisée comme biofiltre.	109
Annexe 8. Tableau présentant les différents rendements de filetage du muge (<i>Iiza ramada</i>) en comparaison aux rendements de différentes espèces retrouvées dans la littérature.	110
Annexe 9. Tableau présentant des pistes d'amélioration de l'étude de la qualité de la chair du muge.	111
Annexe 10. Composition des aliments testés.....	112
Annexe 11 . Composition de la farine d'algue et des trois autres ingrédients variables utilisés.	113
Annexe 12. Equipements utilisés pour la fabrication des granulés.	114
Annexe 13.Opérations de maintenance du stock de poisson et d'entretien du circuit fermé	115
Annexe 14. Principaux résultats obtenus avec <i>Liza ramada</i> durant la 2 ^{ème} phase du test (valeurs moyennes).....	116
Annexe 15. Tableau récapitulatif des événements.	117
Annexe 16. Améliorations proposées pour le test pain.....	120

1. RESUME

Le projet est localisé sur le territoire de Thau. Il s'agit d'un projet expérimental, porté par **le réseau CPIE* Bassin de Thau** avec l'implication d'un **ensemble d'acteurs du territoire**, dont notamment le **CIRAD*** pour la coordination scientifique. Ce projet vise à expérimenter une **nouvelle filière piscicole**, d'une part en expérimentant l'élevage de mulets (muge), une **espèce locale omnivore** moins exigeante en termes d'apport protéique et fournissant néanmoins toutes les qualités requises pour la consommation ; et en testant d'autre part la fabrication d'aliments innovant avec dans un premier temps **l'incorporation de chapelure de pain**, issu du gaspillage alimentaire, et d'autre part l'incorporation d'algues produites en circuit intégré, dans les granulés pour poissons.

Le projet s'accompagne d'un **volet d'éducation et de sensibilisation** des acteurs et du grand public à la lutte contre le gaspillage alimentaire et aux comportements responsables. En fil rouge de cette expérimentation, la notion d'économie circulaire comme objectif central à poursuivre.

Le présent rapport synthétise un travail de cinq années (de l'élaboration du projet, en passant par la recherche de financements, et à la mise en œuvre pratique).

Une première partie est consacrée au test de remplacement du maïs par du pain rassis comme source d'amidon. Des essais d'élevage ont été réalisés en conditions expérimentales en prégrossissement puis en condition de production en grossissement. En prégrossissement, un gradient de substitution de la farine de maïs par de la farine de pain a été testé (0, 33, 67 et 100%) pour au total 35,6% du total des ingrédients. Les résultats du 2^{ème} essai ont été meilleurs. En effet, chaque type d'aliment a été distribué durant 23 jours aux poissons stockés dans 3 bacs. Les performances des aliments expérimentaux sont plus faibles qu'avec l'aliment industriel (croissance spécifique de 1.21% et un indice de conversion de 1.91), de plus, elles diminuent avec l'augmentation de la teneur en farine de pain. Le remplacement total du maïs par le pain est associé en moyenne à une croissance de 0,94%/jour et un IC de 3,04 ; la différence avec l'aliment industriel est significative pour l'IC. En grossissement, deux types d'aliment ont été testés : un granulé expérimental extrudé avec de la farine de pain (29,4%) et un granulé industriel pour tilapia. Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure ; le meilleur IC obtenu avec l'aliment pain durant l'été est trop élevé (4,75) par rapport à l'aliment industriel (2,12). L'aliment n'a pas pu être distribué correctement à satiété. Néanmoins, l'évaluation de la qualité de ces poissons au niveau des filets produits et de la qualité gustative montre un bon rendement de filetage avec peau (44,7%). Les poissons nourris avec l'aliment pain présentent une chair plus moelleuse que celle des poissons nourris avec l'aliment industriel. Enfin, une comparaison a été effectuée avec des filets de panga importés (*Pangasianodon hypophthalmus*) ; la chair de muge est bien différente, elle est notamment plus ferme et son goût plus agréable.

Une seconde partie est consacrée au test de remplacement du tourteau de soja (TS) par de la farine de macroalgue (FA) verte ulve (*Ulva rigida*) comme source de protéines alternative. Deux types de granulés extrudés ont été préparés, l'un avec 0% FA et 40% TS et l'autre avec 20% FA et 20% TS. Durant la 2^{ème} phase (phase présentant les meilleures conditions), chaque type d'aliment a été distribué à satiété à quatre bacs de 60 L stockés avec 17 poissons marqués individuellement. Après 37 jours, les poissons nourris aux granulés 0% FA et 20% FA avaient des performances moyennes semblables au niveau du taux de croissance spécifique (TCS 1,03 %/jour) et de l'indice de conversion alimentaire (ICA 1,85 et 1,92). Le TCS des poissons nourris avec l'aliment industriel était meilleur (1,31 %/jour, P < 0,001) mais l'ICA correspondant n'était pas significativement différent (1,99). La meilleure croissance avec l'aliment industriel est associée à un taux d'alimentation journalier d'un tiers supérieur aux aliments 0% FA et 20% FA (P < 0,001). Le taux d'efficacité protéique était différent entre les trois aliments avec 1,81, 1,61 et 1,39 pour l'aliment 0% FA, 20% FA et l'aliment industriel, respectivement (P < 0,05). La rétention des protéines était similaire pour les aliments 0% FA et 20% FA (30,5% et 30,1%) mais elle était plus faible pour l'aliment industriel (24,3%).

Ces résultats exploratoires montrent qu'il est possible de recycler le pain rassis dans un aliment pour muges en substitution du maïs et dans un second temps d'incorporer 20% de farine d'ulve en substitution du tourteau de soja.

Enfin, la dernière partie du rapport revient sur les différents outils de communication et pédagogiques conçus pour ce projet qui ont permis d'aller à la rencontre des acteurs du territoire (régional et national parfois) pour sensibiliser le public aux notions d'économie circulaire, de consommation durable, de

pêche et d'aquaculture, et de gaspillage alimentaire. 4 supports outils pédagogiques ont été créés, 12 000 bénéficiaires directs et indirects ont été touchés par les actions de valorisation du projet au cours de 26 évènements locaux, nationaux et internationaux.

L'analyse de cycle de vie des aliments testés lors de cette étude montre la pertinence environnementale de la limitation de l'utilisation de soja et de maïs, en faveur de déchets de pain et d'algues issues du traitement d'eaux usées »

2. ABSTRACT

The project is located in the territory of Thau. This is an experimental project, carried out by the CPIE * Bassin de Thau with the involvement of different partners, including CIRAD* for scientific coordination. This project aims to develop a new aquaculture field, on the one hand, by experimenting with grey mullet farming, an omnivorous local species less demanding in terms of protein intake and yet providing all the benefits required for human consumption, and on the other hand by testing the incorporation of leftover bread from the catering industry into fish pellets.

The project is accompanied by education and awareness raising among actors and the public to combat food waste and promote responsible food behavior.

This report summarizes five years' work. The first part is devoted to the test of replacing maize with stale bread as a source of starch. Rearing trials were carried out under experimental conditions in pre-grow out and then under production conditions in grow out. In pre-grow out, a gradient of substitution of maize flour by bread flour was tested (0, 33, 67 and 100%) for a total of 35.6% of the total ingredients. The results of the second trial were better where each type of feed was distributed for 23 days to the fish stored in 3 tanks. The performance of the experimental feeds was weaker than that of the industrial feed (specific grow rate (SGR) of 1.21% and a feed conversion ratio (FCR) of 1.91), moreover, performances decreased with the increase in bread flour content. The total replacement of maize by bread is associated on average with a SGR of 0.94%/day and a FCR of 3.04; the difference with the industrial feed is significant for the FCR. Two types of feed were tested in the grow-out phase: an experimental pellet extruded with bread flour (29.4%) and an industrial pellet for tilapia. The results obtained do not allow any conclusions to be drawn; the best FCR obtained with the bread feed during the summer is too high (4.75) compared to the industrial feed (2.12). The feed could not be correctly distributed to satiety. The evaluation of the quality of the fish in terms of fillets produced and taste quality shows a good yield of fillets with skin (44.7%). The fish fed with the bread feed have a softer flesh than the fish fed with the industrial feed. Finally, a comparison was made with imported panga fillets (*Pangasianodon hypophthalmus*); the muge flesh is quite different, in particular it is firmer and has a more pleasant taste.

A second part is devoted to the test of replacing soybean meal (SB) with ulve green macro-algae meal (*Ulva rigida*) as an alternative protein source. The seaweed meal (SW) used comes from an ulva cultivated in earthen lagoons, in the discharge of a marine fish hatchery. Two types of extruded pellets were prepared, one with 0% SW and 40% SB and the other with 20% FA and 20% TS. During the second phase (phase with the best conditions), each type of feed was distributed to satiation to four 60 L tanks stored with 17 individually marked fish. After 37 days, fish fed with 0% FA and 20% FA pellets had similar average performance in terms of SGR (1.03%/day) and FCR (1.85 and 1.92). The SGR of fish fed the industrial feed was better (1.31%/day, $P < 0.001$) but the corresponding FCR was not significantly different (1.99). The better growth with the industrial feed was associated with a daily feeding rate one third higher than the 0% FA and 20% FA feeds ($P < 0.001$). The Protein Efficiency Ratio (PER) was different among three feeds with 1.81, 1.61 and 1.39 for the 0% AF, 20% AF and industrial feed, respectively ($P < 0.05$). Protein Retention Efficiency (PRE) was similar for the 0% AF and 20% AF feeds (30.5% and 30.1%) but was lower for the industrial feed (24.3%).

These exploratory results show that it is possible to recycle stale bread into a compound feed as a substitute for maize and in a second step to incorporate 20% *Ulva rigida* meal as a partial substitute for soybean meal.

Finally, the last part of the report looks back at the various communication and educational tools designed for this project, which made it possible to meet the actors of the territory (sometimes regional and sometimes national) to raise public awareness of the notions of circular economy, sustainable consumption, fishing and aquaculture, and food waste. 4 pedagogical tools have been created, 12 000

direct and indirect beneficiaries have been reached by the actions of valorisation of the project during 26 local, national and international events.

The life cycle analysis of the feed tested in this study shows the environmental relevance of limiting the use of soya and maize in favour of bread waste and algae from wastewater treatment".

3. GLOSSAIRE

Expressions	Définitions
<i>Conditions d'élevage</i>	
Circuit fermé	Permet de contrôler la température de l'eau. L'eau chargée des déchets d'élevage en sortie de bassin subie une série de traitements d'épuration et de régulation avant d'être réutilisée partiellement ou totalement. L'eau est recirculée avec un apport d'eau neuve réduit (x%)
Circuit ouvert	Eau circule dans le système avec uniquement de l'eau neuve du milieu extérieur (ici l'étang).
Eau neuve	La structure d'élevage reçoit un apport d'eau neuve permanent
Eau de rejet	Eau chargée en déchets d'élevage qui va subir des filtrations multiples.
Filtre biologique	Filtre qui élimine l'ammoniac毒ique pour les poissons, soit en le transformant en nitrates grâce à des bactéries nitrifiantes, soit en le faisant absorber par des macroalgues.
Filtre à sable	Filtre pression à sable de silice qui fonctionne à contre-courant. Il piège les particules en suspension.
Filtre à tambour	Tambour micro perforé tournant, pour séparer les grandes quantités d'eaux des impuretés.
Bassin tampon	Bassin de stockage intermédiaire de l'eau.
<i>Santé et croissance des poissons</i>	
Indices de performances zootechniques	Ensemble des données qui permettent de qualifier la santé, la croissance, l'alimentation des poissons élevés.
Indice de Conversion (IC) ou Indice de Conversion Alimentaire (ICA)	Donne une idée de l'efficacité alimentaire d'un aliment ou d'une stratégie alimentaire. $ICA (g) = 100 \times \frac{\text{Quantité totale d'aliment consommée}}{\text{Gain de biomasse}}$
Coefficient de condition (K)	Coefficient révélant l'état physiologique des poissons au niveau de son embonpoint. Plus un poisson est lourd pour une longueur donnée, plus son coefficient de condition est élevé.

	$\text{Coefficient de condition} = 100 \times \frac{\text{Poids vif (g)}}{(\text{Longueur à la fourche (cm)})^3}$
Taux de Croissance Spécifique (TCS)	Sert à estimer la croissance de poisson après une certaine période. $TCS (\%/\text{jour}) = 100 \times \frac{(\ln(\text{Poids final}) - \ln(\text{Poids initial}))}{\text{Durée (jours)}}$
Taux d'alimentation ou taux de rationnement journalier (TAJ / TRJ)	Ration alimentaire en % de biomasse par jour. $TAJ (\%/\text{jour}) = 100 \times \frac{\text{Qté aliment moyenne /jour}}{\text{Biomasse moyenne}}$
Gain de biomasse	Augmentation du poids de l'ensemble des poissons de l'expérimentation.
Croissance relative	Gain de biomasse du début à la fin de l'expérience. $\text{Croissance relative (\%)} = 100 \times \frac{(\text{Poids final} - \text{Poids initial})}{\text{Poids initial}}$
Gain moyen quotidien	$\text{Gain Moyen Quotidien (g)} = 100 \times \frac{(\text{Poids final} - \text{Poids initial})}{\text{Durée (jours)}}$
Pré-grossissement	Phase au cours de laquelle le poisson passe d'un alevin à juvénile. Par une gestion plus rationnelle des bassins.
Grossissement	Permet de passer d'un juvénile à un poisson de taille commerciale marchande.
Biométrie	Etape pour laquelle on réalise différentes mesures (poids, tailles...) pour étudier les différentes variations biologiques au sein des groupes de poissons.
Composition des aliments	
Granulés extrudés	Aliment dont la fabrication se fait par extrusion (process de cuisson sous pression dans un tube avec vis sans fin, suivi d'une détente à l'air ambiant)
Composition proximale	Composition de l'aliment en termes de macronutriments (protéines, lipides, fibres, glucides, cendres et énergie totale).
Cendres	Eléments restants après combustion des aliments, il s'agit principalement de minéraux.
Qualité de la chair des poissons	
Rendement de filetage	Rapport entre le poids des filets et le poids du poisson entier.

1. CONTEXTE DU PROJET

Cette première partie du rapport s'attachera à présenter l'historique (1) du projet, le contexte territorial (2) sur lequel il se situe et le lien avec la problématique du gaspillage alimentaire et de l'économie circulaire (3), pour synthétiser les enjeux et objectifs de l'expérimentation (4).

1.1. Historique

Les Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement sont des structures œuvrant sur un territoire d'action défini et dotées d'une expertise en termes d'accompagnement de démarches territoriales de développement durable. La plus-value des CPIE est donc la connaissance fine de leur territoire d'action et des acteurs.

Le projet a été pensé en premier lieu par le CPIE de La Ciotat et le CIRAD. Mais rapidement, il a été décidé qu'il serait plus cohérent au regard du territoire d'expérimentation que ce soit le CPIE Bassin de Thau qui porte ce projet.

Le CPIE sur Thau a, en outre, la spécificité d'être constitué en réseau infra-départemental c'est-à-dire composé de 17 structures membres qui agissent au quotidien dans des projets collectifs portés par le réseau. Parmi ces structures se trouvent notamment le réseau des CIVAM (Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural), les socioprofessionnels de Thau CRCM (Centre Régional Conchylicole de Méditerranée), Cépralmar, CRPMEM Occitanie (Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins) et Prud'homie, des éducateurs environnement et des membres associés (collectivités et gestionnaires). A travers le pilotage du CPIE Bassin de Thau, la mise en réseau d'acteurs territoriaux est donc grandement facilitée.

A l'origine de ce projet se trouve donc un réseau associatif œuvrant dans le développement durable et l'accompagnement d'initiatives locales (le CPIE Bassin de Thau), une structure scientifique (le CIRAD) et une structure de formation en lien avec les métiers de la pêche et de l'aquaculture (le Lycée de la Mer Paul Bousquet) avec laquelle le CPIE Bassin de Thau travaillait déjà sur de nombreux projets.

Nous nous sommes adjoints l'expertise technique d'un partenaire privé à savoir la société « Les Poissons du Soleil », professionnel du milieu de l'aquaculture, ainsi que le soutien précieux des agriculteurs côté mer du territoire à savoir les pêcheurs et conchyliculteurs.

Lauréat de l'appel à projet « Gaspillage alimentaire » de l'ADEME en 2015 et de la fondation Kronenbourg, nous avons débuté le projet en 2016 sur la première phase, à savoir **l'expérimentation d'une alimentation pain en pré-grossissement**, faute de financement complémentaire.

Nous avons poursuivi le projet par la suite, grâce au soutien obtenu à travers l'appel à projet Economie circulaire de l'Ademe et la Région Occitanie, ainsi que l'appel à projet Ecosystèmes, agricultures et alimentation co porté par la Fondation de France et la Fondation Carasso. Enfin, le projet a été lauréat national du Groupe Agrica, et régional pour la fondation Banque Populaire du Sud.

Nous avons donc continué l'expérimentation jusqu'en début 2020 avec le test des aliments « pain » en situation d'élevage, et l'expérimentation d'un aliment pain-algues, avec en parallèle un travail important de concertation territoriale et de sensibilisation du public et des professionnels autour des résultats de ce projet.

Ce projet se démarque par l'accent mis sur l'aspect d'éducation et de sensibilisation d'un public large mais aussi sur l'ambition de travailler sur une espèce de poissons souvent décriée et pourtant dotée d'un potentiel certain en termes de consommation durable.

Un projet innovant ;

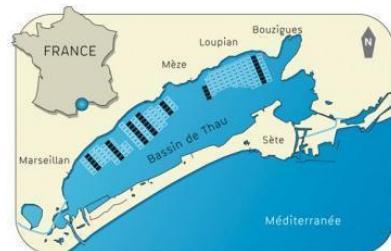
- L'expérimentation de l'élevage d'une **espèce locale** : le Mulet, un poisson omnivore présentant toutes les qualités gustatives et nutritionnelles ;
- L'expérimentation d'une alimentation piscicole durable, avec le test de deux aliments novateurs issus de l'économie circulaire
- Un consortium d'acteurs porteurs du projet regroupant le monde associatif, le monde scientifique et universitaire et un partenaire privé représentant la filière aquacole.

1.2. Contexte territorial

1.2.1. Le territoire

Le territoire de Thau (Hérault – France) est confronté à de forts enjeux socioéconomiques et environnementaux. C'est un territoire côtier qui remplit d'importantes fonctions économiques, sociales, et écologiques. C'est un territoire vulnérable, situé sur un bassin versant, où la gestion durable des ressources et des espaces est un défi majeur à relever. La question de la consommation de produits issus de la ressource en eau est au cœur de ces défis.

Le territoire concentre de nombreux acteurs des filières halieutiques¹ et notamment **des petits métiers polyvalents mais fragilisés**. La pêche aux « petits métiers » sur la bande littorale et les lagunes de Thau et d'Ingril constitue une activité significative, avec 200 emplois embarqués en lagune et 200 en mer, pour un chiffre d'affaires proche de 10 millions d'euros.



OP des Conchyliculteurs de Thau, Cépralmar (2007)

1.2.1.1. *La pisciculture, une activité au cœur des enjeux alimentaires*

La FAO* estime qu'à l'horizon 2030, la pisciculture devra assurer les deux tiers de la production piscicole mondiale pour répondre à la demande². "Un approvisionnement durable en poisson - qui consiste à produire sans appauvrir la base de ressources naturelles et sans porter atteinte à l'environnement aquatique - est un enjeu colossal" indique ce rapport de la FAO.

La France produit actuellement 17 % de la production européenne dont majoritairement des truites et de la pisciculture marine avec des espèces carnivores. Le secteur représente près de 700 ETP. En Occitanie, l'activité piscicole présente de nombreux enjeux. La part des entreprises du littoral méditerranéen dans le chiffre d'affaires métropolitain des truites et poissons marins, espèces toutes carnivores s'élève à 37 %. La pisciculture en Occitanie s'est spécialisée sur le secteur de pointe de l'écloserie qui a contribué au développement actuel de la pisciculture méditerranéenne.

Cependant, l'élevage de poissons ne peut être présenté comme une solution exempte de tous reproches. Les caractéristiques actuelles de la pisciculture à savoir l'élevage en majorité de poissons carnivores a des impacts importants sur l'environnement. En effet, 20 à 25 % des captures en mer sont aujourd'hui destinées à être transformées en farine pour l'élevage de poissons³ principalement saumons-truites et bars en Europe. A titre d'exemple pour élever un kilo de saumon, il faudrait 3 kilos de farine de poissons. Une des solutions aujourd'hui préconisée face à la baisse des ressources naturelles et à la hausse de la demande des consommateurs serait de revenir à un **système d'aquaculture intégrée** c'est-à-dire un système partageant les ressources en eau, aliments, gestion, etc. avec d'autres activités, mais également de diversifier les espèces élevées pour aller vers des poissons moins « consommateurs ».

1.2.1.2. *L'élevage de muge, une alternative durable*

Aujourd'hui, l'approvisionnement en muge pour l'aquaculture se fait principalement par des prélèvements dans le milieu naturel comme pour *Mugil cephalus*. La majorité des mullets à grosse tête exploités en aquaculture commerciale proviennent des captures d'alevins sauvages, particulièrement dans la Méditerranée méridionale et orientale, en Arabie Saoudite, dans les états du Golfe et l'Asie du Sud -Est⁴; il est donc important de s'intéresser à l'état de la ressource.

¹ Extrait du dossier DLAL Feamp du Syndicat Mixte du bassin de Thau.

² rapport [Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture](#), établi en collaboration entre la Banque mondiale, la FAO et l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).

³ Association Bloom

⁴ http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mugil_cephalus/fr

Peu de données contemporaines existent sur l'évaluation de l'état des stocks de muges car ces espèces sont peu valorisées économiquement et donc peu étudiées (Source - IFREMER). La bibliographie explorée dans le cadre du présent projet date des années 90⁵. Elle indique que les tonnages de captures ont chuté à partir de 1994. Cette chute est corrélée à la baisse du prix par kg cette même année et qui s'est maintenue dans le temps (jusqu'en 2000) montrant un désintérêt pour la pêche professionnelle pour cette espèce. En parallèle, la production mondiale de mulet par l'aquaculture a augmenté annuellement dans les années 90.

Selon la FAO, à l'échelle mondiale, la production de muges depuis 2010 toutes espèces confondues s'élève en 2018 à 262 436 tonne dont 242 071 en Egypte (Espèces principales *Mugil cephalus* et *Liza ramada*)⁶

La FAO publie sur son site internet dédié au département des pêche et aquaculture⁷ une liste d'espèces aquatiques cultivées. La production globale du mulet à grosse tête (*Mugil cephalus*) a augmenté de 25 600 tonnes en 1997 à 147 000 tonnes en 2003. La majeure partie de cette augmentation résultait de la production renforcée provenant de l'Egypte, qui est le plus grand producteur (92 pour cent en 2003).

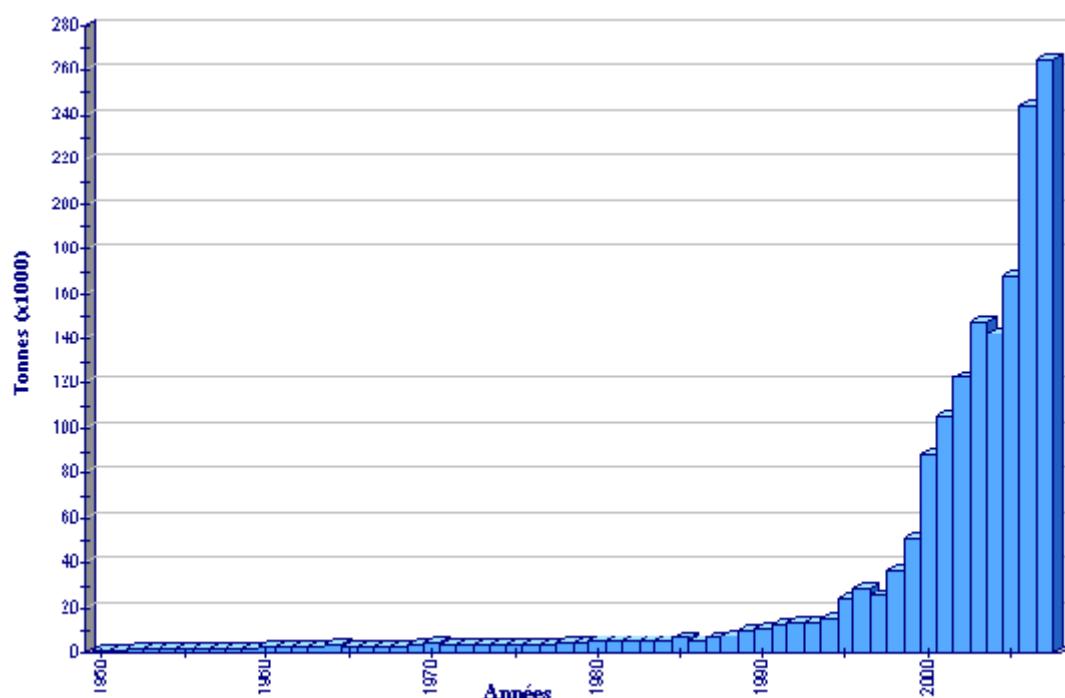


Figure 1 : Production mondiale (en tonnes) de *Mugil cephalus*⁸

En Méditerranée il existe 4 espèces de mullets (ou muges) présentant un régime omnivore. Les mullets ont également l'avantage de ne pas avoir d'arête intramusculaire (des arêtes que l'on trouve chez les carpes) et donc une qualité de chair potentiellement bonne présentant toutes les qualités pour répondre aux besoins de la restauration collective et individuelle.

A une échelle plus locale, le mulet ou muge porc (*Liza ramada*) est un poisson côtier, fréquent dans les lagunes dont Thau (également pêché dans le bassin d'Arcachon). Il est largement pêché par la pêche

⁵ Les mullets des mers d'Europe, Synthèse des connaissances sur les bases biologiques et les techniques d'aquaculture - Jérôme Hussenot, Dominique Gautier, 2005

⁶ FAO. 2020. Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2018 (FishstatJ). In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 2020

⁷ http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mugil_cephalus/fr

⁸

Source :http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/fr/fr_flaheadgreymullet.htm

traditionnelle « petit métier » et pourtant peu consommé localement. C'est une espèce facile à élever et donc présentant toutes les qualités pour un élevage à faible coût. C'est également une espèce caractérisée comme « à privilégier » pour la consommation par la fondation Good Planet. Actuellement élevé dans les régions du Maghreb et notamment l'Egypte (200 000 tonnes par an), mais également en Italie via un système de valiculture, la production connaît des limites notamment compte tenu du besoin d'approvisionnement en alevins dans le milieu naturel et le faible nombre d'éclosseries ayant développé cette espèce.

De plus, le muge est tolérant vis-à-vis de la qualité de l'eau, notamment vis-à-vis de l'oxygène, de l'ammoniac, de la salinité et de la température. Il peut être élevé en mer ou en eau douce, en été ou en hiver, en cages ou en étangs. Ce poisson ne se reproduit pas en eau douce (a priori pas de développement de gonades) ce qui est un autre avantage, car l'inhibition de la reproduction est souvent un enjeu en élevage.



Extrait livret recette projet - CPIE Bassin Thau

A ce propos ; le projet européen Diversify⁹ a permis de nombreuses avancées sur la reproduction, la nutrition, la croissance ainsi que les aspects socioéconomiques sur l'espèce *Mugil cephalus*. Une synthèse des principaux résultats est mise en perspective avec le présent projet dans ce rapport.

Le muge permet aussi de commercialiser de la **poutargue, préparation à base d'œuf de muges, salés et séchés**. C'est devenu un produit transformé à forte valeur ajoutée et commercialisé sur tout le pourtour méditerranéen, notamment en Provence (Martigues), en Corse (Bastia), en Italie, en Tunisie... Les principaux marchés de revente sont la France, l'Italie mais aussi les Etats-Unis¹⁰.

1.2.1.3. Des enjeux territoriaux analysés par le CESER Occitanie

Le CESER Occitanie a rendu le 11 octobre 2018 un rapport intitulé « Quelles perspectives pour les filières pêche et aquaculture en Occitanie / Pyrénées-Méditerranée ? »¹¹.

Dans son rapport, le CESER confirme l'enjeu stratégique de cette filière aquacole.

« De par sa situation géographique, l'Occitanie est bordée par 220 km de côtes, 36000 ha de lagunes et de grandes réserves naturelles, ces filières représentent aujourd'hui un enjeu considérable, enracinées dans notre histoire. Elles contribuent au rayonnement économique, social, culturel, à la valorisation du patrimoine de notre région qui concentre la 1ère flottille de pêche de Méditerranée, 5 ports de pêche, 70 points de débarquement, 95% de la production halieutique en Méditerranée française et 10 % de la production conchylicole nationale avec 476 exploitations (Thau et Leucate). L'Occitanie est au centre des problématiques liées à ces filières qu'il s'agisse de la protection des milieux, de la ressource, de la lutte contre la pollution mais également des métiers de la mer, de la mise en marché et de l'aval des filières, rappelons que cela représente 4500 emplois directs et indirects. La vitalité économique de ce secteur et son ancrage territorial constituent donc une priorité ».

Parmi les préconisations du CESER Occitanie, notons « le développement de la filière piscicole marine ; « Un enjeu de la filière piscicole marine est de réduire sa dépendance à l'alimentation protéinée. Cela passe par une valorisation d'espèces omnivores comme le muge, qui pourrait être servi dans les établissements scolaires ». Le projet objet du présent rapport est venu nourrir l'avis rendu.

1.2.2. Les besoins et les attentes des consommateurs

⁹ <https://www.diversifyfish.eu/grey-mullet-workshop.html>

¹⁰ Rapport Pêche et Aquaculture, Les cahiers de FranceAgriMer 2015, plateforme Doris de la FFESSM

¹¹ Avis du CESER Occitanie, 11 octobre 2018, « Quelles perspectives pour les filières pêche et aquaculture en Occitanie/ Pyrénées--Méditerranée? », téléchargeable en ligne sur le site du CESER

En France, chaque habitant consomme, en moyenne, 22 kg de poissons par an, dont moins de 5 % provient de la pisciculture nationale. Pour pallier aux problèmes liés à la surpêche et la diminution de la ressource, l'aquaculture propose une alternative. Mais, en France l'élevage de poissons carnivores constitue l'essentiel des 45 000 tonnes de la pisciculture. Les poissons omnivores, peu produits, ont un potentiel intéressant en particulier vis-à-vis d'un impact moindre sur l'environnement (moins de consommation de farine de poissons et moins de rejet d'azote et de phosphore). Comme toute activité anthropique, **l'aquaculture côtière exerce de fortes pressions environnementales**. Cet aspect environnemental pèse fortement sur la commercialisation des produits de la mer qu'ils soient sauvages ou d'élevage et la plus-value environnementale du muge, espèce omnivore représente donc un intérêt non négligeable pour le consommateur.

L'étude Greenflex mise à jour en 2017¹² sur la « consommation responsable en France » montre que plus de 80 % des consommateurs souhaitent que les entreprises élargissent l'offre de produits plus respectueux de l'environnement. Cette étude met également en avant le fait qu'une des préoccupations qui augmente le plus chez les français est la préservation de la biodiversité et plus particulièrement l'extinction des espèces.

Le territoire de Thau (Sète Agglopôle Méditerranée) regroupe 125 000 personnes, il s'agit de la seconde plus grosse communauté d'agglo de l'Hérault, après celle de Montpellier.

Cela représente un potentiel de consommation de 1 milliard d'euros et un chiffre d'affaires de l'ordre de 600 millions d'euros.

1.3. L'aquaculture durable, une activité en devenir

1.3.1. Impact environnemental de l'aquaculture

Le sous-développement de la pisciculture française peut être attribué, entre autres, par le possible impact environnemental lié aux rejets des poissons et à la réglementation associée, ainsi que l'image associé à cette filière.

Pour rappel, la pisciculture marine et « nouvelle » produit 7 espèces de poissons dont, en 2016 : 1 928 tonnes de bars, 1 671 tonnes de daurades, 288 tonnes de turbots, 236 tonnes de maigres, 450 tonnes de saumons, 248 tonnes de soles, et 306 tonnes de chair d'esturgeons¹³.

Parmi ces rejets, les sels nutritifs dissous que sont l'ammoniaque, les nitrates et le phosphate sont particulièrement limitants ; les normes de rejets les concernant sont drastiques. Ces sels nutritifs peuvent en effet causer des blooms de macroalgues (ulves en particulier) qui constituent une nuisance (échouages sur les côtes) et peuvent causer l'eutrophisation du milieu lagunaire lorsque ces algues se décomposent (bloom de bactéries qui consomme beaucoup d'oxygène dissous).

L'azote constitue environ 16% du poids de protéines. Cet azote est libéré lors de la dégradation des protéines non fixées, et excréte sous forme d'ammoniaque dans l'eau au niveau des branchies. Le rejet azoté peut donc être plus important avec des poissons carnivores qu'avec des poissons omnivores. En monoculture intensive, on peut considérer a priori qu'un poisson carnivore va possiblement rejeter ≈ 30% d'azote en plus qu'un poisson omnivore¹⁴.

En pratique, une production annuelle de 30 tonnes de daurades en grossissement requiert la distribution quotidienne d'environ 100 kg d'aliment (45% protéines). Cette consommation d'aliment génère un rejet quotidien d'environ 5 kg d'azote, soit l'équivalent du rejet azoté de 500 personnes (≈ 10 g/personne/jour). Du phosphore accompagne également le rejet d'azote pour environ le tiers de celui-ci.

¹² A télécharger en suivant ce lien : <https://greenflex.automation.webmecanik.com/etude-conso-responsable-20171>

¹³ Avis du CESER Occitanie, 11 octobre 2018, « Quelles perspectives pour les filières pêche et aquaculture en Occitanie/ Pyrénées--Méditerranée? », téléchargeable en ligne sur le site du CESER – page 64

¹⁴ Avec 45% et 30% de protéines pour les aliments carnivores et omnivores, respectivement, et, commun aux deux types de poissons, un IC de 1,3 et une teneur en protéines de 18% dans carcasse des poissons.

1.3.2. Comparaison avec les élevages terrestres

L'élevage porcin notamment, avec une production annuelle de 2,3 MT équivalent carcasse, correspond à la consommation nationale (2,25 MT/an¹⁵). Il correspond également à 50 fois la production piscicole total. Les rejets porcins en sels nutritifs sont pourtant massifs. Avec un rejet azoté du porc à l'engraissement de 51,6 kg par tonne de production (d'après (Rey & Lobry 2017)), le rejet total de la filière porcine est au moins équivalent à 50% du rejet azoté total des habitants du pays... On remarque que le rejet azoté par tonne de production est similaire entre le porc à l'engraissement et les poissons d'élevage en grossissement cités plus haut.

Une des raisons expliquant le développement si important de la filière porcine semble être que la filière porcine sait gérer ses effluents, ou plus exactement les recycler. Chaque élevage de porc est en effet tenu de traiter son lisier, principalement par l'épandage sur des terres agricoles. Les rejets azotés de l'élevage sont bien connus en fonction des stades (Annexes

Annexe 1) de même que la quantité d'azote exportée par les différentes cultures (Annexe 2). Cette exportation d'azote varie de 75 à 264 kg/ha/an pour une prairie permanente (0,5 T foin/ha/an) et une culture de maïs (12 T grains/ha/an), respectivement. Par ailleurs, il existe une directive nitrates qui limite l'apport d'azote à 170 kg/ha/an. Ainsi, par tonne de porcs engrangés (\approx 11 animaux), en considérant le lisier brut, une surface d'épandage d'au moins 3000 m² est nécessaire.

Cet aspect recyclage est essentiel pour la filière porcine, de même que pour les autres filières animales terrestres, à la fois pour une question de protection de l'environnement et pour l'économie que constitue l'apport des sels nutritifs aux cultures. De plus, cela contribue certainement à « l'acceptabilité sociétale » des productions animales qui peuvent être jugées doublement utiles. Actuellement, les piscicultures sont tenues de respecter des normes de rejet, exprimées en variation de concentration dans l'eau de rejet et/ou en quantité de rejet (ex : kg azote/an) ; il n'y a pas d'impératif de traitement du rejet lui-même.

¹⁵ 34 kg/habitant/an x 66,3 M habitants. <https://www.la-viande.fr/economie-metiers/economie/chiffres-cles-viande-porcine/consommation>

La réglementation encadrant la pisciculture en France

En France, les établissements de pisciculture sont des Installations classées pour l'environnement (ICPE).

Tout établissement de pisciculture doit se référer à la nomenclature ICPE pour connaître le régime auquel il est soumis : autorisation ou déclaration. La Figure 2 détaille le régime d'autorisation ou de déclaration auquel doit se conformer une pisciculture et les renvois vers les arrêtés en vigueur.

Piscicultures	
1. Piscicultures d'eau douce (à l'exclusion des étangs empoisonnés, où l'élevage est extensif, sans nourrissage ou avec apport de nourriture exceptionnel) :	
la capacité de production étant supérieure à 20 t/an	(A-3)
2. Piscicultures d'eau de mer, la capacité de production étant :	
a) Supérieure à 20 t/an	(A-3)
b) Supérieure à 5 t/an, mais inférieure ou égale à 20 t/an	(D)

Régime de la déclaration : Arrêté du 5 décembre 2016 relatif aux prescriptions applicables à certaines installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration (rubrique 2130.2)

Régime de l'autorisation : Arrêté du 1er avril 2008 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les piscicultures d'eau douce soumises à autorisation au titre du livre V du code de l'environnement (rubrique 2130 de la nomenclature des installations classées)

Figure 2 : Nomenclature ICPE encadrant les activités de pisciculture et arrêtés en vigueur.
Source : Aida Ineris.

En ce qui concerne les normes de rejets, l'entreprise les Poissons du soleil indique en communication personnelle que les normes de rejet sont propres à l'établissement encadré par le régime ICPE.

1.3.3. Aquaculture multitrophique intégrée

Pour apporter une réponse à ces enjeux, les systèmes aquacoles intégrés multi trophiques (IMTA en anglais) sont mis en place pour « bioremédier » tout ou partie des rejets d'ammoniaque, nitrates et phosphates dissous.

L'Aquaculture Multi-Trophique Intégrée (AMTI) consiste à reproduire un écosystème naturel en combinant l'élevage de différentes espèces complémentaires, appartenant chacune à un maillon de la chaîne alimentaire. Les rejets organiques et inorganiques produits par une espèce, dite nourrie, comme les poissons nourris avec du granulé (truite, saumon, daurade), servent d'aliments aux espèces dites épuratrices telles que les algues et coquillages cultivés à proximité. La présence de ces espèces filtreuses permet de réduire l'impact environnemental de l'élevage. Les fonds marins sont préservés et conservent leur équilibre.¹⁶

Les algues cultivées en IMTA recyclent les protéines : en absorbant les sels nutritifs dissous (et le gaz carbonique) excrétés par les poissons, elles synthétisent et accumulent des protéines algales. Avec des algues cultivées dans le rejet d'un circuit fermé classique (avec biofiltre bactérien), la teneur en protéines peut atteindre 30-35% de la matière sèche.

Les algues ainsi produites peuvent donc constituer une source de protéines. La teneur de 30-35% rend possible l'utilisation de la farine d'algue comme ingrédient pour des granulés destinés à des poissons

¹⁶ Source : <https://agriculture.gouv.fr/aquaculture-truites-algues-et-coquillages-lequation-verteuse-de-symbiomer>

omnivores. Cette teneur est en revanche trop faible pour constituer une source de protéines importante pour des poissons carnivores.

1.3.4. Panorama des initiatives contribuant à la durabilité de l'aquaculture

Dans le paysage de l'aquaculture, deux labels sont associés à sa durabilité :

Le label ASC pour Aquaculture Stewardship Council a été fondé en 2010 par le WWF. Le programme ASC intègre de multiples acteurs à la réflexion sur les pratiques et les impacts de l'aquaculture pour tendre vers une activité durable. Reconnue au niveau mondial, cette labellisation vise le consommateur. Le logo ASC sert à les sensibiliser dans leur acte d'achat (aspect environnemental et social). Aujourd'hui, ce label certifie des élevages de crevettes, de saumons, de truites ou encore de moules et d'huîtres... C'est aujourd'hui le seul label qui certifie la durabilité d'une production aquacole, même si certaines limites existent et sont pointées par plusieurs ONG (Bloom¹⁷¹⁸).



Le label BIO est une certification française et européenne utilisée dans tous types d'élevage. Il représente une aquaculture biologique soumise à des obligations : Interdiction d'utiliser des pesticides ou autres produits chimiques (colorants, stimulants de croissance)

Limitation des antibiotiques

Alimentation durable : alimentation issue d'une pêche sous quotas et végétale issue de l'agriculture biologique sans trace d'organisme génétiquement modifié (OGM)

Densité d'élevage réglementée en respectant le bien-être animal

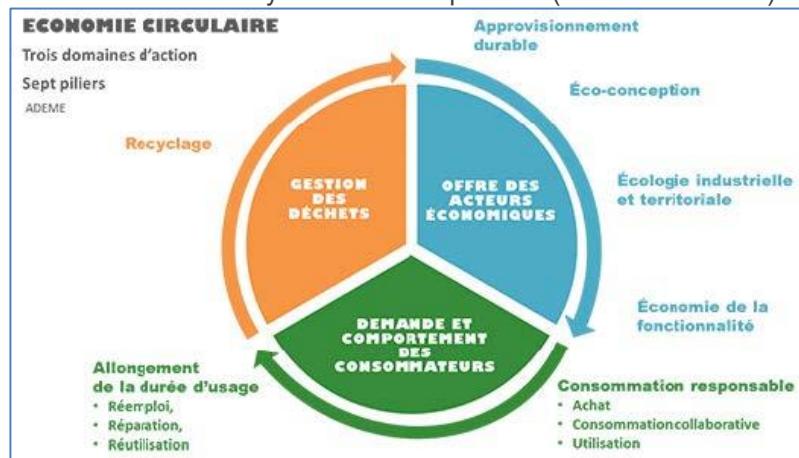
La labellisation concerne aussi les moules. Dans ce cas la qualité des eaux doit être de haute qualité et sans impact sur l'environnement.



D'autres labels existent qui n'ont pas été analysé dans ce rapport.

1.4. L'économie circulaire, au cœur du projet

L'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui vise à une plus grande efficacité dans l'utilisation des ressources et à une réduction des impacts sur l'environnement, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens ou services).



¹⁷ <https://www.bloomassociation.org/dossier-peche-minotiere/>

¹⁸ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/peche-minotiere-poisson-transformation-farines-elevages-Bloom-28456.php4>

Figure 3 : Les piliers de l'économie circulaire. Source : ADEME.

En Occitanie, la Région et l'ADEME sont les deux acteurs majeurs sur le sujet.

Les stratégies de développement économique sont aujourd'hui portées par les Régions, avec le relai opérationnel des intercommunalités et Départements. Confortées dans leur rôle de « chef de file » à travers la Loi MAPTAM, exerçant des compétences en lien direct avec les leviers à activer.

Le projet La Graine et le muge se veut une véritable expérimentation avec mise en pratique de cette notion d'économie circulaire. En effet, en partant d'une hypothèse scientifique, nous avons testé en condition réelle. À travers le projet se trouve donc l'économie circulaire dans sa globalité de l'écologie industrielle au recyclage en passant par la sensibilisation du public.

Nous avons d'ailleurs mis cette notion en avant avec la réalisation d'une vidéo pour le compte de l'ADEME et réalisé par C4Dev dans laquelle à travers l'explication du projet il s'agit d'expliquer la notion d'économie circulaire au grand public.



Lien <https://vimeo.com/363497350>

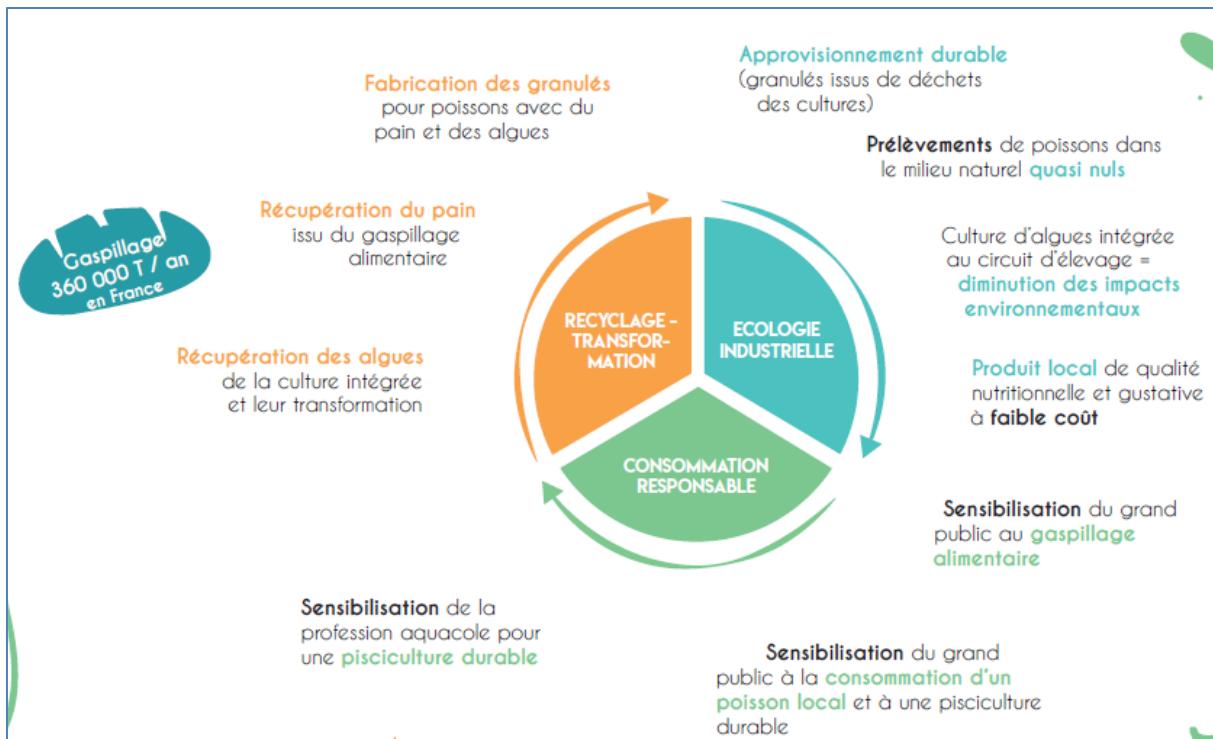


Figure 4 : Schéma détaillé de la mise en pratique de l'économie circulaire au sein du projet.

1.5. Hypothèses scientifiques

1.5.1 Hypothèse relative à la substitution du maïs par le pain

L'état des lieux des gaspillages alimentaires réalisé en 2016 par l'ADEME estime que plus de 10 millions de tonnes de déchets alimentaires sont produits chaque année. En valeur ces pertes et gaspillages représentent 16 milliards d'euros par an. Ce chiffre comprend l'ensemble des acteurs de la production à la consommation, en passant par la transformation et la distribution. 1/3 des pertes sont générées au niveau de la consommation. La plus grosse source provient des foyers qui gaspillent 6,5 Mt dont 1,2 Mt encore consommable.

Au niveau national en moyenne, le gaspillage alimentaire en restauration collective représente 167g/repas/personne¹⁹.

Le gaspillage annuel de pain pourrait être estimé à quelques 360 000 tonnes, soit 10 % de la consommation nationale (consommation de ~60 kg/personne/an) selon une enquête minimale réalisée pour le projet.

Differentes actions sont menées pour réduire le gaspillage en restauration collective et mieux gérer les déchets. Il est nécessaire d'agir sur les notions de « mieux consommer » pour limiter le gaspillage et de « recyclage et réutilisation » des denrées non consommées.

Le recyclage passe notamment par la valorisation des denrées non consommées pour être transformées et réutilisées.

D'après une première recherche bibliographique, les déchets de boulangerie, dont principalement le pain rassis, peuvent être incorporés dans l'alimentation animale. Pour les animaux terrestres, leur utilisation est rapportée avec les porcs (Westendorf & Myer 2004), les ruminants (Afzalzadeh et al. 2007 ; Lardy & Anderson 2003) et avec les volailles dont les poulets de chair (Al-Tulaihan et al. 2004) et les poules pondeuses (Shafey et al. 2011). Avec ces dernières, la farine de pain (chapelure) peut constituer jusqu'à 60 % de l'aliment. En France, l'incorporation du pain dans l'alimentation des animaux terrestres fait déjà l'objet d'actions coordonnées par Valoria (syndicat des professionnels de la valorisation en alimentation animale des coproduits et écarts de production agroalimentaires) (Garot, 2015).

¹⁹ Comment réduire le gaspillage alimentaire au sein de sa restauration collective ? Guide pratique CPIE - Décembre 2012

En aquaculture également, le pain est considéré comme une matière première alimentaire (Tacon et al. 2009). Des essais d'incorporation dans l'alimentation des poissons ont été rapportés avec des poissons omnivores comme le mulet (*Mugil cephalus*) (Rahman, 2013 ; El-Ebiary 1998), le tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Al-Ruqaie, 2007), le milkfish (*Chanos chanos*) (Baliao, 1984), la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) (Rahman, 2013), les carpes indiennes dont *Labeo rohita* (Chandan et al. 2013) et le poisson-chat (*Clarias gariepinus*) (Fakunmoju, 2014). Les niveaux d'incorporation testés et satisfaisants pour la chapelure varient de 20 % à 50 % parmi ces poissons.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'expérimentation présentée, pour laquelle nous sommes partis de l'hypothèse de la faisabilité de la substitution des farines de maïs par des farines de pain.

1.5.2 Hypothese relative à la substitution du tourteau de soja par l'algue *Ulva rigida*

Les algues cultivées en IMTA recyclent les protéines : en absorbant les sels nutritifs (et le gaz carbonique) excrétés par les poissons, elles synthétisent et accumulent des protéines algales. Avec des algues cultivées dans le rejet d'un circuit fermé classique (avec biofiltre bactérien), la teneur en protéines peut atteindre 30-35% de la matière sèche. Cette teneur peut être plus élevée avec une culture qui remplace le biofiltre bactérien.

Les algues ainsi produites peuvent donc constituer une source de protéines. La teneur de 30-35% rend possible l'utilisation de la farine d'algue comme ingrédient pour des granulés destinés à des poissons omnivores. Cette teneur est en revanche trop faible pour constituer une source de protéines importante pour des poissons carnivores.

De nombreuses publications présentent des résultats d'incorporation de macroalgues dans l'alimentation des poissons. Une synthèse réalisée par Philippe Cacot (CIRAD) présentait 50 tests avec un gradient d'incorporation ; ils concernaient pour moitié des poissons carnivores et moitié des poissons omnivores (Cacot 2016). Sur tous ces tests, 28 présentaient des résultats positifs par rapport aux aliments contrôle sans algues. Sur l'ensemble des meilleurs résultats obtenus, le niveau moyen d'incorporation de l'algue est environ 4 fois plus élevé avec les poissons omnivores qu'avec les poissons carnivores, d'environ 20% et 5%, respectivement. En moyenne, l'incorporation d'algues permet un gain de croissance d'environ 10% pour tous les poissons et une réduction de l'indice de conversion alimentaire (ICA) deux fois meilleure pour les poissons omnivores que pour les poissons carnivores, d'environ 20% et 10%, respectivement. Il s'agit là de valeurs moyennes sachant que la variabilité des résultats est très grande entre les différences espèces de poissons et d'algues. Cela peut être lié à des digestibilités différentes qui dépendent à la fois des poissons et des algues. La variabilité est également grande pour un même genre d'algue, *Ulva* notamment ; cela peut être lié notamment à la variabilité importante de la teneur en protéines, en l'occurrence de 7% à 40% de la matière sèche chez *Ulva*.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'expérimentation présentée, pour laquelle nous sommes partis de l'hypothèse de la faisabilité de la substitution du tourteau de soja par de la farine d'ulve.

1.6. Enjeux et objectifs du projet

La problématique identifiée fondant cette étude est donc la suivante : **face au constat de la baisse des ressources naturelles halieutiques et de la hausse de la demande des consommateurs, comment développer une filière piscicole durable répondant aux enjeux environnementaux, et économiques de demain, tout en impliquant et responsabilisant le citoyen ?**

Objectif principal :

Expérimenter le développement d'une filière piscicole durable permettant de limiter l'impact environnemental, en se basant sur l'économie circulaire.

Objectifs secondaires :

- Développer le potentiel de fabrication d'aliment durable pour la pisciculture utilisant le pain gaspillé et les algues en substitution du maïs et du tourteau de soja ;
- Sensibiliser aux enjeux de gaspillage alimentaire ;
- Expérimenter une nouvelle technique de fabrication de granulés pour poisson ;

- Valoriser la production d'une espèce locale de qualité, les métiers de production aquacole et les pêcheurs « petit métier » ;
- Sensibiliser à un comportement alimentaire responsable et aux bonnes pratiques de production et de consommation ;
- Mettre en réseau les acteurs : scientifiques, pisciculteurs, entreprises privées, lycéens professionnels, animateurs EEDD * ;
- Accompagner les professionnels pour une promotion de la démarche au niveau national ;
- Créer des liens entre les territoires de production et les territoires de consommation, entre terres et mers d'un même bassin de vie, entre producteurs et consommateurs ;
- Essaimer les résultats au niveau national, et international.

Les objectifs du projet ont un impact à long terme aussi bien sur les aspects liés au gaspillage alimentaire (sensibilisation des publics, organisation de la collecte de pain, nouvelle filière de valorisation des denrées alimentaires) qu'aux aspects liés à l'élevage (production et consommation locale et responsable, impact positif sur la biodiversité par la diminution des farines animales dans les aliments, développement d'une économie circulaire).

2. CONCERTATION TERRITORIALE ET ANALYSE DE LA FILIERE PAIN

Cette seconde partie présente les différentes phases nécessaires au déroulement de ce projet. Dans un premier temps la concertation des acteurs (1) a permis de mettre en place une feuille de route et d'établir la gouvernance entre les acteurs. Ensuite une étude sur la filière pain a été réalisée (2), dans le but de repérer et de quantifier les volumes de pain sec sur un territoire donné.

2.1. La concertation territoriale à l'origine du projet

Cette première étape avait pour objectif la mise en relation de l'ensemble des acteurs identifiés, la structuration de la gouvernance du projet et la conception collective du plan d'action.

2.1.1. La mise en réseau des acteurs

2.1.1.1. Le comité technique (COTECH*) du projet

Le comité technique du projet est composé de 4 structures : le réseau du CPIE Bassin de Thau porteur du projet et coordinateur général, le CIRAD coordinateur scientifique, et le lycée de la mer Paul Bousquet soutien à la coordination scientifique et aux phases pédagogiques (essentiellement sur la phase pain) et l'entreprise les poissons du Soleil. S'est adjoint au comité technique deux personnes de l'université d'Annaba en Algérie qui ont pris part au projet sur la phase algues.

Le Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement du Bassin de Thau²⁰ est un réseau de 17 structures membres (association EEDD, instances professionnelles de la pêche et de la conchyliculture, agriculteurs...) œuvrant sur le territoire de Thau pour la promotion, l'accompagnement et la valorisation de l'environnement d'une manière générale. Les grands axes d'intervention de l'association sont :

- La sensibilisation et l'éducation de tous à l'environnement pour un développement local ;
- L'accompagnement des territoires au service de projets de développement durable ;
- La formation et conception d'outils pédagogiques et de communication ;
- L'animation de réseaux.

L'association née en 2006 est sous l'autorité du conseil d'administration représenté par les structures membres du CPIE Bassin de Thau, par les membres associés et par des membres individuels. Sous la présidence de M^{me} Annie FAVIER BARON, il participe activement au pilotage de l'association et assure la cohérence des actions proposées et leur lien avec le territoire. Le CPIE Bassin de Thau se comporte avant tout comme une plateforme de concertation.

En 2018, **34 100 personnes ont été touchées directement par les actions menées** par le CPIE Bassin de Thau.

Le CPIE Bassin de Thau dispose de 5 agréments, gages de la qualité de ses actions :

- Agrément Éducation Nationale ;
- Agrément Protection de l'Environnement ;
- Agrément Jeunesse et Éducation Populaire ;
- Agrément Service Civique ;
- Agrément Entreprise Solidaires.

Le CIRAD (Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) : Établissement public à caractère public et commercial. Il est placé sous la double tutelle du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du Ministère des Affaires étrangères. Les activités du CIRAD relèvent des sciences du vivant, des sciences sociales et des sciences de l'ingénieur appliquées à l'agriculture, à l'alimentation et aux territoires ruraux. Cette structure s'engage au plus près

²⁰ En savoir plus sur www.cpiebassindethau.fr

des Hommes et de la Terre sur des défis complexes et évolutifs : sécurité alimentaire, gestion des ressources naturelles, inégalités et lutte contre la pauvreté.

Le CIRAD a pour vocation le développement d'une agriculture durable dans différents domaines, dont l'aquaculture et l'agroalimentaire qui nous intéressent pour le présent projet. L'institut est également engagé dans l'étude et l'optimisation de l'alimentation humaine et animale. Le CIRAD est implanté depuis une vingtaine d'année à Montpellier et travaille auprès de partenaires scientifiques de la région. C'est le cas en particulier au niveau de la plateforme de technologie alimentaire sur le campus de La Valette et la plateforme de recherche IFREMER en aquaculture à Palavas-les-Flots. L'Unité Mixte de Recherche (UMR) ISEM a pour objectif de concevoir et de favoriser des processus de production piscicole capables de répondre aux défis alimentaires de demain, en quantité et en qualité, tout en étant plus respectueux de l'environnement et des sociétés humaines.

Le Lycée de la Mer Paul Bousquet : Établissement de formation pour les métiers de la mer, il est l'unique Lycée Maritime de Méditerranée continentale. L'établissement est financé par la région Occitanie et relève du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. Avec une équipe de plus de 60 personnels il accueille 250 à 300 élèves dont la moitié est interne, des apprentis et des stagiaires adultes.

En formation initiale le Lycée de la Mer « Paul Bousquet » prend en charge les élèves issus des classes de collège. Les formations débouchent sur des CAP, BEP, BAC pro dans les filières du commerce, de la mécanique navale, de la pêche et des cultures marines qui permettent d'exercer des fonctions d'appui ou d'encadrement à bord des navires. Par la voie de l'apprentissage l'établissement assure la formation de CAP de Matelot et de BTSA de production aquacole.

En formation continue, il répond aux besoins des secteurs maritimes pour l'insertion, la formation et la promotion dans les fonctions d'exécution, d'appui et d'encadrement. Les formations sont de niveau V à IV et intéressent les secteurs de la pêche, du commerce, de la plaisance professionnelle, du nautisme, de la plongée professionnelle, de la mécanique navale, de la valorisation et de la commercialisation des produits de la mer, de la sécurité maritime.

L'entreprise **Les Poissons du Soleil** basée à Balaruc-les-Bains, s'est spécialisée dans l'écloserie. Cette entreprise est spécialisée dans le secteur d'activité de l'aquaculture en mer. Les Poissons du Soleil est membre du groupe Aqualande, soucieuse d'un développement durable de l'aquaculture.

Le **COTECH** est l'instance opérationnelle du projet et ses membres se sont répartis les actions (voir 2-Gouvernance).

Méthodologie de travail

Après avoir formalisé leur engagement respectif via la signature d'un accord de consortium pluriannuel (hors lycée de la mer à, les membres du COTECH ont établi le plan d'actions détaillées fondé sur les grands objectifs validés en Comité de pilotage.



Figure 5 : Schéma explicatif de la méthodologie de travail autour du projet.

2.1.1.2. *Le comité de pilotage du projet*

La mise en place d'un comité de pilotage a été souhaitée dès le début du projet et le nombre de membres s'est peu à peu étoffé. La concertation est au cœur de la dynamique de ce projet. La rencontre des différentes structures autour de ce thème a permis de faire évoluer la réflexion.

L'objectif du Comité de pilotage est de permettre l'existence d'une instance de concertation et de dialogue entre les acteurs, de valider les objectifs opérationnels et conseiller l'équipe technique du projet.

Il est composé aujourd'hui de l'ensemble des acteurs du projet ainsi que les partenaires locaux et financiers : le CPIE BT, le CIRAD, le lycée de la Mer, L'entreprise LPDS (Les Poissons Du Soleil), la DRAAF (Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) Occitanie, la région Occitanie, l'ADEME, Sète Agglopôle Méditerranée Sète Agglopôle Méditerranée, le Cepralmar, la Criée d'Agde, la prud'homie de Thau et Ingrill, le SMBT, et le Cepralmar. Ont été associé ponctuellement la Criée d'Agde et la Croix rouge insertion, ainsi que la Chambre d'agriculture de l'Hérault

Méthodologie de travail

Organisation d'un COPIL par an, pour le suivi des actions et les prises de décision concernant les suites du projet et échanges réguliers par mail sur l'état d'avancement du projet.



Figure 6 : COPIL 2018 – Maison Régionale de la mer à Sète.

Un tableau récapitulatif des COPIL figure en Annexe 3.

2.1.2. **Gouvernance et méthodologie de travail**

Des conventions de partenariat et un accord de consortium ont été rédigés par le CPIE Bassin de THAU et régissent les relations entre les membres du COTECH ainsi que les obligations respectives de chacun des membres.

Le **réseau du CPIE Bassin de Thau** est le maître d'ouvrage, chargé de la coordination générale du projet (portage administratif, financier et représentation). Il assure le lien entre tous les partenaires et anime le Comité de Pilotage. Le CPIE Bassin de Thau est également responsable des missions d'étude de la filière pain, de sensibilisation, d'éducation et de formation ainsi que de la création des outils pédagogiques et de communication.

Les membres du réseau du CPIE Bassin de Thau sont impliqués dans le projet, aussi bien dans l'accompagnement technique (Prud'homie de Mèze et Cépralmar) que dans les programmes pédagogiques et l'animation (Kimiyo).

Le **CIRAD** intervient dans le cadre du projet en mettant à profit ses compétences via deux UMR* : l'UMR ISEM* pour l'expertise scientifique aquacole et l'UMR QUALISUD* pour l'expertise scientifique alimentaire.

Ainsi, le CIRAD est responsable des protocoles scientifiques relatifs aux élevages de poissons, à la

fabrication des aliments pour poissons et à l'évaluation de la qualité des produits (aliments et poissons). Il a en charge la coordination scientifique du projet, assure l'évaluation de la faisabilité technique et réglementaire, et accompagne les professionnels dans les phases de test et d'élevage des poissons.

Le Lycée de la Mer Paul Bousquet est un partenaire de longue date du CPIE Bassin de Thau. Il intervient au sein du projet tant sur la partie scientifique que pédagogique. Le lycée est impliqué dans la phase de pré-grossissement du test d'alimentation avec la farine de pain (mise à disposition de bacs et matériel) avec l'implication de l'équipe de techniciens. Au niveau pédagogique, les étudiants des différentes formations suivront le projet du début jusqu'à la fin, en participant aussi à sa valorisation et à la communication. Le restaurant collectif du Lycée est impliqué dans la collecte de pain auprès d'autres établissements et la sensibilisation pour une réduction des déchets alimentaires.

L'entreprise « **les poissons du soleil** » est intervenue comme accompagnatrice du projet, en mettant à disposition les bacs et matériel et la logistique nécessaire pour le maintien des poissons, ainsi qu'en prenant en charge les stagiaires pour le suivi de l'expérimentation de pré-grossissement au lycée de la Mer.

Le COTECH a organisé une feuille de route pour l'ensemble de ses acteurs, des réunions techniques de visu régulières (voir ci-dessous), et un échanges mail/téléphone quasi hebdomadaire.

Les étapes principales du projet figurent ci-dessous

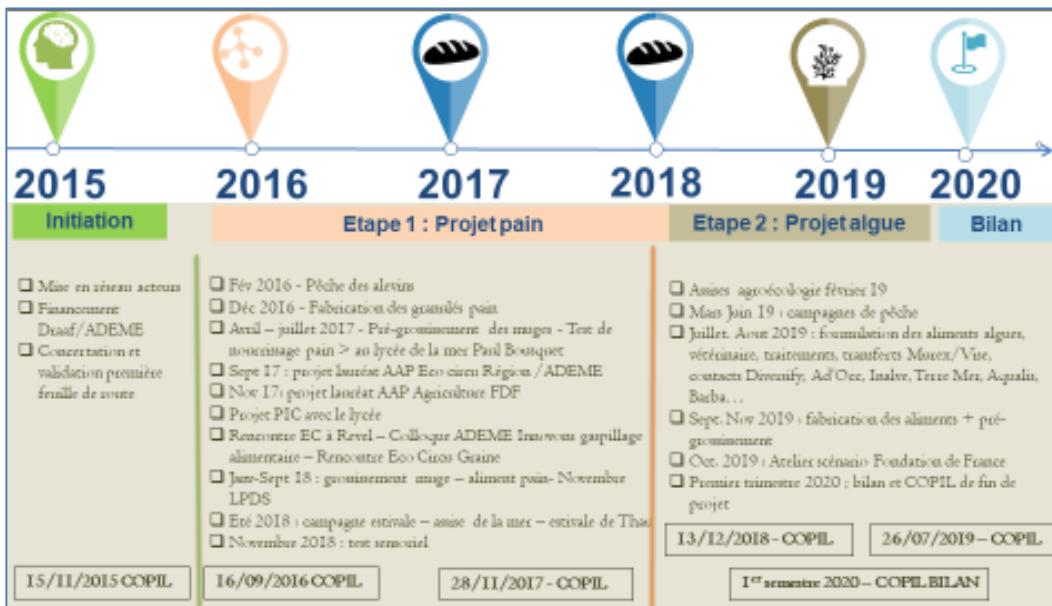


Figure 7 : Calendrier de projet.

Cette phase de structuration entre les acteurs impliqués a permis de créer des relations de confiance mutuelle et d'organiser au mieux le plan d'actions et la répartition des tâches pour mener à bien l'étude.

La participation au projet Tiers Veilleurs

Le projet soutenu par la Fondation de France a pu bénéficier de l'accompagnement du dispositif Tiers Veilleurs, mené par l'association Sciences Citoyennes. Cette appellation désignant une personne extérieure au projet missionnée pour aider un collectif de recherche à garantir le partage et la mise en œuvre collective du projet pour atteindre les objectifs définis en commun. Cette mission vise à favoriser la production de connaissances en lien avec des problématiques rencontrées par les acteurs non-recherches et nourries par l'ensemble des savoirs des personnes impliquées, dans une démarche de recherche participative, à toutes les étapes du projet.

L'association Sciences Citoyennes a accompagné le projet « Pisciculture durable & Économie circulaire » à partir de 2018 et a proposé l'organisation d'un Atelier-Scénario visant à rassembler durant deux demi-journées, l'ensemble des acteurs (chercheurs, associations, professionnels, pouvoirs publics) intéressés par le développement du projet en cours et sa transformation future. Ces travaux,

réalisés grâce à des méthodologies participatives, auront pour but de faire converger les acteurs vers une vision partagée pour la poursuite des actions.

13 acteurs sont impliqués dans la dynamique et **7** journées de COPIL en face à face ont permis de co-construire le projet.

2.2. Analyse de la filière pain

2.2.1. Contexte scientifique

D'après l'état des lieux des masses de gaspillage alimentaire réalisé en 2016 par l'ADEME²¹, la restauration collective dans les lycées et la restauration commerciale font partie des plus grosses sources de gaspillage avec 130 gr/convive/repas. Ce chiffre comprend l'ensemble des denrées alimentaires, pains, légumes, yaourts. La bibliographie ne renseigne pas spécifiquement sur le volume estimé de pain gaspillé dans les restaurants collectifs.

Initialement le COTECH avait prévu de récupérer un volume de pain auprès des restaurants scolaires des lycées de Sète. Impliqués dans ce projet, les responsables du restaurant du lycée de la mer de Sète souhaitaient se rapprocher des autres restaurants collectifs de la ville, pour leur présenter le projet et récupérer le pain gaspillé.

Cependant, au lycée de la mer, le restaurant collectif a mis en place un système de tri des déchets, où les élèves séparent le pain des autres restes alimentaires. Ce système permet d'évaluer toutes les trois semaines le volume de pain jeté, de sensibiliser les élèves et de limiter fortement le gaspillage alimentaire. Il est évalué à 20 kg pour trois semaines, et est récupéré par des salariés du lycée essentiellement pour la nourriture de volailles.

L'idée était de pouvoir utiliser cette source de gaspillage alimentaire dans le projet, néanmoins nous nous sommes rapidement confrontés à la réglementation en vigueur concernant l'alimentation animale à partir de déchets alimentaires, qui interdit l'utilisation des déchets de cuisine ou de table. Il n'est donc pas possible d'utiliser le volume de pain en retour de plateau.

Ce point-là a été travaillé avec la DRAAF présente au COPIL.

L'utilisation du pain non consommé a fait l'objet d'une demande d'autorisation auprès de la DDPP³⁴ (Direction Départementale de Protection des Populations de l'Hérault), une fiche détaillant le protocole de collecte et de stockage a été transmise pour avis à la DDPP.

Les conclusions furent les suivantes : le pain en retour de plateau est un sous-produit alimentaire de catégorie 3, considéré comme déchet de cuisine et de table (DCT). Le règlement européen en lien avec les règles sanitaires applicables aux sous-produits (CE 1069/2009) précise que les sous-produits alimentaires sont transformables et utilisables pour l'alimentation d'élevage sauf les DCT (Article 14 et 31).

Ainsi il n'est pas possible dans le cadre de ce projet d'utiliser le volume de pain en retour de plateau de la cantine du lycée de la mer. Seule la valorisation du volume de pain non distribué est possible. Le volume de pain utilisable pour la fabrication des granulés a donc été revu à la baisse.

Nous avons donc souhaité travailler avec les acteurs du secteur boulanger du territoire et à ce titre avons mené un diagnostic de territoire.

2.2.2. Panorama du secteur boulanger

²¹ Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire–Synthèse- ADEME, mai 2016 – 16 pages ; disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque.

Le pain fait partie intégrante de l'alimentation des français, et est consommé quotidiennement par 98 % des français. Selon la Fédération des Entreprises de Boulangerie-Pâtisserie Françaises la consommation moyenne de pain était de 325 gr/jour en 1950 ; elle est estimée à 120 gr/jour pour l'année 2015. La consommation de pain s'est totalement modifiée depuis la sortie de la Seconde Guerre Mondiale, ce n'est plus un produit de première nécessité mais un produit de plaisir.

Malgré ce constat, le territoire français compte 32 000 entreprises sous la dénomination de boulangerie-pâtisserie, soit 1 boulangerie pour 18 000 habitants ; ce secteur d'activité se classe au premier rang des entreprises du commerce de détail alimentaire. Les français peuvent aujourd'hui se fournir auprès de boulangeries artisanales ou terminaux de cuissons. Ces derniers reçoivent des pains cuits, précuits ou des pâtes crues, fabriquées par les industries boulangères. En France on dénombre 7 000 terminaux de cuisson²².

Si la boulangerie artisanale représente encore une part majoritaire du secteur (58,3 %), elle perd progressivement des parts de marché au profit de la boulangerie industrielle qui gagne du terrain depuis 2007 et qui représente en 2013 plus de 32 % des volumes, une hausse de 5 % par rapport à 2012. Les Grandes et Moyennes Surfaces (GMS) possèdent aussi des ateliers boulangers de fabrication de pain. Ces ateliers ont connu un léger recul en 2013 et représentent 9 % du volume total de la panification. Alors que l'ensemble des acteurs de la filière multiplie les innovations, ce sont les produits les plus « classiques » qui sont aujourd'hui encore les plus consommés. Ainsi, la baguette est le type de pain le plus consommé en France, et 72 % des personnes se fournissent chez des artisans boulangers pour l'achat de leur baguette (Fédération des Entrepreneurs de la Boulangerie).

Chaque année le nombre de baguettes produites est estimé à plus de 6 milliards, pour une fréquentation quotidienne d'environ 12 millions de consommateurs dans les établissements boulangers. La fréquentation de ces derniers est légèrement en hausse durant les week-ends.

Encadré n°2 : *Les chiffres clés du secteur boulanger français.*

33 900 Boulangeries-Pâtisseries-Artisan **1/1 764** habitants.

2,7 Millions de tonnes de farine utilisées en Boulangeries-Pâtisseries

Répartition de la farine panifiée : - artisans **72%** - industriels **20%** - laboratoires GMS **8%**

8,2 milliards de CA en Boulangeries-Artisanales

1,1 milliards de CA en Pâtisseries-Artisanales

5,6 milliards de CA des Glaceries-Artisanales

1,5 milliards de CA des meuniers

450 millions de CA des fabricants de matériels français.

54 millions de CA des fabricants d'avant produits.

2,1 milliards de CA boulangerie Pâtisserie industrielle.

1,5 milliards de CA Pâtisserie industrielle.

Le Marché global de la Boulangerie Pâtisserie en France dépasse les **15,50 milliards** d'Euros.

Panorama de la filière pain ; Boulangerie.net. (réalisé en 2017)

2.2.3. Diagnostic de la filière pain « recyclable »

Cette étude avait deux objectifs :

- Repérer et quantifier les volumes de gisements de pain invendus sur le territoire de Thau, et élargir au niveau national ;
- Répertorier les filières existantes ou en réflexion pour la valorisation de ce volume de pain, système de collecte et de transformation du pain.

Afin d'aller à la rencontre des structures boulangères présentes sur le territoire de Thau, nous avons souhaité, dans un premier temps, réaliser un recensement des établissements. Nous nous sommes rapprochés du groupement professionnel départemental de l'Hérault de la confédération des boulangeries et de la CCI de Sète. Ces deux structures nous ont indiqué que le document de recensement des structures boulangères était un document confidentiel. C'est pourquoi nous avons donc opté pour une enquête de terrain en sélectionnant un échantillon d'acteurs sur le territoire représentatif du milieu

²² Ces informations proviennent du site internet de la Fédération des Entrepreneurs de la Boulangerie : <http://www.sitefeb.com>

à savoir, une dizaine de structures boulangères sur ce territoire, boulangeries artisanales, points chauds et boulangeries de Grandes et Moyennes Surfaces (GMS).
L'enquête était composée de 12 questions.

Nous avons rencontré 10 structures boulangères sur le territoire de Thau, entre Sète et Mèze, 4 boulangeries artisanales, 4 structures de la grande distribution et 2 points chauds. Concernant les grandes surfaces, 2 d'entre elles fabriquent le pain sur place, 2 autres fonctionnent comme des terminaux de cuisson. **Nous n'avons pu obtenir les chiffres précis** des quantités d'invendus de la part de ces entreprises, ce qui est compréhensible compte tenu des enjeux économiques que cela recouvre.

Néanmoins, ces rencontres nous ont permis de comprendre l'organisation actuelle de nombreuses structures pour évaluer les quantités produites au plus près de la demande quotidienne. De plus une deuxième transformation est utilisée pour valoriser en interne le pain de la veille et diminuer les quantités d'invendus.

Evaluation des invendus

Les plus **gros producteurs** sont les grandes surfaces avec une moyenne de 666 kg par jour, les points chauds eux produisent 188 kg par jour en moyenne, les boulangeries artisanales n'ont pas pu nous fournir de chiffre. **En moyenne** les grandes surfaces et points chauds estiment leurs invendus à une **10^{aine} de kg par jour**.

Les grandes surfaces sont soumises à la loi de 2016 relative au gaspillage alimentaire ce qui explique le développement de la valorisation des invendus.

Loi relative au gaspillage alimentaire, les engagements de la grande distribution. LOI n° 2016-138 du 11 février 2016 relative à la lutte contre le gaspillage alimentaire

Article I :

« Art. L. 541-15-4.-La lutte contre le gaspillage alimentaire implique de responsabiliser et de mobiliser les producteurs, les transformateurs et les distributeurs de denrées alimentaires, les consommateurs et les associations. Les actions de lutte contre le gaspillage alimentaire sont mises en œuvre dans l'ordre de priorité suivant :

« 1° La prévention du gaspillage alimentaire ;
« 2° L'utilisation des invendus propres à la consommation humaine, par le don ou la transformation ;
« 3° La valorisation destinée à l'alimentation animale ;
« 4° L'utilisation à des fins de compost pour l'agriculture ou la valorisation énergétique, notamment par méthanisation.

« La lutte contre le gaspillage alimentaire comprend la sensibilisation et la formation de tous les acteurs, la mobilisation des acteurs au niveau local et une communication régulière auprès des consommateurs, en particulier dans le cadre des programmes locaux de prévention des déchets.

« Art. L. 541-15-5.-I.-Les distributeurs du secteur alimentaire assurent la commercialisation de leurs denrées alimentaires ou leur valorisation conformément à la hiérarchie établie à l'article L. 541-15-4. Sans préjudice des règles relatives à la sécurité sanitaire des aliments, ils ne peuvent délibérément rendre leurs invendus alimentaires encore consommables improches à la consommation ou à toute autre forme de valorisation prévue au même article L. 541-15-4.

« II.-Aucune stipulation contractuelle ne peut faire obstacle au don de denrées alimentaires vendues sous marque de distributeur, au sens de l'article L. 112-6 du code de la consommation, par un opérateur du secteur alimentaire à une association caritative habilitée en application de l'article L. 230-6 du code rural et de la pêche maritime, prévu par une convention conclue par eux.

« III.-Le don de denrées alimentaires par un commerce de détail alimentaire dont la surface de vente est supérieure au seuil mentionné au premier alinéa de l'article 3 de la loi n° 72-657 du 13 juillet 1972 instituant des mesures en faveur de certaines catégories de commerçants et artisans âgés à une association caritative habilitée en application de l'article L. 230-6 du code rural et de la pêche maritime fait l'objet d'une convention qui en précise les modalités.

« IV.-Le présent article n'est pas applicable aux denrées improches à la consommation.

« V.-Un décret fixe les modalités d'application du présent article.

LOI n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous dite loi EGALIM

Article 24

Après l'article L. 230-5 du code rural et de la pêche maritime, sont insérés des articles L. 230-5-1 à L. 230-5-7 ainsi rédigés

« Art. L. 230-5-6.-A titre expérimental, au plus tard un an après la promulgation de la loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous, pour une durée de deux ans, les gestionnaires, publics ou privés, des services de restauration collective scolaire sont tenus de proposer, au moins une fois par semaine, un menu végétarien. Ce menu peut être composé de protéines animales ou végétales.

« L'expérimentation fait l'objet d'une évaluation, notamment de son impact sur le gaspillage alimentaire, sur les taux de fréquentation et sur le coût des repas, dont les résultats sont transmis au Parlement au plus tard six mois avant son terme.

Article 88

II. - Dans les conditions prévues à l'article 38 de la Constitution, le Gouvernement est habilité à prendre par ordonnances, dans un délai de douze mois à compter de la publication de la présente loi, toute mesure relevant du domaine de la loi afin :

1° De modifier la portée de l'obligation fixée à l'article L. 541-15-3 du code de l'environnement pour, d'une part, l'étendre à l'ensemble des opérateurs de la restauration collective et, d'autre part, leur imposer la réalisation d'un diagnostic préalable à la démarche de lutte contre le gaspillage alimentaire incluant l'approvisionnement durable ;

2° De prévoir les conditions dans lesquelles les obligations fixées aux articles L. 541-15-5 et L. 541-15-6 du même code sont étendues à certains opérateurs de l'industrie agroalimentaire et de la restauration collective, en tenant compte notamment des expérimentations menées par les associations volontaires ;

3° D'imposer à certains opérateurs de l'industrie agroalimentaire et de la restauration collective de rendre publics leurs engagements en faveur de la lutte contre le gaspillage alimentaire, notamment les procédures de contrôle interne qu'ils mettent en œuvre en la matière

2.2.4. Filière de valorisation

Les entretiens réalisés avec ces structures nous ont permis de connaître des filières de valorisation en place et/ou en cours de construction. Ces nouvelles filières mettent en réseaux les acteurs pour faciliter les échanges et la valorisation des produits invendus. Ainsi il existe déjà sur le territoire un circuit de revalorisation utilisé par de nombreuses entreprises et que nous avons donc contacté.

Encadré: L'association « *Pain de l'espoir* »

L'association « le Pain de l'espoir » a pour objectif de récolter du pain auprès de différentes structures autour de Montpellier pour le valoriser auprès d'élevages agricoles. Les fonds récoltés par cette activité sont destinés à financer des projets de solidarité, en réponse à des situations d'urgence.

Retour sur le fonctionnement de l'association, durant l'année 2015 :

Collecte : chaque semaine deux tournées étaient réalisées auprès de différentes structures pour collecter leur pain sec et deux conteneurs étaient collectés dans deux villages. Ainsi les collectes couvraient aussi bien les professionnels de la filière boulangère que les particuliers. Ce volume de pain était récupéré et transporté dans des sacs en papier. Les structures participant à ces dons laissaient leur surplus de pain dans des sacs en papier, que l'association passait récupérer. Ce système de dépôt permet une facilité d'organisation à la fois pour les professionnels et les personnes responsables de la collecte.

Tri et séchage : Le pain était alors trié, en fonction de ses caractéristiques (pain complet, pain blanc...). Ce tri garantit la qualité du produit final, en retirant les potentiels pains dégradés. Les pains triés sont alors découpés en tranches, grâce à une trancheuse, et déposés sur des sommiers métalliques pour les faire sécher.

Revente : Après une nouvelle phase de tri, pour conserver uniquement les pains secs de bonne qualité, sans moisissure ou dégradation, le pain est mis dans des sacs en jute et vendu aux élevages agricoles le souhaitant. Les sacs de pain sec sont d'environ 15 kg, pour un prix moyen de 6 €.

Après prélèvement des frais de fonctionnement pour l'association, les bénéfices sont reversés à des projets de solidarité internationale.

Sur l'année 2015, l'association a vendu **60 T de pain sec**. En moyenne **30 structures** étaient collectées, dont 20 établissements publics et privés de restaurants collectifs et 7 boulangeries. La majorité de ces structures ont été démarchées par l'association, il est intéressant pour elles de déclarer ce volume en « don à association » qui est ensuite déduit des impôts. Aujourd'hui encore il y a un volume important de pain gaspillé, notamment chez les industriels de la boulangerie.

Entretien avec Marie Jo Duchenes, Présidente de l'association « Le Pain de l'espoir » - 2017

Nous avons donc mis en place un partenariat avec l'association « Le Pain de l'espoir » dont le circuit de revalorisation est d'ores et déjà existant et ce afin de mutualiser nos actions.

3. EXPERIMENTATION SCIENTIFIQUE AVEC L'ALIMENT PAIN

Après avoir organisé la concertation des acteurs et affiné la filière pain, nous avons mis en œuvre l'expérimentation scientifique.

Tableau 1 : Phasage et objectifs de l'expérimentation scientifique avec l'aliment pain.

	1ere expérience de pré grossissement	2eme expérience de pré grossissement	Expérience en grossissement
Durée	56 jours	23 jours	6 mois (grands muges) et 9 mois (petits muges)
Calendrier	Avril à juillet 2017	Avril à juillet 2017	<u>Grands muges :</u> 22/12/17 – 30/06/18 <u>Petits muges :</u> 22/12/17 – 01/10/18
Objectif	Tester 4 types de granulés présentant un niveau différent de substitution de la farine de maïs par la farine de pain	Tester 4 types de granulés présentant un niveau différent de substitution de la farine de maïs par la farine de pain en augmentant les rations plus finement.	Tester un seul type de granulé expérimental avec près de 30% de farine de pain rassis

Cette partie présente les matériels et méthodes ainsi que les résultats de l'expérimentation pain.

L'ensemble des résultats scientifique détaillé est consultable dans ce rapport :

Cacot P., 2019. Recyclage alimentaire en aquaculture : Test du remplacement de la farine de maïs par de la farine de pain dans un aliment pour muge (*Liza ramada*). Rapport d'activité. CIRAD UMR ISEM. 48 p.

3.1. Phase de pré grossissement

3.1.1. Matériel et méthode

3.1.1.1. Fabrication des aliments

La formulation des granulés a été réalisée afin que leur composition finale soit de 32 % de protéines totales et 8 % de lipides, farine de poisson 5%, huile de poisson 2% et prémix minéraux et vitamines 3%. Les protéines et les lipides étaient principalement apportés par le tourteau de soja et l'huile de soja, respectivement. Quatre types de granulés extrudés ont donc été préparés, chacun présentant un niveau de substitution différent de la farine de maïs par la farine de pain.

Tableau 2 : Tableau de composition des granulés.

Ingrédients (% Matière Sèche)	Type d'aliment			
	0% pain	33% pain	67% pain	100% pain
Tourteau de soja	50,7	50,9	51,0	51,2
Farine de maïs	36,3	24,0	11,9	0,0
Farine de pain	0,0	11,8	23,4	34,8
Farine de pain (% pain+maïs)	0,0	32,9	66,2	100,0
Farine de sardine	5,0	5,0	5,0	5,0
Huile de soja	2,9	3,3	3,7	4,0
Huile de sardine	2,0	2,0	2,0	2,0
Prémix minéraux et vitamines	3,0	3,0	3,0	3,0
Composition proximale (% MS)				
Protéines	31,5	29,9	32,8	32,9
Lipides	5,8	6,0	7,1	7,3
Amidon	30,6	29,8	26,2	30,8
Cendres	7,5	7,6	7,7	8,0
Energie (Kcal/g) *	~4,5	~4,5	~4,5	~4,5
% Produit brut				
Humidité	3,7	2,1	8,9	3,4
Matière sèche	96,3	97,9	91,1	96,6

L'ensemble des 4 compositions testées a été fabriqué suivant un protocole scientifique élaboré par l'équipe du CIRAD, dans la halle technologique de leurs locaux. Après le réglage de l'extrudeur, matériel acquis pour le projet, les premiers granulés ont été fabriqués pour optimiser la température, le temps de passage et la quantité d'eau dans la machine.

Les matières premières ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux et mélangées ensuite dans une bétonnière. Les huiles et l'eau ont ensuite été rajoutées. Pour chacune des compositions l'eau a été rajoutée à 35 % des ingrédients secs. Le mélange est ensuite chauffé à 120°C lors de l'extrusion. Les granulés obtenus sont passés au séchoir ventilé pendant une nuit à 40°C (Annexe 4)

Un granulé extrudé produit par l'entreprise Le Gouessant® a aussi été utilisé. Il s'agissait du granulé flottant V Tilapia, avec 32% de protéines, 9% de lipides et une granulométrie 3 mm. Chaque type d'aliment a été distribué aux poissons dans quatre et trois bacs dans la 1^{ère} et la 2^{ème} expérience, respectivement.

3.1.1.2. Pêche des alevins et des muges

Les alevins de muges ont été pêchés dans le milieu naturel, avec l'intervention de la prud'homie de Mèze qui a participé à coordonner cette étape, qui a permis de récolter 1 000 alevins de muges. Sur l'ensemble des individus pêchés, 800 sont de l'espèce *Liza Ramada*, les 200 individus de plus représentaient les trois autres espèces que l'on peut retrouver dans l'étang (*Chelon labrosus*, *Mugil Cephalus*, *Liza auratus*)

Il est important de préciser qu'il n'existe pas de taille minimale de capture pour les espèces de muges présentes en Méditerranée française²³.

3.1.1.3. Circuit de l'expérimentation

Les muges ont été stockés dans 16 bacs de 60 L d'eau (70 L/h volume total), des poubelles de couleur verte (matériau de qualité alimentaire, Gilac™). Ces bacs étaient placés façon « bain marie » avec huit bacs de 60 L par grand bac de 4 m² et 2 m³ chacun, eux-mêmes connectés au circuit fermé existant.

Chaque bac de 60 L était équipé avec un débitmètre (20-200 L), une évacuation d'eau par le bas au centre du bac et un couvercle. Le débit circulant par bac poissons était de 150 L/h, soit environ 250% de renouvellement par heure. Chaque bac était aéré en permanence par un compresseur d'air.

Durant la 2^{ème} expérimentation, de l'oxygène gazeux a été apporté lors du 2^{ème} repas de la journée et jusqu'à 17h pour assurer une oxygénation suffisante (4-5 mg/L).

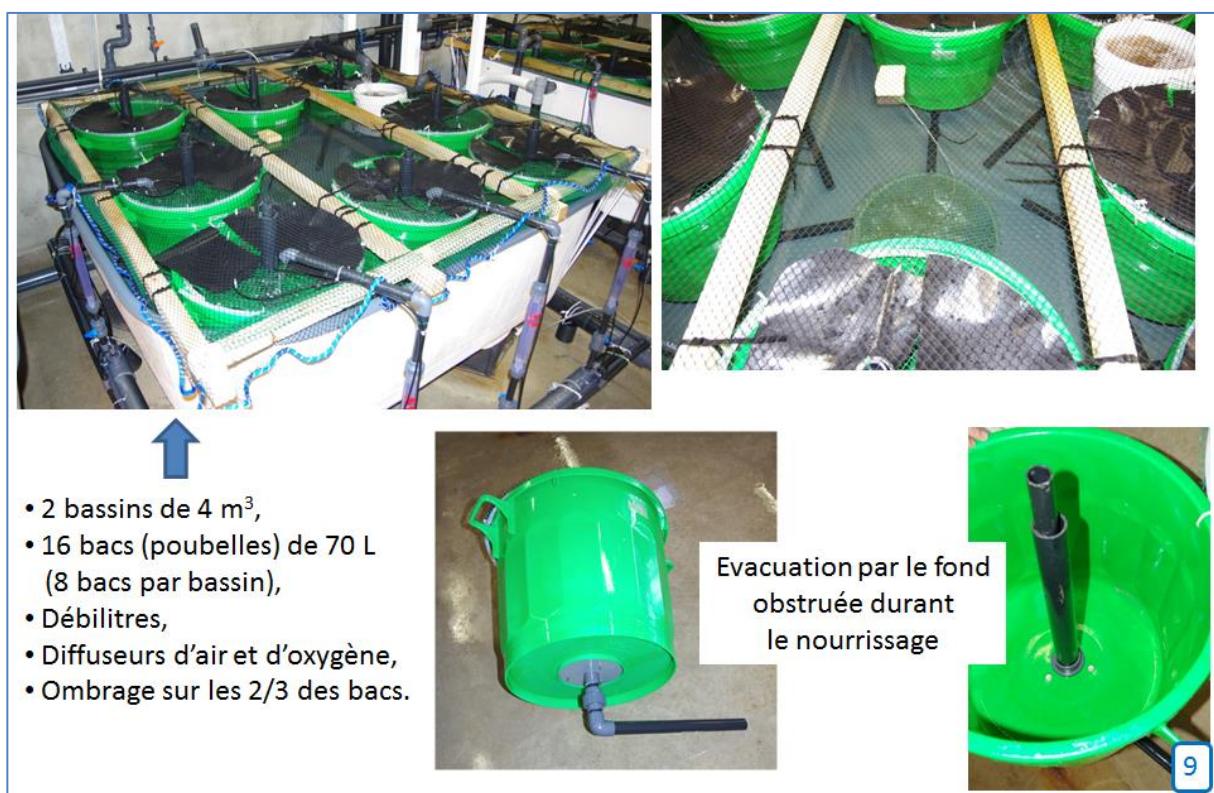


Figure 8 : Détails des bacs d'élevage pour les essais de prégrossissement.

Le circuit fermé a été mis en place dans la salle de travaux pratiques du lycée de la Mer, il comprend :

1. Un bac tampon ;
2. Un filtre à sable ;
3. Un filtre biologique bactérien (cuve remplir de biogrog - média de filtration classique) ;
4. Un bac de culture de macro-algue ; (*Ulva lactuca* et/ou *U. rigida*)

Les deux filtres étaient montés en série et l'ensemble fonctionnait avec une seule pompe, à la fois pour la filtration et la recirculation d'eau. Le filtre à sable était lavé deux fois par jour et le filtre biologique une fois par semaine. Un château d'eau (200 L) a été ajouté spécifiquement pour les bacs expérimentaux, afin de garantir une pression stable et donc un débit constant dans les bacs.

²³ <http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/tailles-minimales-de-capture-et-de-debarquement-r149.html>

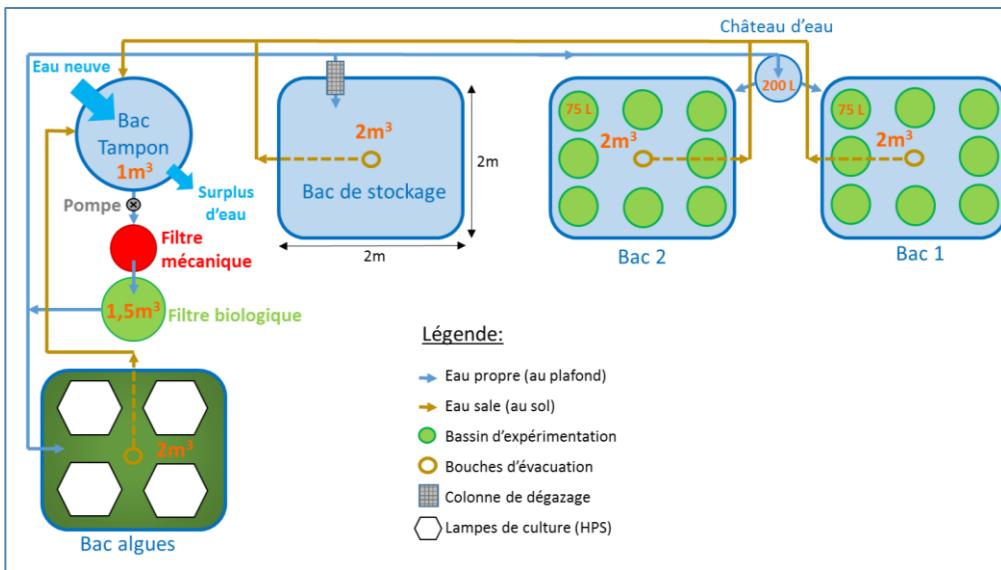


Figure 9 : Schéma du circuit fermé pour l'expérimentation au lycée de la Mer. Source : présentation de Huanui J.R.

Dans les deux grands bacs, 16 petits bacs de 70 L sont disposés façon « bain marie » (Figure 9). Chacun des 16 bacs est équipé d'une arrivée d'eau contrôlée par un débilitre, une évacuation d'eau par le bas au centre du bac et un couvercle.

Un château d'eau (200 L) a été ajouté spécifiquement pour les bacs expérimentaux, afin de garantir une pression constante et donc un débit constant dans les bacs, contrôlé par les débilitres.

Initialement la biofiltration de l'eau a été assurée uniquement par le bio-filtre bactérien.

Au cours de l'expérimentation une culture de macro-algues (*Ulva lactuca* et/ou *U. rigida*) a été mise en place dans un grand bac de 4 m² et 2,5 m³ connecté au circuit fermé (4. Sur le schéma du circuit fermé ci-dessus). **En effet, nous avions déjà à cette époque l'idée de poursuivre le projet avec un aliment algue, et nous avons donc dès cette étape intégré la culture de macro algue qui viendront par la suite dans la composition de l'aliment numéro 2 qui sera testé.**

L'eau traitée par la culture d'algues est ensuite acheminée puis vers les bacs 1 et 2.

3.1.1.4. Biofiltration algale

En plus de pouvoir être utilisée pour la suite du projet, nous avons pu constater l'intérêt des algues introduites dans ce circuit en terme de biofiltration (*résultat non approfondi car non concerné par l'étude*).

Durant les cinq premières semaines, la biofiltration de l'eau a été assurée uniquement par le biofiltre bactérien. Ensuite, une culture de macroalgues (*Ulva lactuca* et/ou *U. rigida*) a été ajoutée au circuit comme biofiltre complémentaire (Figure 9 : Schéma du circuit fermé pour l'expérimentation au lycée de la Mer. Source : présentation de Huanui J.R.). L'objectif était de « bioremédier » en direct les rejets par l'absorption de l'azote et du phosphore dissous, et par la conversion du CO₂ en O₂.

La culture d'algues était placée dans un grand bac de 4 m² et 2 m³ ("bac algues" sur le schéma ci-dessus) connecté au circuit fermé comme les deux grands bacs poissons expérimentaux (plus un 3ème bac poissons dit "bac de stockage"). Dix kilos d'algues ont été placés dans le bac. Elles ont été récoltées dans l'étang de Thau à Balaruc-les-Bains, près de l'écloserie de LPDS. Elles ont d'abord été traitées par balnéation dans une solution d'anesthésiant, de l'eugénol (20 ml/100 L) durant 20-30 mn, puis rincées deux fois à l'eau de mer, afin d'éliminer les petits crustacés herbivores de type amphipodes. Ces algues étaient relativement abîmées ; elles étaient « mitées » à cause du broutage par ces petits crustacés (et/ou des gastéropodes). Après rinçage, les algues ont été essorées par centrifugation durant un cycle d'essorage (~ 15 mn) en machine à laver à 1200 tours par mn. Elles ont été ensuite pesées.

La culture d'algues était éclairée en permanence par quatre lampes HPS 400 watts (capacité 600 w). Les algues étaient brassées trois à quatre fois dans la journée avec une rame, plus un brassage automatique par une pompe immergée (50 w) durant 5 mn toutes les heures. Ce brassage permettait notamment de faire redescendre les algues qui, avec les bulles d'oxygène accumulées sous les thalles, ont tendance à flotter en surface. De même, le brassage permet de réduire le développement d'un film

qui se forme en surface. Ce film peut être aussi enlevé régulièrement avec une épuisette à maille très fine.

Durant les trois semaines de culture, nous avons progressivement réduit l'apport permanent d'eau neuve dans le circuit, de 70%/heure initialement (anormalement élevé) jusqu'à le fermer complètement, ne laissant plus que l'apport d'eau neuve lié à la maintenance du circuit (chasses et lavage du filtre à sable et le biofiltre). Cet apport d'eau neuve quotidien représentait alors environ moins de 20% du volume total du circuit.

La totalité des algues était récoltée une fois par semaine, essorée en machine à laver et pesée afin d'évaluer la biomasse. Un échantillon d'algues a été prélevé en début de culture puis après trois semaines, lorsque le gain de biomasse a permis la prise d'échantillon. Ces échantillons ont été analysés par la méthode SPIR²⁴ pour le contenu en matière sèche, azote et minéraux totaux.

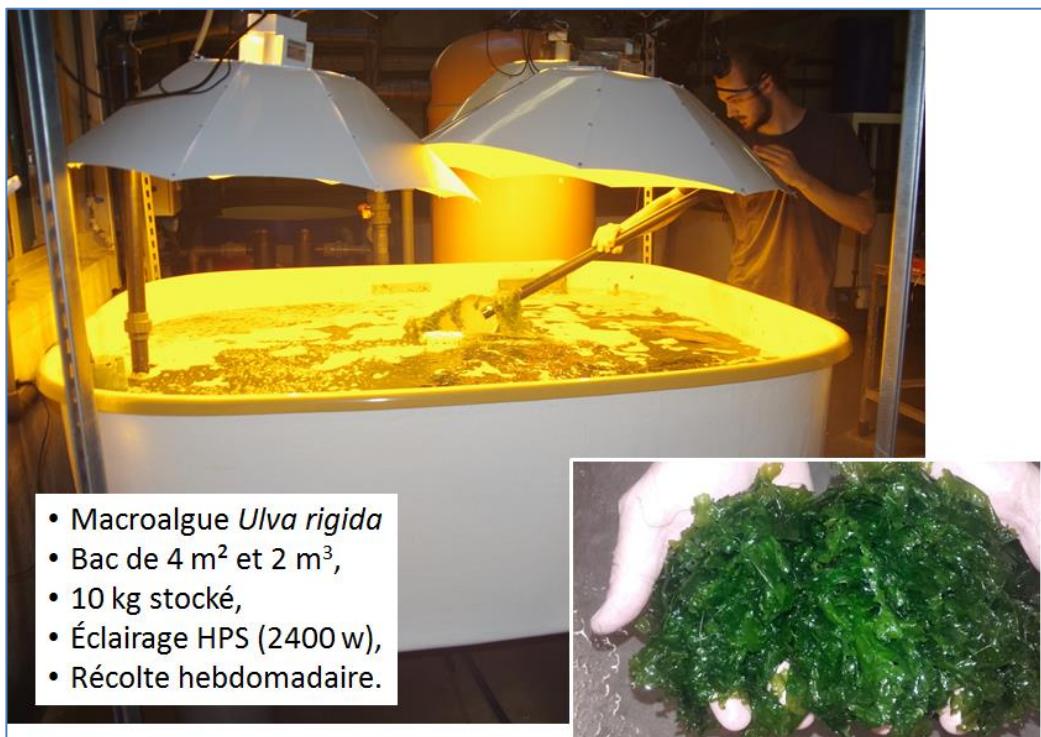


Figure 10 : La culture de la macroalgue *Ulva rigida*, utilisée en complément du biofiltre bactérien dans le circuit fermé.

3.1.1.5. Nourrissage

L'allotement

Une biométrie a été réalisée en amont de l'expérimentation ; chaque poisson a été pesé et mesuré afin de répartir de façon homogène les individus dans les 16 bacs. 36 poissons de l'espèce *Liza Ramada* ont été placés dans chaque bac, pour un poids moyen de 36,45 g.

Distribution des aliments

Les poissons ont été nourris deux fois par jour, le matin et l'après-midi. Lors de chaque session de nourrissage, l'aliment a été distribué en 2 à 4 fois, espacé de 15 à 30 minutes, pour une durée totale d'alimentation de 1 heure. Les poissons étaient nourris à satiété, le nombre de distributions dépendait de la consommation effective observée.

²⁴ SPIR : Spectrométrie Proche Infra-Rouge. Cette méthode a été employée par les collègues de l'UMR SELMET au CIRAD.

En considérant un taux de rationnement moyen constant de 3 % par jour, la quantité totale d'aliment distribuée était de 360 et 720 g/jour en début et fin d'expérimentation, respectivement. Soit, par bac, 13 et 45 g/jour.

Les rations étaient divisées en 2 à 4 doses, chacune d'elles a été pesée avant la distribution. Les quantités d'aliments non distribuées devaient également être pesées en aval, pour les déduire de la ration, et connaître la quantité distribuée.

Le suivi des poissons, au jour le jour, était essentiel pour cette expérimentation, le comportement de cette espèce est peu connu et peu renseigné dans la bibliographie. **Ainsi les poissons ont été observés au minimum 2 fois par jour, en plus des périodes de nourrissage.**

Lors de la 1ère expérimentation, la quantité d'aliment a été augmentée en même temps pour tous les bacs à deux reprises seulement. Nous avons attendu à chaque fois que tous les bacs consomment l'intégralité des huit distributions quotidiennes. Cette augmentation a été insuffisante. Nous en avons tenu compte lors de la 2ème expérimentation ; lorsque la quantité distribuée était consommée, matin et/ou après-midi, elle était augmentée de 5% le lendemain et ce indépendamment pour chaque bac ; la quantité distribuée est ainsi passée d'environ 40 g à 60 g en 2 semaines.



Figure 11 : Photographie de la maintenance du circuit.

3.1.1.6. Mesure de la qualité de l'eau et maintenance du circuit

Des relevés de température, oxygène et pH ont été faits deux fois par jour. Température et oxygène étaient mesurés avec un oxymètre Oxyguard™ dans chaque bac. Le pH était mesuré avec des bandelettes ou un kit à la sortie du château d'eau. Les sels nutritifs dissous étaient mesurés une fois par jour à la sortie de château d'eau ; les prélèvements d'eau étaient congelés puis, une fois par semaine, décongelés, filtrés puis mesurés avec les kits et le spectromètre HACH (modèle DR1900). Cette phase d'expérimentation scientifique a été coordonnée par le CIRAD avec le soutien précieux du lycée de la mer. Victor Baizeau et Huanui Jossler-Ravatua ont effectué leur stage sur ce dossier et ont contribué à la qualité du travail mené.

3.1.2. Résultats phase de pré-grossissement

Les analyses physico-chimiques sont correctes et homogènes pour les 4 traitements.

Tableau 3 : Résultats de analyses physico-chimiques pour les bassins des 4 traitements
(tableau issu du Rapport pain)

Valeurs moyennes ± erreurs standards de la moyenne

	Type d'aliment			
	0 %	33 %	67 %	100 %
Température (°C)	17,9 ± 0,2	17,9 ± 0,2	17,9 ± 0,2	18,0 ± 0,2
Oxygène (mg/L)	6,07 ± 0,03	6,03 ± 0,03	6,12 ± 0,03	6,05 ± 0,03
Oxygène (% saturation)	^{a,b} 81,0 ± 0,3	^b 80,4 ± 0,3	^a 81,6 ± 0,3	^b 80,6 ± 0,3

Différences significatives entre les différents types d'aliments : a, b ($P < 0,05$). Test de Duncan après Anova avec le réplique en facteur aléatoire.



Figure 13 : Photographies de la biométrie des poissons (poids et taille).

Ce premier essai s'est bien déroulé, de la fabrication des granulés extrudés à l'élevage expérimental des poissons. Les poissons ont grandi en **poids** et en **longueur** durant l'expérimentation pour les quatre types d'aliment

Annexe 4. Photographies du process de fabrication de l'aliment à base de pain.



Annexe 5) Ils ont également pris de l'embonpoint comme indiqué par l'augmentation du **coefficient de condition K**. Tous les lots de poissons sont devenus plus homogènes comme indiqué par la baisse du **coefficient de variation pour le poids vif** ; cela signifie probablement que les poissons les plus petits tendent à se rapprocher des plus gros.

Les données biométriques et la croissance des poissons sont similaires pour les quatre types d'aliment. Il en est de même pour le taux de rationnement moyen et l'indice de conversion (IC). En revanche, notons que **l'IC est très élevé, compris en moyenne entre 4,5 et 5,3**.

Avec un bon aliment, en phase de grossissement, l'IC est généralement compris entre 1,3 et 1,7 quelle que soit l'espèce de poisson. L'IC peut être considéré comme acceptable jusqu'à 2,5. Or nos résultats sont bien supérieurs. C'est la raison qui nous a poussés à réaliser la 2^{ème} expérience en nourrissant cette fois-ci à satiété et de manière indépendante chaque bac.

Suite à ces premiers résultats une **seconde phase de nourrissage de 4 semaines a été effectuée**,

3.1.2.3. Performance zootechnique – 2eme expérience de pré grossissement (au lycée de la mer)

La 2^{ème} expérience a été relativement courte (23 jours) en raison de la nécessité de libérer les bacs pour la fin de l'année scolaire au Lycée. Nous avons rencontré des problèmes de mortalité dans trois bacs : 100% mortalité avec l'aliment 67% pain, 86% mortalité avec l'aliment V Tilapia et 16% mortalité avec l'aliment 0% pain. Ces mortalités sont accidentelles ; elles sont survenues en deux fois ; elles ont pour causes probables une vanne d'aération (1 bac) qui aurait été fermée et le surnourrissage (2 bacs). Ces trois bacs ont été exclus des analyses de données. Malgré tout, il reste au moins deux bacs par traitement et les résultats sont donc exploitables.

Les principaux résultats sont présentés en (Annexe 5 et Annexe 6). La 2^{ème} expérience a commencé avec des poissons sensiblement plus gros et plus homogènes que ceux de la 1^{ère} expérience.

L'homogénéité des bacs n'a pas ou peu évolué durant la 2^{ème} expérience, alors qu'elle avait fortement baissé durant la 1^{ère} expérience ; il y a donc eu probablement peu de croissance compensatrice durant la 2^{ème} expérience.

La croissance des poissons est nettement meilleure dans la 2^{ème} expérience, avec une croissance spécifique qui est presque le triple de celle obtenue auparavant pour chaque aliment. **L'indice de conversion est également bien amélioré dans la 2^{ème} expérience** ; il est significativement réduit de 42, 49, 32 et 38% pour les aliments 0, 33, 67 et 100% pain, respectivement. **On s'approche du seuil acceptable de 2,5 pour l'IC moyen** ; dans le détail, par bac, avec les aliments expérimentaux, les plus bas IC sont de 2,38 (0% pain) et de 2,52 (33% pain) et 2,61 (100% pain). L'amélioration des performances de croissance et d'IC est associée à un taux de rationnement plus élevé dans la 2^{ème} expérience de 65, 59, 53 et 58% par rapport à précédemment pour les aliments 0, 33, 67 et 100% pain, respectivement.

Les résultats de la 2^{ème} expérience montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les quatre granulés expérimentaux, entre eux ou bien entre l'aliment 0% pain et chacun des trois autres. **On peut donc statistiquement conclure que ces quatre aliments sont équivalents tant en croissance qu'en indice de conversion. Cela montre que l'on peut remplacer le maïs par le pain.**

On observe cependant une tendance à la baisse de la croissance spécifique et une augmentation de l'IC avec l'augmentation du pourcentage de pain de 0% à 67%. Enfin, on note des différences significatives entre les aliments uniquement en incluant le granulé Le Gouessant dans les comparaisons. Le granulé industriel est associé à une meilleure croissance (+7%) et à un IC plus bas (-27%) par rapport au meilleur granulé expérimental (0% pain) ; en revanche, le taux de rationnement est plus faible (-23%) ; ces écarts peuvent être considérés comme modérés

3.1.2.4. . Résultats de la culture d'algue intégrée

Les algues (*Ulva lactuca* et/ou *U. rigida*) ont été intégrées durant les trois dernières semaines de la 1^{ère} expérience puis durant toute la 2^{ème} expérience. Il y a eu trois configurations de biofiltration : biofiltre bactérien seul ou avec la culture d'algue et la culture d'algue seule. L'apport d'eau neuve a été soit élevé (22%/heure), soit faible (2%/heure). En prenant en compte les deux expérimentations, on peut distinguer six périodes pendant lesquelles les données permettent de caractériser l'efficacité de la biofiltration algale (Annexe 7).

La qualité de l'eau est correcte pour toutes les périodes. C'est le cas en particulier avec la culture d'algues et sans le biofiltre bactérien : les sels nutritifs sont bas voire très bas, l'O2 est correct et le CO2 très bas. Les algues seules sont donc capables d'assurer la biofiltration de l'eau par ce qui semble être

une absorption de l'azote. L'absorption correspondante de l'azote est théoriquement de 3,4 g par m² de culture et par jour, équivalent à 88,9% de l'azote apporté dissous. L'absorption de l'azote est également bonne (81,9%) lorsque les algues sont cultivées en présence du biofiltre bactérien et avec un faible apport d'eau neuve. L'absorption est en revanche faible ou très faible dans toutes les configurations lorsque l'apport d'eau neuve est élevé ; l'azote est alors rejeté en dehors du circuit avant d'avoir pu être absorbé par les algues.

Il faut cependant remarquer que l'absorption théorique de l'azote, calculée d'après les concentrations dans l'eau, est probablement surestimée. La rétention d'azote effective par les algues, calculée d'après le gain de biomasse et la teneur en azote des algues, est en effet comprise entre 0,4 et 2,0 g/m²/jour pour une moyenne de 0,9 g/m²/jour. Il faut aussi remarquer que les périodes de mesures sur les algues ne correspondaient pas exactement avec les périodes de configuration de la biofiltration. Le lien entre les deux n'est pas évident, on peut cependant penser qu'une partie de l'azote n'a pas été absorbée par les algues. L'azote aurait pu en particulier s'évaporé sous forme de gaz NH₃. Il est aussi possible que la rétention d'azote par les poissons soit plus élevée qu'estimée ; nous avons choisi 40% de rétention par les poissons, dans la moyenne des poissons omnivores, sachant qu'elle peut atteindre près de 70% chez un poisson omnivore comme le tilapia (*Oreochromis niloticus*) (He et al. 2017).

Enfin, on note un accroissement de la teneur en protéines durant la culture. Elle atteint près de 31% et 28% pour les deux lots d'algues utilisés. Ces algues, via leur transformation en farine, ont donc pu constituer une source de protéines pour la suite du test, sans être toutefois très élevée.

Les Tableaux de données brutes correspondant aux 6 périodes figurent en Annexe 7. Récapitulatif des mesures effectuées lors de l'expérimentation sur la culture d'algues utilisée comme biofiltre.

3.2. Phase de grossissement

3.2.1. Matériel et méthode

3.2.1.1. Objectif du test de grossissement

Les résultats du 2^{ème} test en prégrossissement ont montré que le remplacement de la farine de maïs par la farine de pain rassis est possible. Le gradient de substitution testé a eu peu d'effet sur la croissance des poissons et l'indice de conversion (IC).

Les tests en grossissement ont consisté à utiliser un seul type de granulé expérimental avec près de 30% de farine de pain rassis. Le « grossissement » signifie que les poissons élevés atteignent la taille marchande (\approx 300 g), en condition proche d'un élevage standard. Un 2^{ème} type de granulé a été utilisé ; il s'agissait d'un granulé industriel pour tilapia considéré comme le traitement contrôle de notre aliment pain testé. Ces deux types d'aliment ont été distribués à deux catégories de poissons, des petits et des grands, pour évaluer l'effet de la taille initiale des poissons sur les performances.

Cette étude a été réalisée en grande partie par Guillaume Burdéos (stagiaire LPDS puis Volontaire Civique avec le CPIE) et Meriem Chagour (doctorante de l'Université d'Annaba en Algérie). Les essais d'élevage ont été réalisés chez LPDS sur le site de La Vise à Balaruc-les-Bains.

Cette phase a été réalisée en condition réelle, et c'est notamment pour cela qu'un partenariat a été tissé avec l'entreprise Les Poissons du Soleil qui a mis à disposition des bacs d'élevage pour accueillir le test.

3.2.1.2. Protocole de fabrication des aliments

L'aliment granulé avec de la farine de pain (aliment pain) a été fabriqué avec un extrudeur comme pour le prégrossissement. La composition a été définie afin que la composition proximale soit similaire à celle de l'aliment contrôle (**Tableau 4**). En pratique, le granulé fabriqué contenait 32,6% de protéines et 8% de lipides, soit proche de l'aliment industriel utilisé comme aliment de contrôle (Biomar Efico-cromis, pour tilapia, 32% protéines et 9% lipides). Ces proportions ne pouvaient augmenter car le sources d'amidon atteignaient déjà 35% et augmenter cette proportion visait à diminuer la proportion en protéine. On notera que l'aliment Biomar Efico-cromis était plus fiable en terme d'approvisionnement (stock en plus grande quantité). C'est pourquoi il a été choisi sur cette phase de grossissement au détriment de Le Gouessant.

Tableau 4 : Composition de l'aliment pain pour le test de grossissement.

Tourteau de soja	51,9%
Farine de pain (tranches)	29,4%
Farine de maïs	5,3%
Farine de sardine	4,9%
Huile de soja	3,9%
Huile de sardine	1,9%
Concentré minéraux & vitamines	2,0%
CaPO ₄	1,0%

3.2.1.3. Approvisionnement en muge

Comme pour le prégrossissement, les muges utilisés appartiennent à l'espèce *Liza ramada* et ils ont tous été à l'origine pêchés dans les canaux à proximité des étangs littoraux de la région. Les poissons du groupe des petits sont ceux issus du prégrossissement ; ils sont dans leur 2^{ème} année et ils ont un poids moyen initial de 58,8 g. Les poissons du groupe des grands ont environ 6 ans et ils ont un poids moyen initial de 320 g (Figure 14)

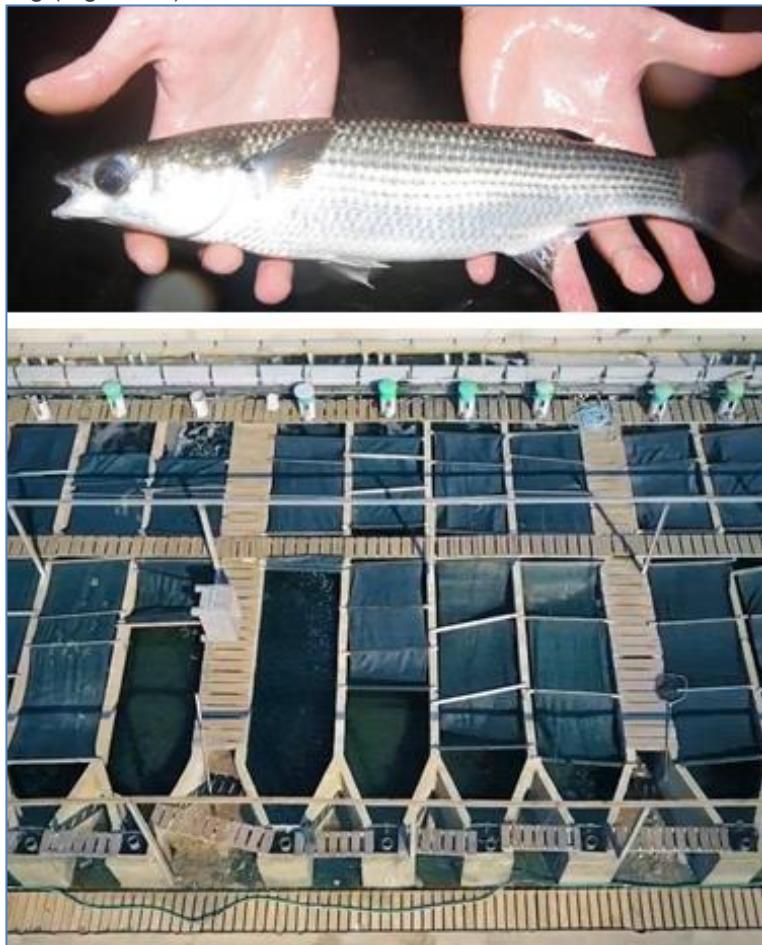


Figure 14 : « Grand » muge en élevage de grossissement et bassins en béton utilisés chez les Poissons du Soleil sur le site de La Vise.

3.2.1.4. Circuit de l'expérimentation

Les bassins utilisés étaient des bassins en béton de forme allongée de 17 m³ de volume d'eau. La biomasse par bassin et la densité initiales correspondante étaient en moyenne de 9,36 kg/bassin et 0,55 kg/m³ pour les petits muges et de 36,72 kg/bassin et 2,16 kg/m³ pour les grands muges. Ces densités sont faibles, voire très faibles pour les petits muges, mais nous ne pouvions pas faire plus.

Les bassins fonctionnaient en circuit ouvert, avec pompage directement dans l'étang de Thau. L'eau de chaque bassin recevait de l'oxygène gazeux pur afin de maintenir une concentration en oxygène optimale (80-120% saturation). Les bassins étaient couverts par une toile d'ombrage. Le fond des bacs était raclé une à deux fois par semaine avec en plus une chasse quotidienne au niveau de la purge. La température et la concentration en oxygène dissous étaient mesurées deux fois par jour.

3.2.1.5. Protocole de nourrissage

Les poissons ont été nourris à satiété deux fois par jour. Ces deux types d'aliment ont été distribués à deux catégories de poissons, des petits et des grands, pour évaluer l'effet de la taille initiale des poissons sur les performances. L'adaptation de la quantité d'aliment distribuée à la satiété n'était pas simple en raison à la fois du volume important des bacs et de la faible densité des poissons. Par conséquent, les poissons étaient rarement bien concentrés au niveau du poste de nourrissage et il n'était pas facile de suivre le devenir des granulés dans les bassins.

3.2.1.6. Biométrie

Après la biométrie initiale, 2 et 3 biométries ont été réalisées pour les grands et les petits muges, respectivement. Pour chaque biométrie, les poissons étaient anesthésiés ($\approx 200 \text{ ml/m}^3$ d'une solution préparée de benzocaïne) avant mesure de la longueur et pesée individuelle de 30 poissons par bassin. La totalité des poissons était également pesée et comptée pour déterminer la biomasse et le poids moyen global.

3.2.1.7. Rendement de filetage

Le filetage des poissons a été réalisé au Lycée de la Mer à Sète par 14 élèves en formation poissonnerie (**Figure 15**). Ils avaient un niveau de formation hétérogène et, pour certains, c'était leur toute première séance de filetage. Au total, 74 poissons ont été filetés dont la moitié (37 poissons) pour chaque type d'aliment.



Figure 15 : Session de filetages des muges et de travail sur les filets à l'atelier poissonnerie.

3.2.1.8. Qualité gustative de la chair des poissons

3.2.1.1.1. Test triangulaire

Ce test a été réalisé en partenariat avec le lycée de la mer. Il s’agissait d’évaluer la perception d’une éventuelle différence sensorielle des muges en fonction de leur alimentation (aliment pain ou aliment Biomar®). Ce test est dit « triangulaire » car il comprend 3 morceaux de chair de muges dont 1 issu de poissons nourris avec l’aliment Biomar® et 2 morceaux avec l’aliment pain, avec plusieurs poissons de chaque, tous issus de notre essai d’élevage de grossissement. La provenance des morceaux de chair n’était pas indiquée aux goûteurs. La question posée était simple : est-ce qu’un des 3 morceaux était différent des autres ? Les commentaires ont été également notés. La chair des poissons a été cuite seule à l’étouffé (en sachets dans l’eau bouillante). Vingt-trois personnes ont participé à ce test dont des élèves et des enseignants du Lycée de la Mer à Sète et des collègues du projet ; ces personnes n’ont pour la plupart pas reçu de formation préalable aux tests de dégustation.

3.2.1.1.2. Test de dégustation

Ce test est plus sophistiqué que le précédent car l’objectif est d’évaluer la qualité de la chair sur 18 paramètres en attribuant une note à chacun. Ces paramètres permettent de préciser de manière aussi quantitative que possible la texture, la saveur et les arômes de la chair.

Ce test a été coordonné par l’UMR Qualisud du CIRAD et réalisé avec un jury expert.

En plus de la chair des muges issus de notre élevage de grossissement, nous avons également testé la chair de « panga ». Ce dernier est un poisson-chat (*Pangasianodon hypophthalmus*) importé du Viêtnam où il est élevé en étangs d’eau douce. Nous avons choisi ce poisson car il présente des similitudes zootechniques avec les muges, à savoir un régime alimentaire omnivore, une grande tolérance vis-à-vis de la qualité de l’eau (respiration aérienne complémentaire) et l’absence d’arêtes intramusculaires. En outre, le panga est le poisson le moins cher sur le marché international (et donc en France aussi) pour le filet sans arête congelé ; son prix de vente au départ du Viêtnam est d’environ 2 €/kg.

Le test de dégustation a été effectué par un jury de 9 personnes dont 8 spécialistes du CIRAD et une personne novice mais néanmoins expérimentée dans le domaine halieutique. Le test a été précédé quelques jours auparavant d’une séance de formation du jury aux paramètres évalués avec de la chair d’autres espèces de poissons.

3.2.2. Résultats phase de grossissement

3.1.2.5. Performance zootechnique

Pour consulter l’ensemble des résultats brut, se référer au rapport :

Cacot P., 2019. Recyclage alimentaire en aquaculture : Test du remplacement de la farine de maïs par de la farine de pain dans un aliment pour muge (*Liza ramada*). Rapport d’activité. CIRAD UMR ISEM. 48 p.

Fort des résultats obtenus lors du test au lycée, l’aliment a donc été testé à LPDS en situation réelle. La survie des poissons a été excellente (98-100% par bassin) quelle que soient la classe de taille des poissons et le type d’aliment.

La croissance des poissons est liée à l’alimentation qui est elle-même très liée à la température de l’eau. Sur l’ensemble de l’étude, la température était comprise entre 6,1 et 28,9°C pour une moyenne de 16,2°C ; la tendance indique des mini et maxi fin février et mi-juillet, respectivement.

La croissance des poissons petits et grands est nulle durant l’hiver, ils perdent même un peu de poids, puis ils grandissent au printemps et en été (Figure 16 : Croissance des poissons lors du test de grossissement avec l’aliment pain).

L’alimentation a été très faible jusque mi-mars puis elle a augmenté lorsque la température a atteint environ 10°C. L’alimentation a atteint un niveau élevé début mai lorsque la température était de 15-16°C.

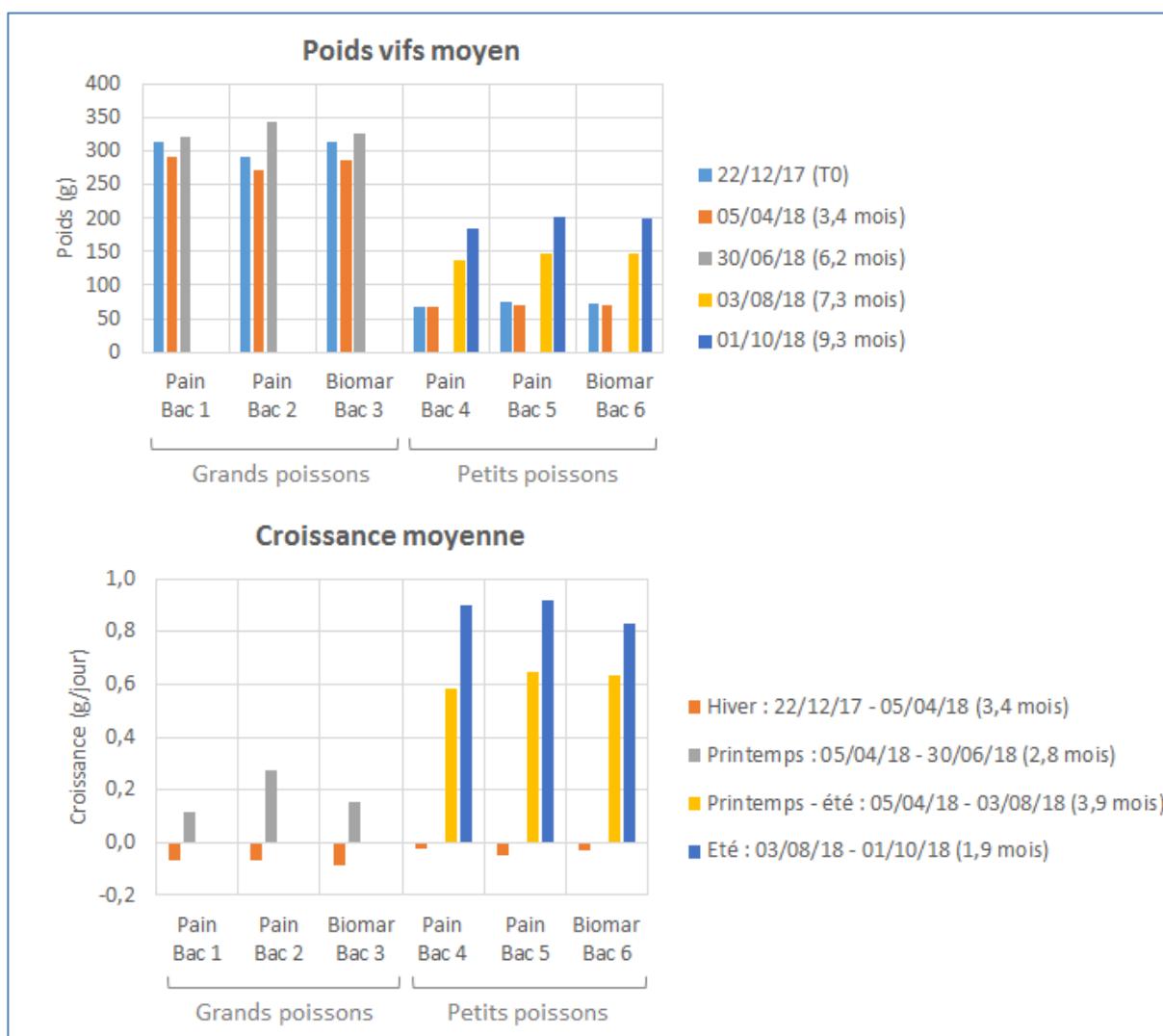


Figure 16 : Croissance des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain (graphiques issus du rapport pain).

Les grands poissons consomment davantage d'aliment en quantité mais pas en taux de rationnement (Figure 17). Lors de la biométrie du 5/4/2018, le taux de rationnement était en effet de 0,4 et de 0,66 %/jour pour les grands et les petits poissons, respectivement. Ceci est normal car le potentiel de croissance des petits poissons est généralement plus grand que celui des grands poissons. Les résultats de croissance vont dans ce sens bien que les périodes de suivi n'aient pas été les mêmes entre les deux groupes de poissons.

La consommation de l'aliment pain et celle de l'aliment Biomar® sont équivalentes pour les grands poissons. Au printemps, la croissance et l'IC sont, en moyenne, également similaires entre les deux types d'aliment pour les grands poissons (en gris sur les Figure 16 : Croissance des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain et Figure 17). Il en est de même pour les petits poissons au printemps (en jaune sur les Figure 16 : Croissance des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain et Figure 17). En revanche, chez les petits poissons en été (en bleu sur la Figure 17 : Alimentation des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain, l'aliment Biomar® est nettement moins consommé que l'aliment pain. Pour autant, la croissance est similaire entre les deux types d'aliment, l'IC est donc meilleur (plus bas) avec l'aliment Biomar® en été.

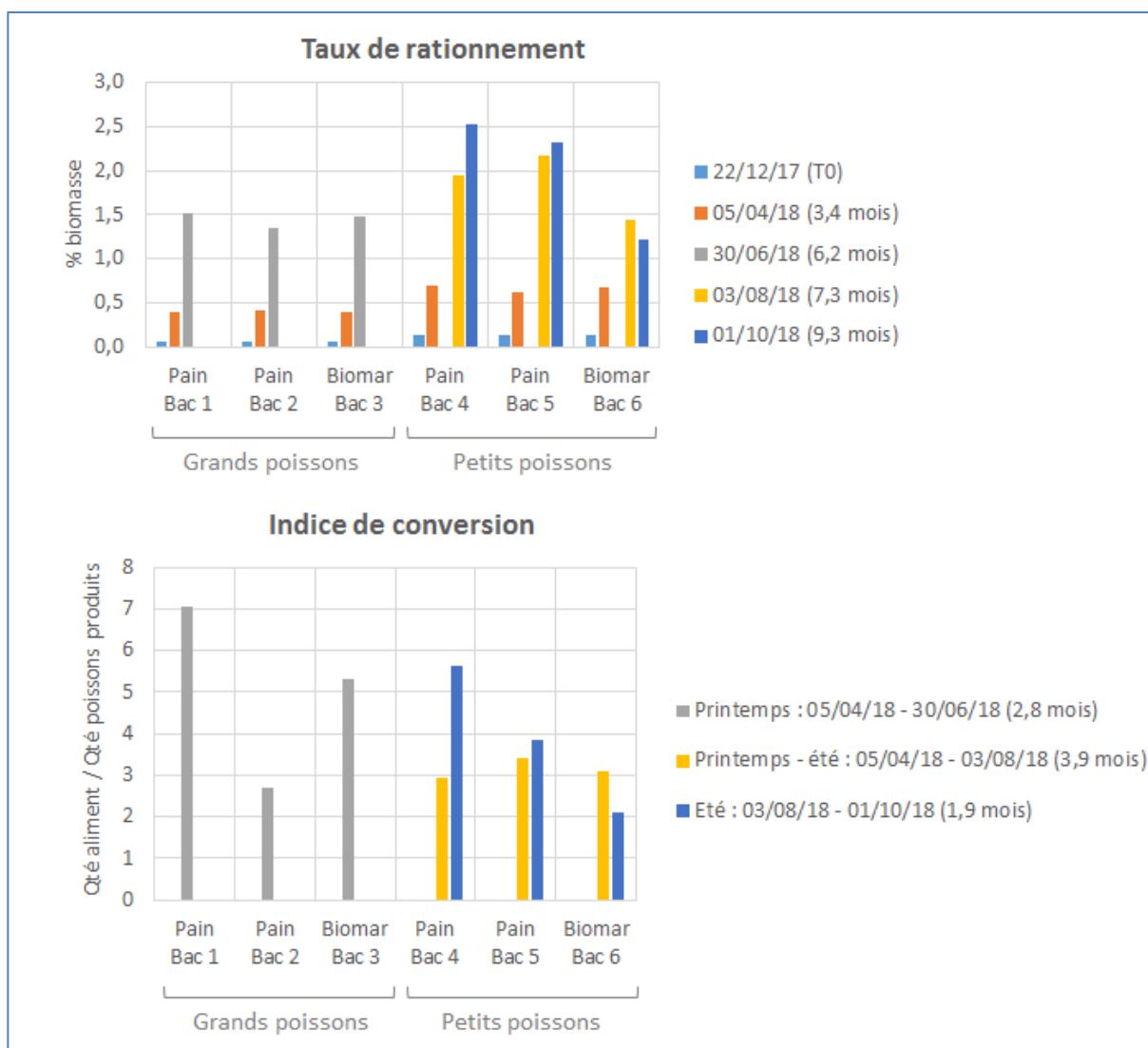


Figure 17 : Alimentation des poissons lors du test de grossissement avec l'aliment pain (graphiques issus du rapport pain).

3.1.2.6. Rendement de filetage

Globalement, le rendement de filetage avec peau est de 40,9%. Il est significativement inférieur pour les poissons nourris avec l'aliment pain (39,1%) par rapport aux poissons nourris avec l'aliment Biomar® (42,7%). Par ailleurs, ce rendement est assez variable pour les 2 types d'aliment, en particulier pour l'aliment Biomar® (28,8% à 57%). Le type d'aliment n'a donc pas d'effet significatif sur le rendement de filetage avec peau. Cependant, ce rendement est soumis à un effet « fileteur » qui explique 36,8% de la variabilité des résultats.

Le rendement de filetage avec peau de nos muges semble bien se placer par rapport à plusieurs autres espèces d'aquaculture connues en Europe ou sur le bassin méditerranéen. Il serait supérieur à celui d'un autre muge (*Mugil cephalus*), du maigre, de la carpe, du sandre et du tilapia. Il serait en revanche inférieur à celui du bar, de la daurade, de la truite et de la perche.

3.1.2.7. Qualité gustative de la chair des poissons

Test triangulaire

Ce test a pour objectif d'évaluer la qualité de la chair sur 18 paramètres en attribuant une note à chacun. Ces paramètres permettent de préciser de manière aussi quantitative que possible la texture, la saveur et les arômes de la chair.

Pour 61% des goûteurs, les muges nourris au pain se distinguaient des muges nourris à l'aliment Biomar® (La différence était perçue sur la texture (39%), l'odeur (35%), le goût (30%) et un petit peu sur la couleur (4%).

Test de dégustation

Les muges nourris avec l'aliment pain se distinguent des muges nourris avec l'aliment Biomar® surtout par une chair moins ferme au toucher (-32,8%) et plus moelleuse en bouche (+48,7%) (**Figure 18**). La note globale est légèrement différente pour les muges entre les deux types d'aliment.

La chair des muges se distingue franchement de celle du panga à la fois au niveau de la texture (plus ferme et cohésive, moins spongieuse et moelleuse, plus filandreuse et collante), du côté moins gras (plus sec) et du goût (moins salé, plus de saveur poisson). La note globale du panga est donc plus basse que celle des muges. Néanmoins, cela ne signifie pas que le panga est moins bon que les muges ; cela indique que sa chair est différente. Ceci étant dit, par ailleurs, le goût de terre du panga et l'arôme de poisson des muges remarqués par le jury joue en faveur des muges. Il faut indiquer que le goût de terre peut être variable chez le panga en fonction de la qualité de l'eau dans les étangs d'élevage.

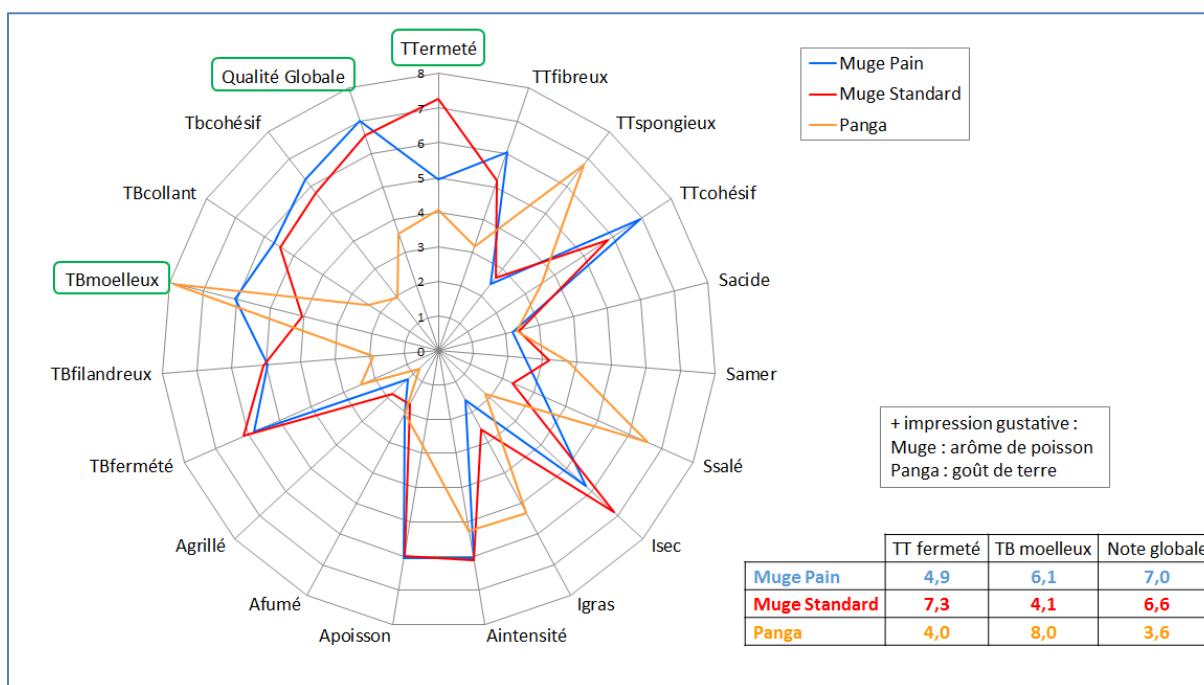


Figure 18 : Test de dégustation de la chair de muge (nos poissons) et de panga (Pangasianodon hypophthalmus importé du Viêtnam). Source : Isabelle Maraval (CIRAD, UMR QualiSud). Muge Standard = muges nourris avec l'aliment Biomar®.

TT : texture au toucher (avec la fourchette),

S : saveur,

I : impression,

A : arôme,

TB : texture en bouche.

3.3. Discussion des résultats

L'homogénéité des résultats des 8 premières semaines de nourrissage illustre la précision avec laquelle l'expérimentation a été réalisée. **Les résultats de croissance sont bons, néanmoins l'indice de conversion (IC) est trop élevé pour tous les types de granulés.**

Differentes hypothèses, en lien avec les conditions d'expérimentation, peuvent être formulées pour expliquer cet IC élevé et envisager des solutions :

- a) Une sous-alimentation des poissons ; le rationnement des poissons n'a pas évolué de manière indépendante. Le rationnement a été augmenté par palier de 5 %, dès que la quantité proposée aux poissons était intégralement consommée pour l'ensemble des bacs.
- b) Distribution excessive de l'aliment, et donc une perte d'aliment non consommé. Cependant le suivi de l'expérience s'est fait rigoureusement et lors des nettoyages fréquents des bacs, peu de matière était retrouvée au fond.
- c) Une perte de petites particules dans l'eau liée à l'effritement des granulés ; l'ensemble des aliments a été fabriqué de manière artisanale, par extrusion la friabilité des granulés avait été testée mais initialement les poissons avaient peut-être du mal à ingérer l'ensemble du granulé un peu gros.
- d) Une carence nutritionnelle liée d'une part à une formulation des granulés inadaptée, due à un manque d'oligoéléments, normalement apportés par le prémix minéraux et vitamines. D'autre part l'extrusion, et le chauffage des matières premières à environ 120°C a pu dénaturer les protéines contenues dans la farine.
- e) Une faible efficacité alimentaire du muge : bien que peu de comparaisons soient possibles dans la bibliographie, les quelques expérimentations connues sur ce poisson nous permettent de conclure qu'il répond bien aux conditions d'élevage.

Au vu de **l'homogénéité des résultats**, l'ensemble des acteurs a souhaité poursuivre l'expérimentation pour apporter des réponses aux hypothèses citées ci-dessus. Un nouveau test a été mis en place sur 4 semaines en apportant des améliorations aux conditions d'élevage et en ajoutant **une comparaison dans le test, une alimentation avec un granulé industriel Le Gouessant®**. Ce granulé industriel de référence a une composition similaire aux granulés expérimentaux en termes de protéines (32%) et de lipides (8%).

Ce 2ème essai complémentaire a été réalisé avec les mêmes quatre aliments maïs/pain et un aliment industriel extrudé également. Une nouvelle biométrie a été réalisée pour alloter les poissons en 5 lots différents en triplicat. Chacun des bacs contenant 36 poissons.

Les poissons se sont bien adaptés aux conditions expérimentales. A l'exception de deux incidents techniques de la 2^{ème} expérimentation, les poissons ont été maintenus en bonne santé ; ils ont bien consommé tous les aliments testés et ils ont grandi. **D'après les résultats de la 2^{ème} expérimentation, les performances ne sont pas significativement différentes entre les quatre types de granulés expérimentaux.** On remarque cependant une tendance à la réduction de la croissance et à l'augmentation de l'IC en passant de 0% à 67% de substitution de la farine de maïs par la farine de pain. Cette tendance pourrait s'expliquer par une réduction de la cohésion des granulés causée par la farine de pain ; l'amidon du pain a déjà été cuit avant l'extrusion et son pouvoir liant est peut-être réduit par rapport à celui de la farine de maïs. Par conséquent, il serait utile de caractériser la tenue à l'eau des différents types de granulés. Dans l'attente de ces résultats, il serait prudent de garder 10% de maïs pour garantir une bonne cohésion, pour compléter la farine de pain (20%) comme sources d'amidon. Par rapport au granulé industriel testé, nos granulés expérimentaux ne sont pas significativement différents au niveau de la croissance, par contre l'indice de conversion est nettement moins bon. Peut-être est-ce dû à la flottabilité du granulé industriel, qui permet de mieux ajuster le nourrissage, ainsi qu'à une meilleure tenue à l'eau, mais cela reste à démontrer

Enfin, concernant **la phase de grossissement**, les IC obtenus durant les 3 premières phases du suivi ne sont pas exploitables : en hiver à cause de la perte de poids des poissons et ensuite au printemps (grands poissons) et printemps-été (petits poissons) en raison du sous-nourrissage probable durant 2 mois.

Seuls les IC obtenus en été (petits poissons) seraient exploitables. L'IC est de 2,12 avec l'aliment Biomar® ; c'est un peu élevé ; un bon IC à ce stade serait autour de 1,5, mais 2,12 resterait acceptable. En revanche, l'IC moyen pour les deux bacs avec l'aliment pain est de 4,75 (3,85 et 5,64 pour chaque bac) et cela est nettement élevé. Pour mémoire, il était de 3,04 avec 100% de remplacement du maïs par le pain en prégrossissement (2^{ème} test), ce qui était mieux mais pas satisfaisant.

L'IC de 4,75 avec l'aliment pain a été obtenu en période estivale, favorable à la croissance des poissons. Sur cette base, l'IC extrapolé sur une année serait encore supérieur compte-tenu de l'absence de croissance durant l'hiver (aliment distribué à perte). Néanmoins, en restant sur un IC de 4,75, le prix de revient de l'aliment serait de 6,18 €/kg. Ce prix est élevé, trop même compte-tenu du prix de vente actuel des muges au détail, généralement de 4-6 €/kg.

Par conséquent, nous suggérons de recommencer le test de grossissement en optimisant le protocole (**Annexe 16**). **A noter que cela avait été envisagé mais que compte tenu du stock limité d'alevins obtenus lors de la seconde phase nous n'avons pas pu renouveler ce test, cela a été validé en COPIL avec l'ensemble des partenaires.**



3.4. Synthèse

«A retenir»

TEST DU REMPLACEMENT DE LA FARINE DE MAÏS PAR DE LA FARINE DE PAIN DANS UN ALIMENT POUR MUGE (*Liza ramada*).

Gaspillage
de pain en France :
360 000 t / an

Montrer le potentiel aquacole de *Liza ramada*.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Remplacer l'ingrédient farine de maïs par de la farine de pain (issu du gaspillage alimentaire) dans son aliment.

Cultiver une algue en circuit fermé pour produire une farine d'algues en prévision d'une seconde substitution.

ETAPE 1 PHASE DE PRÉGROSSEMENT (2 EXPÉRIENCES DE 56 ET 23 JOURS)

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES AU LYCÉE DE LA MER

- Circuit fermé, bio-filtration, élevage des poissons dans 16 bacs de 60L, poissons nourris à satiété 2 fois par jour, qualité physico-chimiques de l'eau correcte.
- Culture d'algue intégrée comme biofiltre : qualité de l'eau optimale par absorption et rétention d'azote par les algues. Obtention de 14.5kg d'algues transformées en farine.

RÉSULTATS : PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

- Aucune différence significative entre les 4 aliments expérimentaux.
- IC (indice de conversion) moyen assez élevé (3.04) pour l'aliment pain.
- Réduction de la croissance et augmentation de l'IC (en passant de 0% à 67% de substitution de la farine de maïs par la farine de pain).

4 ALIMENTS expérimentaux

(substitution du maïs par le pain)

0%
33%
67%
100%

+Contrôle Le Gouessant®

FREINS

- Distribution difficile et satiété non atteinte.
- Mauvaise cohésion des granulés causée par la farine de pain.

ETAPE 2 PHASE DE GROSSEMENT (2 EXPÉRIENCES DE 6 ET 9 MOIS)

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES SUR SITE DE LA VISE (LPDS)

- Circuit ouvert, pompage dans l'Etang de Thau, poissons nourris à satiété 2 fois par jour.
- Elevage en bassin béton de 17 m³ de vol. d'eau ; densité initiale très faible à faible de 0.55 kg/m³ pour petits à 2.16 kg/m³ pour grands .
- Expérience de 6 mois pour grands et 9 mois pour petits .

RÉSULTATS : PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

- Aucune différence significative entre l'aliment expérimental et le contrôle (hors été pour les petits).
- IC inexploitables en raison de perte de poids en hiver et de sous nourrissage pendant 2 mois.
- IC moyen élevé (4.75) pour l'aliment pain en été en comparaison au contrôle.

ETAPE 3 ÉTUDE DE LA QUALITÉ DU FILET

RENDEMENTS FILETAGE

74 muges filetés par 14 élèves en formation poissonnerie du Lycée de la Mer.

40,9%

[pour comparaison, le bar (*dicentrarchus labrax*) a un rendement avec peau de 45,7% et la daurade (*sparus aurata*) de 47,7% (Testi et al., 2006)].

QUALITÉ GUSTATIVE

Test de dégustation par 9 personnes dont 8 spécialistes au CIRAD (tous formés aux paramètres évalués).

18 paramètres testés (texture, saveur et arômes de la chair).



4. EXPERIMENTATION SCIENTIFIQUE AVEC L'ALIMENT ALGUES

4.1. Objectifs de l'étude et démarche

L'objectif de cette expérimentation était de tester la substitution du tourteau de soja par la farine de macroalgue ulve (*Ulva rigida*) comme source de protéines en phase de pré grossissement. L'objectif initial était donc de valoriser les algues produites au lycée de la mer.

L'exhaustivité des résultats est consultable dans le rapport :

Cacot P., 2020. Contribution à la durabilité de l'aquaculture : Test du remplacement du tourteau de soja par de la farine d'ulve (*Ulva rigida*) dans un aliment pour les muges (*Liza ramada* et 2 autres espèces). Rapport d'activité. CIRAD UMR ISEM. 57 p.

4.1.1. Le test d'alimentation

Pour l'alimentation des muges, nous avons réalisé un test de substitution de la moitié du tourteau de soja par de la farine d'ulve (*Ulva rigida*) comptant pour 20% des ingrédients secs des granulés. La formulation a été réalisée en nous basant sur la composition proximale d'un granulé industriel (Biomar®) pour grossissement de tilapia (poisson omnivore) avec 37% protéines et 9% lipides.

Bien que la farine d'algue produite lors du test pain atteignait pour le lot 1 environ 32% de protéines par matière sèche, la quantité produite (14.5 kg) ainsi que le délai de conservation de la farine d'algues de la culture au Lycée (près de 2 ans), n'a pas permis d'utiliser cette farine.

La farine d'algues qui a été utilisée provenait donc de la Ferme Marine du Douhet (FMD) sur l'Île d'Oléron qui produit des juvéniles de bars et daurades. La culture d'algue était réalisée en lagune en terre avec éclairage naturel et l'eau de rejet des circuits fermés de la ferme. **La teneur en protéines de cette farine était de 32,4% ce qui était inférieur à celle du tourteau de soja (50,3%), mais équivalent à notre algue produite au lycée.** La substitution du tourteau de soja a donc nécessité de modifier la composition de deux autres ingrédients (gluten de blé et farine de lupin). **Notre test n'est donc pas littéralement une simple substitution du soja par l'algue.**

Deux types de granulés expérimentaux ont donc été fabriqués, avec ou sans farine d'algue, par nous-même en utilisant un petit extrudeur appartenant au CIRAD. Ces granulés avaient donc a priori une qualité proche des granulés industriels extrudés ; l'extrusion permet en effet de cuire les ingrédients et d'assurer une cohésion optimale des ingrédients. Un 3^{ème} aliment a été testé ; il s'agissait du granulé industriel Biomar® pour tilapia qui nous a permis d'évaluer la qualité de nos deux granulés expérimentaux.

4.1.2. Poissons utilisés

Ces trois aliments ont été testés sur le muge de l'espèce *Liza ramada*, comme pour les tests précédents avec la farine de pain rassis. Cette espèce est localement la plus abondante parmi les 5 espèces de muges présentes dans la région. **La collecte des muges a été particulièrement laborieuse cette fois-ci. Elle a duré plusieurs mois avec plusieurs pêches sur plusieurs sites** : canal à Mèze, étang de Thau, étang de L'Or et canal à Villeneuve-lès-Maguelone. Les poissons ont été stockés temporairement au Lycée de la Mer à Sète puis, toujours à Sète, dans l'entreprise Murex. Enfin, les poissons ont été examinés par un service vétérinaire puis ils ont reçu un traitement préventif afin de limiter les risques sanitaires avant leur transfert chez LPDS. Nous avons bien appris et maintenant nous savons (1) que l'hiver est de loin la meilleure période de pêche (petits poissons abondants et robustes), (2) que l'utilisation de la capéatchade dans les canaux est un bon mode de pêche et (3) que l'entreprise Murex est un lieu de stockage temporaire adéquat.

Le stock de *Liza ramada* (ou autres espèces assimilées) était tout juste suffisant. Nous avions environ **280 poissons** ce qui nous a permis d'utiliser 12 bacs avec 22-23 poissons par bac. A raison de 4 bacs par type d'aliment, nous avons pu tester 3 types d'aliment dont 0% et 20% farine d'algue et l'aliment industriel de référence. Ce protocole était minimal ; nous souhaitions tester un gradient d'incorporation de la farine d'algue avec 0-10-20-30%, plus l'aliment industriel de référence, soit 5 traitements, avec 4 bacs par traitement cela aurait fait 20 bacs au total ; tous ces bacs étaient disponibles dans notre circuit fermé d'expérimentation. Par ailleurs, nous n'avons pas pu nous permettre d'être très sélectif sur la

taille initiale des poissons ; nous avons dû garder des poissons assez petits et d'autres assez gros, avec pour conséquence des lots par bac assez hétérogènes (coefficient de variation du poids de 35-40%). Les résultats obtenus sont néanmoins satisfaisants ; **le marquage individuel des poissons a permis d'évaluer l'effet de la taille initial des poissons sur la croissance ; nous avons également pris soin d'établir des lots de poissons initiaux semblables dans les bacs.**

Outre *Liza ramada*, nous avons pu effectuer des observations sur *Mugil cephalus*, un autre muge d'intérêt aquacole, avec des petits et des grands poissons (un bac de chaque nourris avec l'aliment 20% algue). Enfin, durant la 2^{ème} phase du test, nous avons également pu constituer 3 bacs de muges d'espèce « indéterminée » (certainement *Liza aurata* et/ou *Liza saliens*) avec un bac par type d'aliment.

4.1.3. Culture d'algue intégrée

L'objet de cette seconde manipulation était de tester notre aliment artisanal comprenant du pain et des algues. Nous n'avions pas prévu de tester de nouveau un système d'algue intégrée car cela n'était pas l'objet du projet et le budget n'avait pas été prévu pour. Néanmoins les partenaires du comité technique ont soumis une demande en ce sens de pouvoir mettre en place un système de culture d'algue intégrée dans le conteneur pour constituer une occasion supplémentaire d'utiliser la culture d'algue comme biofiltre intégré au circuit fermé.

Cela a été validé en COTECH puis en COPIL étant entendu que le budget nécessaire à la mise en place de ce système était hors projet, et pris en charge de manière indépendante par le CIRAD et LPDS.

4.1.4. Une expérimentation qui a essuyé des difficultés techniques

Pour mener ce second test avec un aliment algues, nous devions reconduire le même protocole à savoir un pré grossissement au lycée de la mer, puis un grossissement à LPDS. Néanmoins, nous avons dû faire face à des nombreuses difficultés techniques qui nous ont contraint à effectuer des modifications, qui ont toutefois toutes été discutées et validées en COPIL.

Ainsi, dès le lancement le lycée de la mer nous a indiqué ne pas pouvoir accueillir ce second test de pré-grossissement en son sein. En effet, la première manip a nécessité de bloquer les salles de TP du lycée pendant de longues semaines, et cela a compliqué les autres projets pédagogiques. Une réunion a donc eu lieu entre le CPIE et la direction du lycée indiquant que le lycée resterait un partenaire technique associé au projet sur cette phase, mais ne pourrait pas s'impliquer autant que sur la première ;

LPDS a donc proposé d'accueillir le test, mais cela a nécessité de reporter le calendrier initial puisqu'un circuit adapté a dû être mis en place. Nous sommes repartis du circuit mis en place au lycée avec les différents bacs, et ce à l'intérieur d'un conteneur. En effet, LPDS a mis à disposition son site expérimental à Balaruc-les-Bains – dit de la Vise mais dont les bacs sont en extérieurs. Or, pour des contraintes de températures nous avons dû adapter un circuit en intérieur, dans un conteneur donc.

En parallèle nous avons rencontré de nombreuses difficultés dans l'approvisionnement en juvéniles (voir ci-dessous) et du retard lié à des contraintes réglementaires suites aux épisodes sanitaires qu'a connu la lagune de Thau début 2019 – obligeant LPDS à mettre en standby l'accueil de poissons sauvages en son sein.

4.2. Matériels et méthodes

4.2.1. Une expérimentation en deux phases

Le test d'alimentation s'est déroulé en 2 phases successives de 6 et 5 semaines. Après la 1^{ère} phase, nous avons apporté les changements suivants : (1) séparation des muges d'espèces indéterminées qui avaient été initialement mis avec les *Liza ramada* (les poissons initialement petits n'étaient pas faciles à identifier), (2) augmentation de la température de l'eau (de 23 à 26°C) grâce à l'optimisation de la culture d'algue (réduction de l'apport d'eau neuve froide) et (3) reconditionnement de l'aliment industriel de référence (en granulés de petite taille plus facilement ingérés par les poissons).

4.2.2. Protocole pêche alevins

Ce second test a nécessité un réapprovisionnement en juvéniles de muge. Plusieurs pêches ont eu lieu dans des canaux menant à la lagune de Thau (Mèze), et à l'étang (Villeneuve les Maguelone). Au total, 6 pêches ont eu lieu entre février et juin 2019. Ce nombre paraît élevé mais a été nécessaire

car le nombre de poissons en présence par pêche était trop faible. En effet, ces pêches ont démarré trop tardivement dû à un problème phytosanitaire dans l'étang qui n'a pas permis de prélever des muges plus tôt.

Un tronçon de canal où avait été repéré des bancs de muges était encadré par des filets en amont et en aval. Puis avec un filet à maille fine deux personnes remontaient le canal ou le descendaient pour piéger les poissons contre un filet bloquant. Deux tentatives avec filets de type gangui ont été testé également : un filet bloquant l'amont et un gangui bloquant l'aval. Deux personnes poussaient les poissons avec un filet à maille fine vers le gangui.

Deux pêcheurs professionnels de la prud'homie de Mèze et de Palavas ont accompagné le CPIE et ont fourni du matériel comme par exemple les filets de type gangui.

Ces pêches successives n'ont pas permis de pêcher suffisamment d'individus. L'effort de pêche trop conséquent, la logistique trop lourde et le nombre de personnes présentes trop important nous a demandé de nous tourner vers une autre technique. Un pêcheur partenaire a collecté des individus de muge provenant des relevés de ses filets. Ceux-ci étaient stockés dans une cage jusqu'à leur transfert sur le site de la Vise. Cette cage de (2,4 x 1 x 1 m) était placée dans l'étang de l'Or à Pérols.

Le jour du transfert, le fond de la cage a été recouvert d'une bâche fixée sur les arrêtes supérieure. L'objectif était d'anesthésier les poissons en vue de leur transfert dans une cuve oxygénée pour transfert sur le site de la Vise.



Figure 19 : Photographie de la cage de stockage des muges avant transfert sur le site de la Vise.

De nombreux contacts ont été pris avec 5 autres pêcheurs sans donner de résultats. Ces difficultés ont eu l'avantage d'étoffer le lien avec les pêcheurs et professionnels de l'étang qui se sont intéressés au projet.

Le stock de poissons constitué a fait l'objet d'un examen vétérinaire avant leur transfert sur un site d'élevage de LPDS où d'autres poissons d'élevage de l'entreprise sont déjà présents. Cet examen de 2 lots de poissons a montré que ces poissons étaient en bonne santé mais qu'ils étaient porteurs de souches bactériennes potentiellement pathogènes pour la daurade (*Photobacterium damsela* et *Vibrio alginolyticus*). Pour réduire le risque de contamination, les muges ont reçu un traitement avant leur transfert sur le site d'expérimentation. Ce traitement était un bain statique à 60 g/m³ d'antibiotique (oxytétracycline) à 75% à renouveler 3 fois à 48h d'intervalle. Les poissons ont été transférés mi-septembre 2019 puis ils sont restés stockés dans un bac de 500 L durant 2 mois avant le début de l'expérimentation mi-novembre 2019. Ils ont été nourris durant cette période à satiété (tapis d'aliment 20h/24) avec le granulé industriel Biomar® pour tilapia qui sera utilisé ensuite durant l'expérimentation.

Tous les poissons utilisés ont été marqués avec des microtags pour un suivi individuel de la croissance.

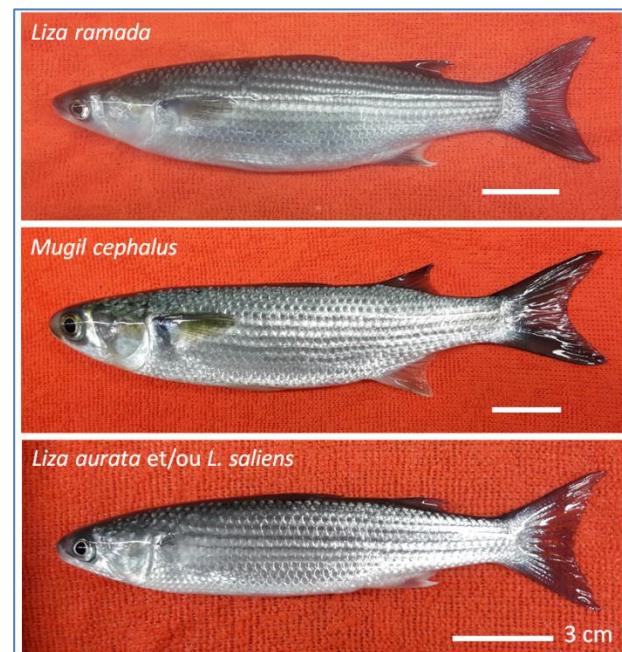


Figure 20 : Photographies des trois espèces de muges identifiées.

4.2.3. Manipulation des poissons

Les poissons ont été manipulés plusieurs fois, lors des transferts, des prélèvements, du marquage et des biométries. A chaque fois, les poissons ont été mis à jeun durant 3 jours, du jour précédent au jour

suivant la manipulation. Avant manipulation, les poissons ont été anesthésiés par balnéation dans une solution de benzocaïne (50 ml/m³ d'une solution préparée). Il est important que les poissons manipulés soient immobiles sans quoi ils risquent de perdre des écailles ce qui est la principale cause de blessure et de mortalité des muges.

4.2.4. Protocole de fabrication des aliments

Trois types d'aliments ont été testés dont deux granulés expérimentaux et un granulé de référence industriel pour tilapia (Annexe 10). La formulation des granulés expérimentaux a été ajustée pour que leur composition proximale corresponde au mieux à celle du granulé industriel. Les paramètres fixes ont été les teneurs en (1) farine et huile de poissons, levure de bière, prémix et CaPO₄ pour garantir les apports nutritionnels, (2) farine de maïs pour garantir la bonne extrusion et la cohésion des granulés et (3) la farine de pain pour répondre à l'objectif du projet sur la valorisation de cette matière première (recyclage alimentaire) (Annexe 11).

Nous nous sommes basés sur la composition des matières premières indiquée par les fournisseurs, sauf pour la farine d'algue que nous avons faites analyser. Chaque type de granulé a ensuite été analysé en laboratoire pour déterminer leur composition réelle ; il en a été de même pour le tourteau de soja, le gluten de blé et la farine de lupin. Nous n'avons pas procédé aux analyses avant par souci d'économie ; nous voulions être sûr de la qualité des résultats du test d'alimentation avant de faire faire les analyses de composition.

Il s'avère que la composition des granulés ne correspond pas exactement à celle prévue en particulier pour les protéines. La teneur en protéines est en effet de 33,1%, 35,4% et 40,2% pour les aliments 0% algue, 20% algue et Biomar, respectivement. La teneur en lipides est similaire entre les granulés (\approx 10%) de même que l'énergie brute (\approx 3,8 kcal/g). Notre intention était d'avoir des granulés de composition proche de celle annoncée pour le granulé Biomar, c'est-à-dire 37% protéines, 9% lipides et 4,5 kcal/g. Or il se trouve que la composition réelle de ce granulé en % de matière sèche est assez différente, avec 40,6% protéines, 10% lipides et 3,78 kcal/g. La différence entre les deux vient du fait que la composition de l'aliment Biomar est donnée sans mention du taux d'humidité, qui est en pratique de 7%. La différence entre nos deux granulés expérimentaux est assez faible au niveau des protéines (2,3%) ; elle pourrait être liée aux écarts de composition des matières premières entre les valeurs annoncées et les valeurs réelles (\approx 2% pour le tourteau de soja et le gluten de blé).

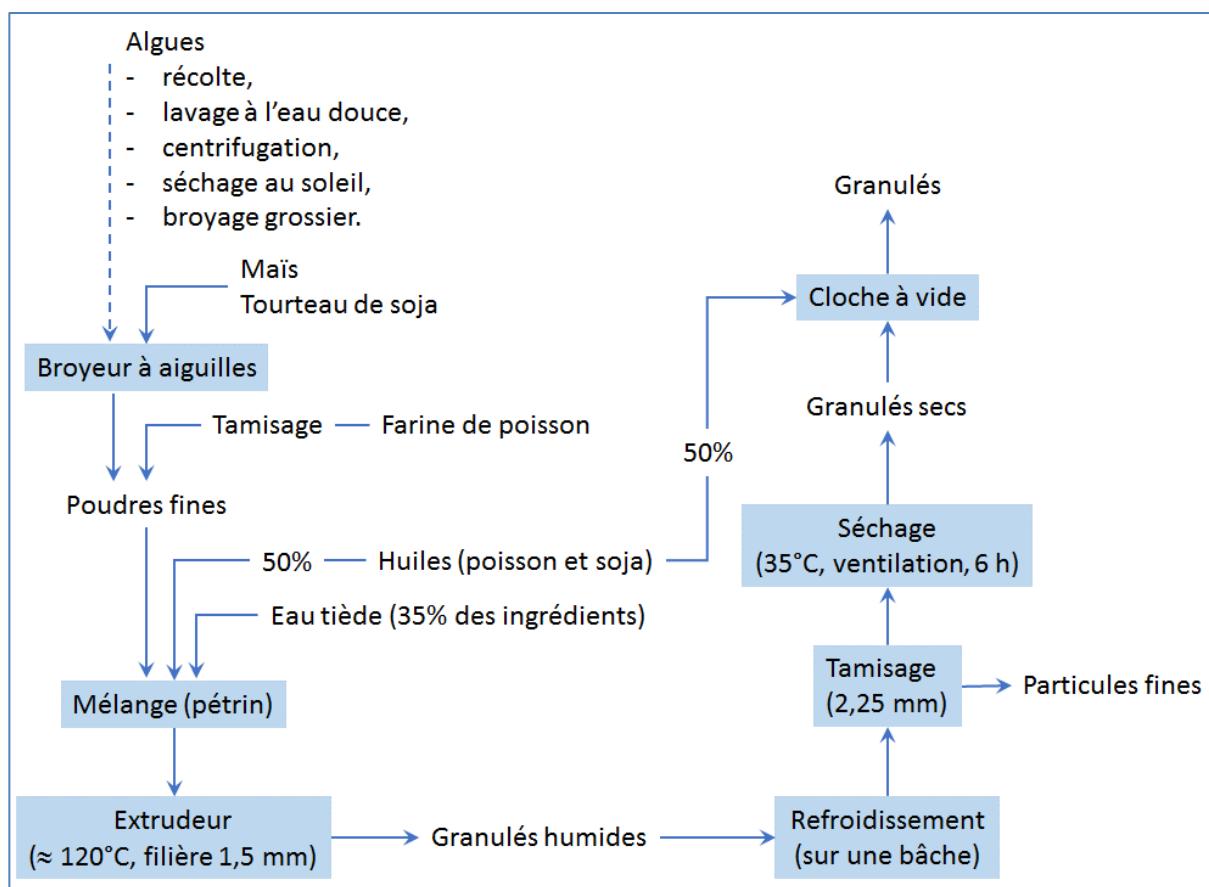


Figure 21 : Process de fabrication des granulés extrudés expérimentaux

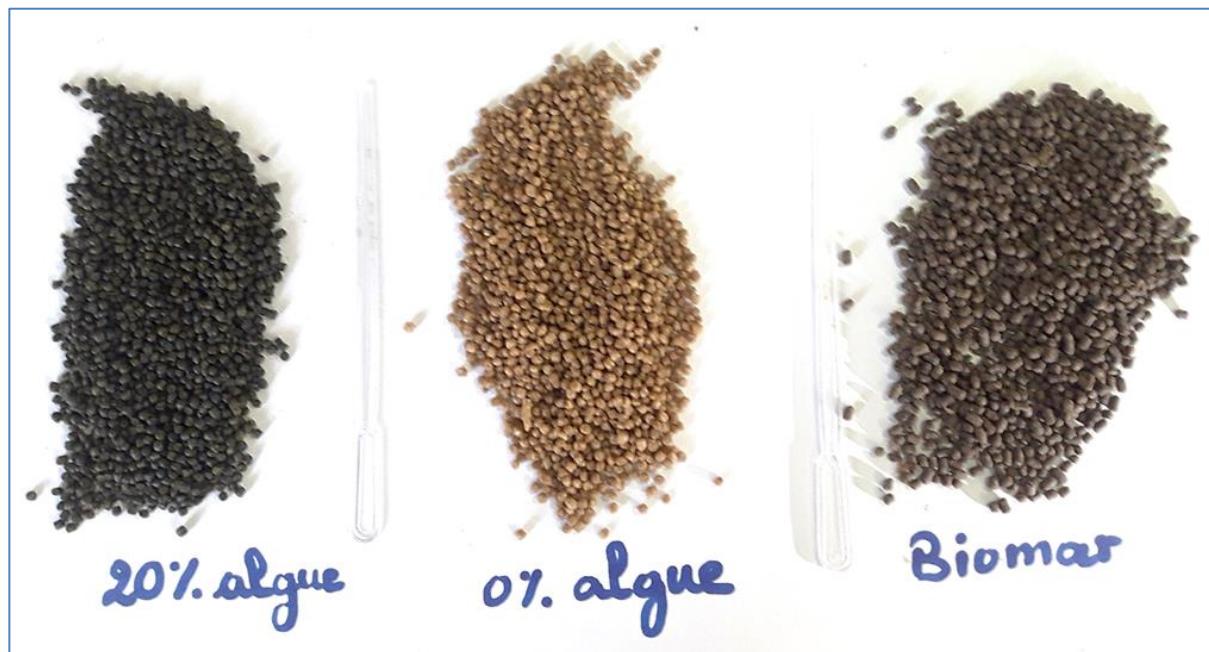


Figure 22 : Photographies des trois types de granulés testés (dont le granulés Biomar® reconditionné).

Les deux granulés expérimentaux ont été préparés avec un petit extrudeur²⁵ (**Annexe 12**). Le granulé industriel extrudé avait une granulométrie de 3 mm trop grande pour les petits muges. Pour la 1ère phase du test d'alimentation, ces granulés ont été broyés grossièrement puis tamisés. Ces granulés broyés sont sensiblement plus grands que les deux autres types de granulés. Par conséquent, pour la 2ème phase du test, ces granulés ont été broyés finement (broyeur à aiguille) puis reconditionnés avec ajout d'un liant alimentaire (carboxy-méthyl cellulose, 2%), hydratation (35% d'eau ajoutée) et extrudés à température modérée ($\approx 80^{\circ}\text{C}$).

Pour la fabrication de ces aliments, nous nous sommes de nouveau fourni auprès de l'association Le Pain de l'Espoir.

Concernant la farine d'algues et comme précisé dans le paragraphe « objectif de l'étude et démarche », nous avions 14.5 kg issus de la farine cultivée lors de la première expérimentation au lycée de la mer. Cela étant trop peu pour la fabrication d'une quantité suffisante d'aliment nous nous sommes approvisionné en farine d'algue auprès de la Ferme Marine du Douhet. La farine utilisée avait les mêmes caractéristiques et notamment teneur en protéines. Elle est fabriquée à la Ferme Marine du Douhet en lagunage. C'est cette farine d'algue qui a servi de base à l'analyse du cycle de vie commandé à l'INRAE Transfert (voir suite rapport).

Tableau 5 : Description synthétique des deux phases de l'expérimentation.

Paramètres	Phase 1	Phase 2
Durée	41 jours	37 jours
Poissons stockés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 22-23 poissons par bac dont un mélange de 17-18 <i>Liza ramada</i> et 4-5 muges d'espèces indéterminées (<i>Liza saliens</i> et/ou <i>Liza aurata</i>). ▪ 4 bacs par type d'aliment testé. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Poissons « indéterminés » différenciés clairement des <i>Liza ramada</i> lors de la biométrie en fin de 1^{ère} phase. ▪ <i>Mugil cephalus</i> : 1 bac de petits poissons et 1 bac de gros poissons, tous deux nourris avec l'aliment 20% algue. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 17-18 poissons par bac avec <i>Liza ramada</i> exclusivement ▪ Toujours 4 bacs par type d'aliment testé. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Poissons indéterminés placés dans d'autres bacs avec 1 bac par type d'aliment testé. → Meilleure précision de l'ICA pour <i>Liza ramada</i>. ▪ <i>Mugil cephalus</i> : idem phase 1.
Aliment industriel	Sous forme de miettes (granulés d'origine broyés et tamisés entre 2,25 et 1 mm). → Mauvaise consommation de cet aliment et mauvaise croissance des poissons	Granulés d'origine broyés finement et reconditionnés en granulés plus petits. → Amélioration de la consommation de cet aliment
Température de l'eau	$\approx 23^{\circ}\text{C}$	$\approx 26,6^{\circ}\text{C}$ grâce à l'amélioration du recyclage de l'eau. → Optimisation de la prise alimentaire et de la croissance

4.2.5. Principe de culture d'algue en lagune (*sur le modèle de la ferme marine du Douhet*)

Le principe de culture d'algues en lagune peut être exploitée dans les systèmes aquacoles intégrés multitrophiques (IMTA en anglais²⁶) pour « bioremédier » tout ou partie des rejets d'ammoniaque, nitrates et phosphates dissous (Neori et al. 2004 ; Soto 2009). La culture est le plus souvent placée dans le rejet d'un circuit fermé avec lequel la concentration en sels nutritifs est élevée (Abreu et al. 2011; Ben-Ari et al. 2014 ; Hussenot & Richard 2010). L'eau ainsi filtrée par les algues est rejetée dans le milieu naturel.

²⁵ Capacité 30-40 kg/h. Fournisseur : Henan Strongwin Machinery Equipment Co. (Chine).

²⁶ Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

Ce mode de culture est assez extensif et il nécessite donc une surface de culture relativement importante. Cette culture est également soumise aux aléas climatiques ; la production d'algues est très variable au cours de l'année, de presque rien en hiver à environ 200 g/m²/jour au printemps et en été. On remarque également que la quantité d'algue produite peut être importante avec possiblement 400 kg d'algue fraîche par jour, soit plusieurs fois la production de poissons. Cette culture va donc nécessiter de la main d'œuvre spécifique dédiée à la récolte ainsi qu'aux opérations post-récolte : rinçage et centrifugation et, pour la production de farine d'algue, séchage et broyage. Les exigences de cette culture impliquent donc que celle-ci soit profitable, tant au niveau de la réduction des rejets que de la valorisation commerciale de l'algue produite. Cela semble être le cas à la Ferme Marine du Douhet sur l'Île d'Oléron où la culture d'ulve en lagunes est pratiquée depuis une dizaine d'année (Figure 23). Les algues utilisées dans notre test de remplacement du tourteau de soja par de la farine d'ulve (*Ulva rigida*) dans un aliment pour les muges proviennent de la Ferme Marine du Douhet.



Figure 23 : Culture d'ulve (*Ulva rigida*) en lagunes à la Ferme Marine du Douhet.

4.2.6. Circuit de l'expérimentation

Les poissons étaient stockés dans des bacs cylindriques de 60 L d'eau. Ces bacs de la marque Gilac étaient des récipients du format d'une poubelle de 75 L en PEHD²⁷ contact alimentaire et de couleur verte (réf. : G612036-1). Au total, 17 bacs ont été utilisés sur les 20 disponibles ; les bacs de chaque traitement ont été répartis aléatoirement dans la salle d'expérimentation. Les bacs étaient disposés dans un circuit fermé pour le recyclage de l'eau. Le système d'élevage était placé dans un grand container frigorifique d'occasion (40 pieds) (

²⁷ Poly éthylène haute densité

Figure 24). Le volume d'eau total du circuit fermé était d'environ 2620 L dont 1020 L en bacs poissons utilisés, le reste étant des bacs non utilisés et les volumes dédiés à la circulation et au traitement de l'eau. L'apport d'eau neuve total était d'environ 70%/jour (% volume total du circuit) soit $\approx 3\text{%/h}$.

Un filtre à tambour (modèle AEM-S22 PRO) éliminait les rejets solides. Une culture d'algue absorbait l'ammoniaque et les autres sels nutritifs dissous ainsi que le gaz carbonique sur le même principe que ce qui a été réalisé dans le test de remplacement du maïs par le pain. De l'oxygène gazeux était apporté en permanence dans chaque bac (0,1-0,2 L/mn). Le débit de recirculation d'eau dans les bacs était d'environ 400 L/h, soit $\approx 650\text{%/h}$. Chaque bac était couvert d'un disque de grillage plastique vert (maille 10 mm) pour empêcher les poissons de sauter hors du bac. Ce grillage était lui-même recouvert d'une toile brise-vue verte foncée sur les 2/3 de la surface pour le bien être des poissons. L'évacuation de l'eau des bacs se faisait au centre des bacs, par le haut lors du nourrissage et par le bas le reste du temps. Ce système évitait de perdre les granulés coulants utilisés.



Figure 24 : Aperçu du container et du système d'élevage à l'intérieur.

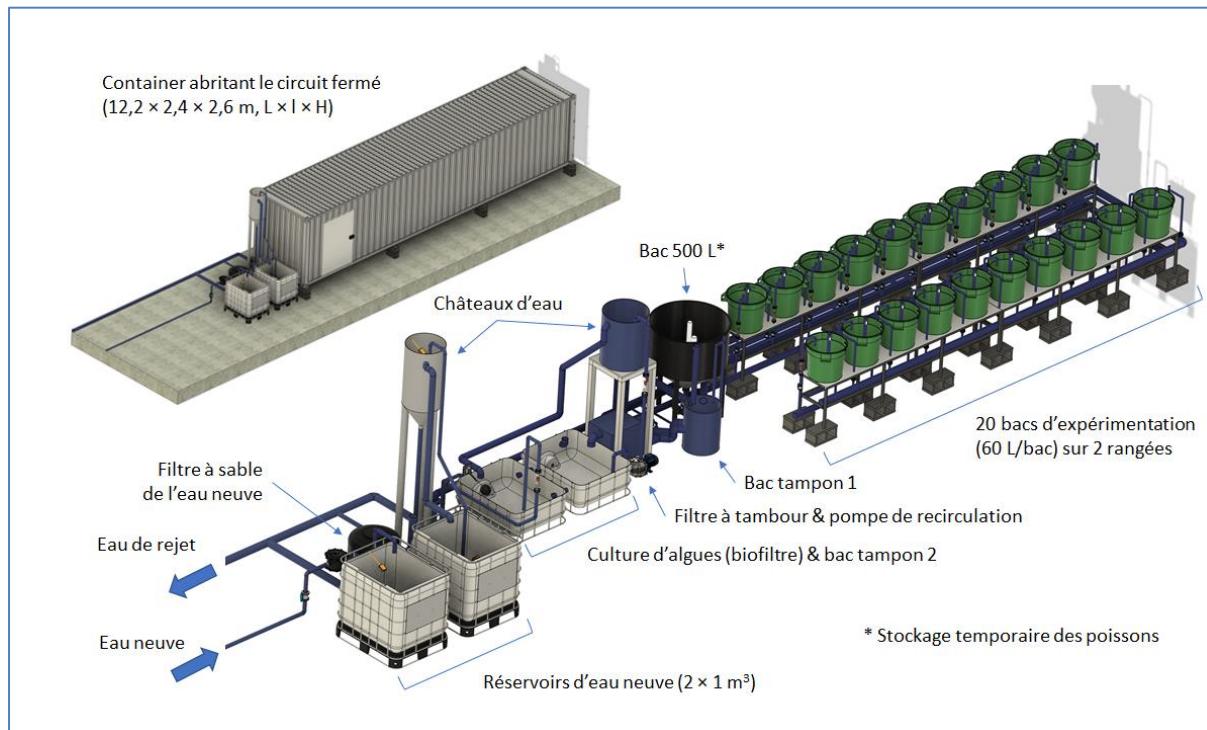


Figure 25 : Système d'élevage utilisé.

Le système d'élevage présenté nécessite de multiples opérations de maintenance. Celles-ci sont présentées en annexe.

4.2.7. Protocole de nourrissage

La distribution d'aliment a été progressive durant la 1^{ère} semaine pour chaque phase de test. A la fin de cette semaine, le taux de rationnement journalier (TAJ) atteignait environ 2%. Ensuite, les poissons ont été nourris 2 fois par jour à satiété (matin et après-midi) ; les quantités distribuées étaient ajustées par bac à chaque repas. Chaque nourrissage était réalisé durant 1 heure avec une distribution de 20% de la ration toutes les 15 minutes, si et seulement si la quantité distribuée précédente avait été entièrement ingérée. La présence éventuelle de granulés non consommés était observée sur le fond des bacs avant chaque distribution. L'éventuel reliquat non consommé du matin était proposé avec l'autre moitié de la ration journalière l'après-midi.

Lorsque la totalité de la ration journalière prévue était ingérée le jour J, la ration du jour J+1 était majorée de 5%. Si la ration journalière n'était pas entièrement consommée, le reliquat de granulés non distribué était pesé. Les granulés distribués mais restant au fond du bac était compté et le poids correspondant calculé ($N \times$ poids unitaire granulé). La quantité totale de granulés non consommée était notée chaque jour pour déduire la quantité effectivement consommée (= ration prévue – quantité non consommée). Les résultats de TAJ et d'indice de conversion alimentaire (ICA) concernent la quantité d'aliment effectivement consommée.

4.3. Résultats

4.3.1. Préambule

Les résultats obtenus avec *Liza ramada* lors de la 2^{ème} phase du test sont les plus fiables de tous les résultats pour les raisons suivantes : (1) chaque type d'aliment a été distribué dans 4 bacs stockés avec

cette seule espèce, (2) la température de l'eau est supérieure à celle de la 1^{ère} phase et (3) la consommation de l'aliment Biomar® a été meilleure que lors de la 1^{ère} phase du fait du reconditionnement de ces granulés. Nous présentons cependant les autres résultats obtenus avec *Liza ramada* et les autres espèces durant les deux phases ; ces résultats fournissent de premières informations intéressantes sur ces autres espèces ; cela pourra aider à orienter de possibles futurs tests.

Les principaux résultats sont présentés dans le texte ; pour que le document ne soit pas trop long, seul le poids vif des poissons est considéré pour la croissance. Des tableaux de résultats détaillés figurent dans le rapport complet du CIRAD; ceux-ci incluent notamment les mesures de longueur à la fourche des poissons et le coefficient de condition, ainsi que le coefficient de variation pour les mesures individuelles.

4.3.2. Résultats de *Liza ramada* durant la 2^{ème} phase

Les résultats obtenus avec les 2 aliments expérimentaux (0% et 20% algues) sont proches (Tableau 6). En revanche, la croissance des poissons est meilleure avec l'aliment Biomar® qu'avec les 2 aliments expérimentaux, de 27% pour la croissance spécifique. Cette meilleure croissance est associée à un taux de rationnement journalier (TAJ) supérieur de 33% pour l'aliment Biomar®.

Enfin, l'indice de consommation alimentaire (ICA) est assez proche entre les 3 types d'aliment.

Tableau 6 : Principaux résultats obtenus avec *Liza ramada* durant la 2^{ème} phase du test (valeurs moyennes).

	Granulés expérimentaux		
	0% algue	20% algue	Granulé Biomar®
Poids initial (g)	54,5	53,5	53,4
Poids final (g)	*** 79,4	*** 77,6	*** 86,0
Croissance relative (% poids initial)	*** b 47,0	*** b 47,4	^a 63,2
Gain moyen quotidien (g)	*** b 0,67	*** b 0,65	^a 0,86
Croissance spécifique (%/jour)	*** b 1,03	*** b 1,03	^a 1,31
Taux d'alimentation journalier (%)	*** b 1,85	*** b 1,83	^a 2,46
Indice de conversion alimentaire	1,85	1,92	1,99

Définitions significatives :

- Entre poids final et poids initial pour chaque type d'aliment : *** ($P < 0,001$), test T,
- Entre les 3 types d'aliments, indiquées par des lettres différentes : a, b, c ($P < 0,05$), test de Duncan,
- Entre les aliments 0% et 20% algues, d'une part, et l'aliment Biomar®, d'autre part : ** ($P < 0,01$), *** ($P < 0,001$), test de Bonferroni.

En considérant les données moyennes des 12 bacs, il apparaît que la croissance des poissons est très liée au TAJ (Figure 26). Autrement dit, plus les poissons mangent et plus ils grandissent vite et, l'aliment Biomar® étant le plus consommé, c'est lui qui permet la meilleure croissance.

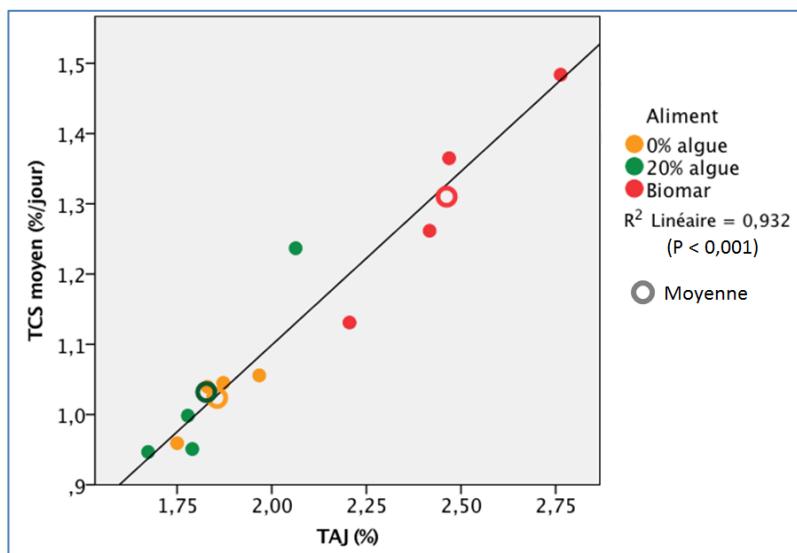


Figure 26 : Taux de croissance spécifique (TCS) en fonction du taux d'alimentation journalier (TAJ) pour *Liza ramada* durant la 2ème phase.

Par ailleurs, pour chaque type d'aliment, la croissance des poissons tend à diminuer avec leur poids initial, ce qui est normal ; cette tendance est assez claire avec l'aliment Biomar® (Figure 27). La variance des résultats individuels de croissance spécifique est significativement expliquée par le poids initial (16,4%) et le type d'aliment (16,2%), avec une légère interaction entre le type d'aliment et le répliquat (7,2%).

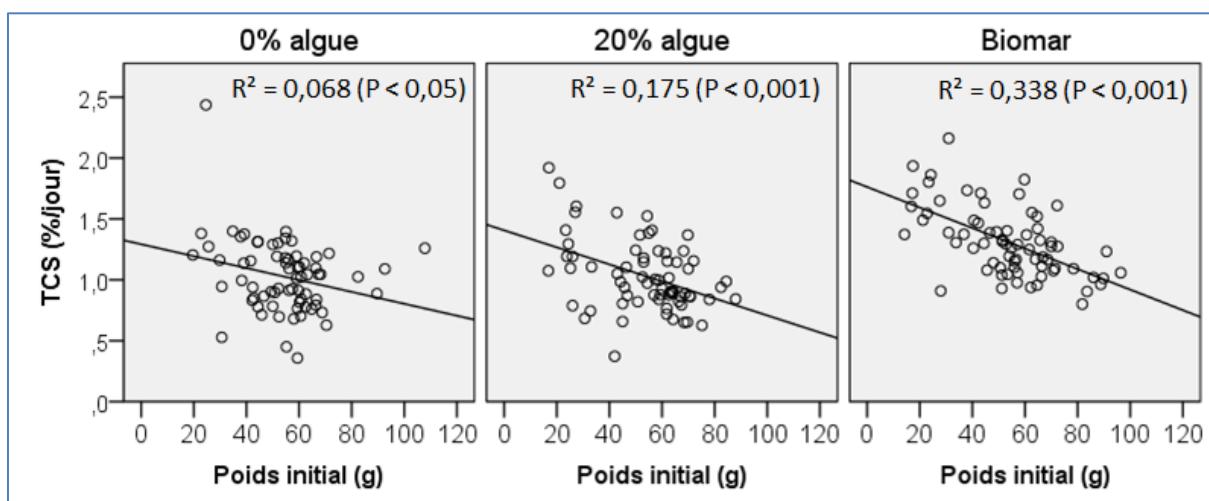


Figure 27 : Taux de croissance spécifique (TCS) en fonction du poids initial de *Liza ramada* durant la 2ème phase.

4.3.3. Composition corporelle de *Liza ramada*

En poids frais, les poissons en fin d'élevage ont gagné en protéines pour les 3 types d'aliments, le gain ayant été le plus fort pour l'aliment 20% algue (+17,7%) (Tableau 7). Les lipides ont également augmenté pour les aliments 0% algue et 20% algue (+ 6,7%) mais pas pour l'aliment Biomar® (-7,1%). Enfin, la valeur énergétique des carcasses a augmenté pour l'aliment 0% algue (+6,8 %) et 20% algue (+7,5%) alors qu'elle a légèrement diminué pour l'aliment Biomar® (-3%). Nous ne pouvons pas être catégorique sur ces différences entre les aliments car les résultats de composition n'ont pas été répliqués.

L'engraissement des poissons au terme de l'élevage est modéré. Cela est cohérent avec l'embonpoint final des poissons (coefficients de condition) qui n'a que légèrement augmenté pour les aliments 0% et 20% algues (+2,5%) et Biomar® (+4,9%) (Annexe 13).

Tableau 7 : Composition des carcasses de *Liza ramada*.

	Début phase 1	Fin phase 2		
		0% algue	20% algue	Biomar®
% Matière totale				
Eau	60,0	55,9	56,4	59,4
Matière sèche	40,0	44,1	43,6	40,6
Protéines	14,7	16,6	17,3	17,0
Lipides	22,4	23,9	23,9	20,8
Cendres	2,09	3,4	2,34	2,56
Energie (kcal/g)	2,64	2,82	2,84	2,56
% Matière sèche				
Protéines	36,8	37,6	39,7	41,9
Lipides	56,0	54,2	54,8	51,2
Cendres	5,2	7,7	5,4	6,3
Energie (kcal/g)	6,6	6,4	6,5	6,3

4.3.4. Ensemble des résultats

L'analyse concerne ici la totalité des résultats obtenus pour les 2 phases du test et pour les 4 types de poissons (*Liza ramada*, espèces indéterminées, petit *cephalus*, gros *cephalus* avec les réserves indiquées plus haut quant à l'interprétation).

4.3.4.1. Croissance des poissons

Les commentaires qui suivent ne concernent que la croissance spécifique car ce paramètre de croissance semble le plus pertinent ici. Cette croissance est en effet indépendante de la durée, elle est moins affectée par le poids initial des poissons que le gain moyen quotidien, et enfin elle permet de rapprocher le résultat du taux d'alimentation journalier (TAJ) parce que ces deux paramètres sont exprimés en % de la biomasse.

Liza ramada

La croissance de *Liza ramada* a légèrement diminué durant la 2^{ème} phase pour les aliments expérimentaux, de 14,1% et 11,2% pour l'aliment 0% et 20% algue, respectivement ($P < 0,05$) ; ça n'a pas été le cas pour l'aliment Biomar® (

Figure 28). En 2^{ème} phase et pour la durée totale du test, la croissance a été la meilleure avec l'aliment Biomar. L'optimisation des conditions d'élevage en 2^{ème} phase a donc bien profité aux poissons nourris avec l'aliment Biomar®.

Espèces indéterminées

La croissance des poissons d'espèce indéterminée était nettement plus faible que celle des *Liza ramada*, de 2,6 fois en moyenne sur l'ensemble des résultats. Les poissons indéterminés étaient initialement plus petits que les *L. ramada* mais cela ne semble pas jouer dans la comparaison de la croissance car, pour les 2 types de poissons, la croissance ralentit avec l'augmentation du poids initial. La croissance des muges indéterminée a sensiblement augmenté en 2^{ème} phase et de manière très significative avec l'aliment Biomar ($\times 3,2$). Comme pour *L. ramada*, c'est avec cet aliment que la croissance est la meilleure pour la 2^{ème} phase et la durée totale du test.

Avec l'aliment 20% algue, parmi les 4 types de poissons observés, les *L. ramada* ont eu la meilleure croissance en 1^{ère} phase. Leur croissance a été ensuite comparable à celle des petits *Mugil cephalus* en 2^{ème} phase ainsi que pour la durée totale du test. La croissance des petits *M. cephalus* s'est nettement améliorée en 2^{ème} phase (+69,5%, $P < 0,01$). La croissance des gros *M. cephalus* est assez faible et similaire à celle des poissons indéterminés pour les 2 phases, elle a même diminué en 2^{ème} phase (-14,3%, $P < 0,01$). Enfin, la relation entre la croissance spécifique et le poids initial des *M. cephalus* petits et gris n'est pas évidente.

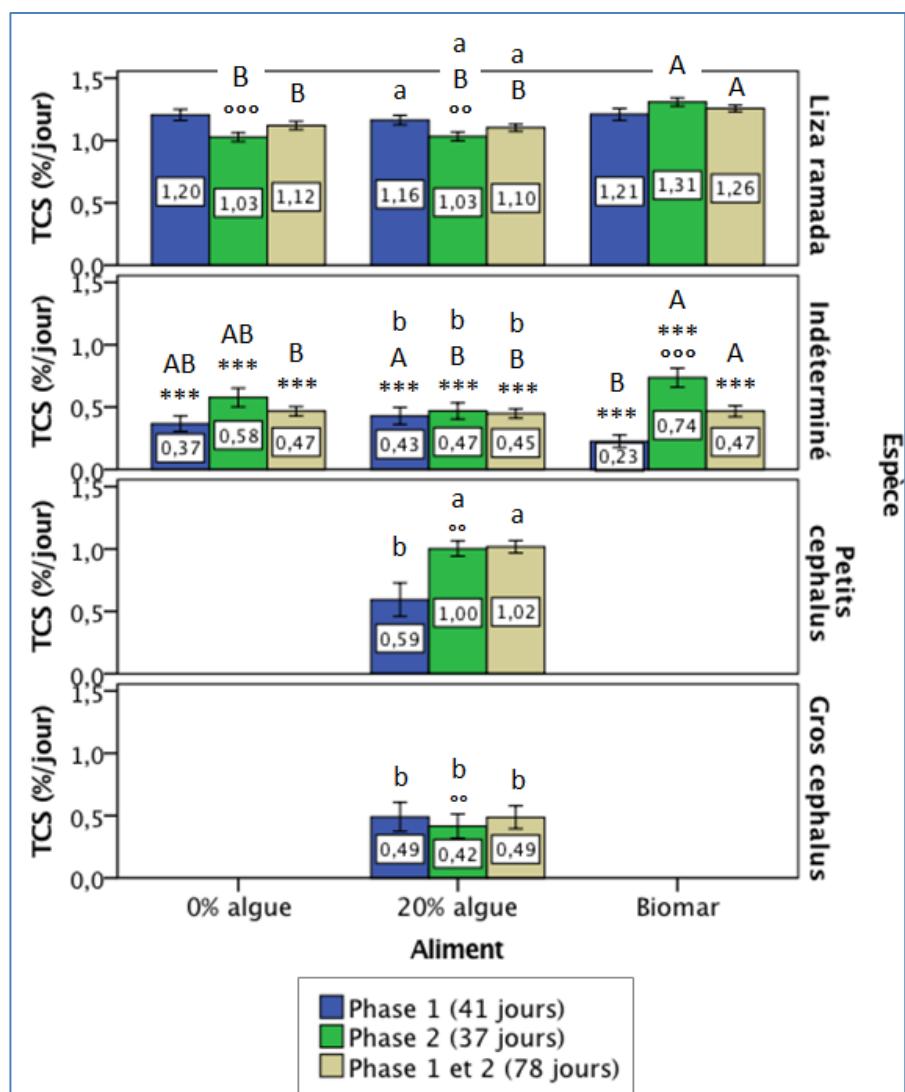


Figure 28 : Taux de croissance spécifique par type de poisson, par type d'aliment et par phase.

Note : Différences significatives :

- Entre les 2 phases pour chaque type d'aliment : °° ($P < 0,01$), °°° ($P < 0,001$), test T,
- Entre les 3 types d'aliments, par espèce et par phase, indiquées par des lettres différentes : A, B ($P < 0,05$), test de Duncan.
- Entre les 4 types de poissons avec l'aliment 20% algue, par phase, indiquées par des lettres différentes : a, b ($P < 0,05$), test de Duncan,
- Entre *Liza ramada* et les poissons indéterminés, par type d'aliment et par phase : *** ($P < 0,001$), test T.

4.3.4.2. Efficacité alimentaire

Pour *L. ramada*, *l'indice de conversion alimentaire (ICA)* a sensiblement baissé en 2^{ème} phase et de manière significative pour l'aliment 0% algue (-14%) (Figure 30). L'ICA des poissons indéterminés tend à être nettement plus élevé que celui des *L. ramada* pour les 3 types d'aliment. L'ICA a bien baissé entre la 1^{ère} à la 2^{ème} phase avec les *M. cephalus*, petits et gros, mais il reste supérieur à celui des *L. ramada* en 2^{ème} phase. L'absence de répliquât avec les poissons indéterminés et les *M. cephalus* ne permet pas d'être catégorique mais les tendances observées semblent pertinentes. Avec les *L. ramada* nourris avec les aliments 0% et 20% algues, le maintien de l'ICA en 2^{ème} phase malgré la légère baisse de la croissance est lié à la baisse sensible du taux de rationnement journalier

(TAJ), de 23,2% et 17,9%, respectivement. Le TAJ avec l'aliment Biomar® est quant à lui resté stable en 2^{ème} phase.

En 2^{ème} phase, le TAJ des poissons indéterminés était modéré mais pas suffisamment pour compenser leur faible croissance, ce qui explique les ICA élevés de ces poissons.

Enfin, le TAJ des *M. cephalus* a diminué en 2^{ème} phase ce qui, combiné au maintien de leur croissance, a permis de réduire leur ICA.

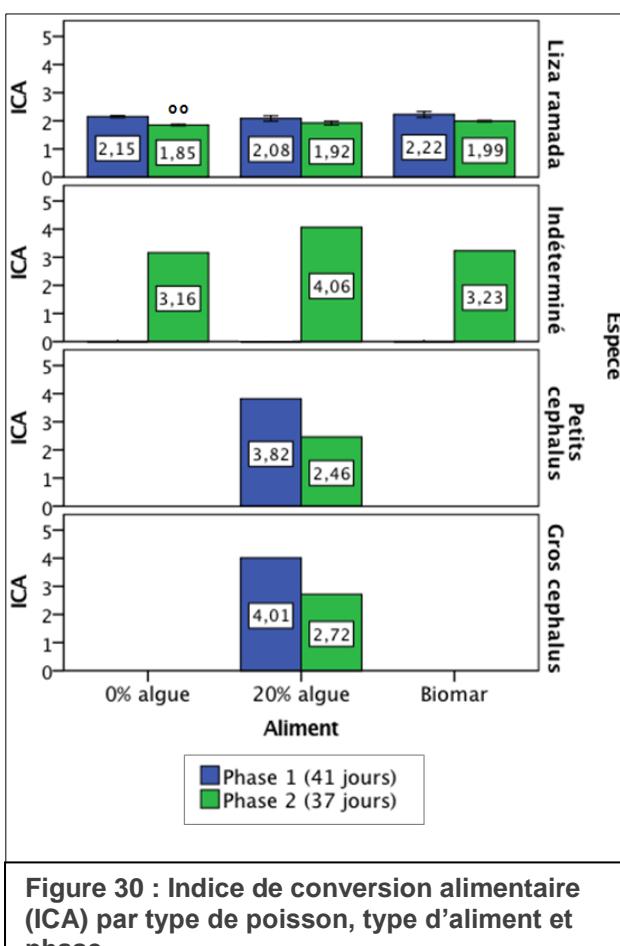


Figure 30 : Indice de conversion alimentaire (ICA) par type de poisson, type d'aliment et phase.

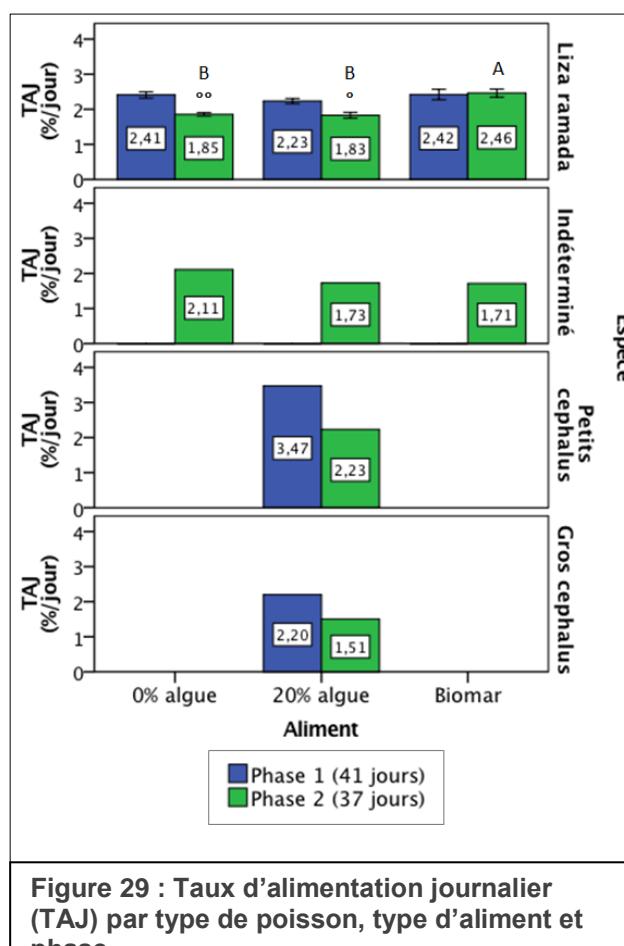


Figure 29 : Taux d'alimentation journalier (TAJ) par type de poisson, type d'aliment et phase.

Note : Différences significatives pour *Liza ramada* :

- Entre les 2 phases pour chaque type d'aliment : ° ($P < 0,05$), °° ($P < 0,01$), test T,
- Entre les 3 types d'aliments, par espèce et par phase, indiquées par des lettres différentes : A, B ($P < 0,05$), test de Duncan.

4.3.4.3. Propreté des bacs

Les bacs des muges étaient propres : rien ne reste au fond des bacs, ni aliment ni fèces. **Outre la densité de poissons assez élevée de même que le taux de recirculation d'eau, et l'effet « autonettoyant » associé, les muges semblent nettoyer leur bac en consommant les particules qui s'y déposent et en « léchant » les parois.** Ainsi, les parois des bacs restent relativement propres après plusieurs semaines ; ce n'était pas du tout le cas avec des daurades lors d'un précédent test d'alimentation. La propreté est même exceptionnelle avec l'espèce *Mugil cephalus* par rapport à *Liza ramada* ; avec *M. cephalus*, les parois sont comme neuves, il n'y a pas de film gluant dessus.

4.3.5. Qualité de l'eau

La qualité d'eau a été correcte ; les valeurs moyennes étaient bonnes pour les différents paramètres notamment N-NH₃ (< 1,0 mg/L), O₂ (> 80% saturation), pH (> 7,0) et CO₂ (< 10 mg/L) (Tableau 8). La

qualité d'eau a été rarement et légèrement dégradée pour N-NH₃ (1,76 mg/L max.) et O₂ (59% saturation min.), mais cela a été ponctuel et les muges le supportent très bien. L'apport d'eau neuve était en moyenne de ≈ 3%/h. Nous avons modulé ce débit en fonction principalement de la température, pour la maintenir élevée en essayant cependant de ne pas dépasser 30°C. La température de l'eau neuve étant assez froide (6-12°C la plupart du temps), nous limitions donc son apport ; nous l'augmentions si besoin notamment vis-à-vis de NH₃ et du pH.

En 2^{ème} phase, la culture d'algue a permis à la fois de réduire l'apport d'eau neuve et ainsi de gagner en température (+3,6°C en moyenne). Par ailleurs, la teneur en NH₃ était sensiblement plus basse du fait de la bonne bioremédiation algale.

En fin de 2^{ème} phase, la biomasse totale dans le circuit fermé était de 19,7 kg, soit ≈ 7,5 kg/m³ du volume total du circuit (2620 L). La quantité totale d'aliment distribuée était alors de 400 g/jour. La plus forte densité a été atteinte dans un bac de *Liza ramada*, équivalente à 27,2 kg/m³ (1,66 kg dans un bac de 60 L). En moyenne, les densités finales étaient de 23,4 kg/m³ pour les *L. ramada*, 6,7 kg/m³ pour les muges d'espèces indéterminées et de 15,1 et 13,3 kg/m³ pour les petits et les gros *Mugil cephalus*, respectivement. Ces densités sont modérées en comparaison d'un circuit fermé de production en prégrossissement de daurade qui peut atteindre 40 kg/m³.

Tableau 8. : Qualité de l'eau durant le test d'alimentation (valeurs moyennes).

Paramètre	Phase 1	Phase 2	Phases 1 et 2
Température (°C)	23,0	*** 26,6	24,6
pH	7,45	7,50	7,47
O ₂ (% saturation)	131	** 135	133
CO ₂ (mg/L)	-	2,42	-
N-(NH ₃ + NH ₄) (mg/L)	0,69	*** 0,17	0,57
N-NO ₂ (mg/L)	0,23	0,04	0,19
N-NO ₃ (mg/L)	1,04	1,73	0,63
N totale (mg/L)	2,00	1,81	1,98
P-PO ₄ (mg/L)	0,65	0,56	0,63

Différences significatives entre les 2 phases : ** (P < 0,01), *** (P < 0,001), test T.

4.4. Discussion des résultats

4.4.1. Les 2 phases du test

La modification des conditions d'élevage en 2^{ème} phase a été bénéfique. Outre le fait de clarifier les résultats pour *Liza ramada* par rapport à la 1^{ère} phase, le fait d'élever à part les poissons d'espèces indéterminées a montré que ceux-ci sont nettement moins performants tant au niveau de la croissance que de l'efficacité alimentaire. **Ces poissons indéterminés, *Liza aurata* et/ou *L. saliens*, ont donc un potentiel aquacole qui semble nettement moins intéressant que celui de *L. ramada*.**

Pour les *L. ramada* spécifiquement, la 2^{ème} phase a été bénéfique surtout avec l'aliment Biomar® : le maintien du taux de nourrissage a permis un léger gain de croissance. En revanche, pour les 2 aliments expérimentaux (0% et 20% algues), le taux de nourrissage a diminué ce qui a réduit la croissance, mais tout ceci assez faiblement. L'augmentation de la température en 2^{ème} phase ne semble donc pas avoir eu un effet bénéfique tangible avec ces deux aliments expérimentaux pour *L. ramada*. Le maintien du taux de nourrissage avec l'aliment Biomar® est certainement lié au reconditionnement des granulés : leur taille plus petite semblait bien convenir aux poissons.

Quant aux *Mugil cephalus*, l'efficacité alimentaire a été bien meilleure en 2^{ème} phase pour les petits et les gros poissons. Peut-être ont-ils eu besoin de temps pour s'adapter aux conditions d'élevage, à moins que la température plus élevée en 2^{ème} phase leur ait été bénéfique. La croissance des petits *M. cephalus* a également été bien plus rapide en 2^{ème} phase. La croissance des gros *M. cephalus* a été plus lente en 1^{ère} et 2^{ème} phase que celle des petits poissons ; cela est normal pour la croissance spécifique car celle-ci diminue naturellement avec l'âge des poissons ; la croissance exprimée en gain moyen quotidien (g/poisson/jour) est bien meilleure ; il est aussi possible que les bacs aient été un peu petit pour les grands *M. cephalus*. En 2^{ème} phase, l'ICA des *M. cephalus*, bien qu'ayant diminué, reste plus élevé que celui des *L. ramada* ; néanmoins, le résultat obtenu sur un seul bac de petits *M. cephalus* ne permet pas d'être catégorique sur le potentiel aquacole relatif des deux espèces.

4.4.2. Taux de nourrissage et croissance

L'efficacité alimentaire (ICA) est à peu près la même pour les 3 types d'aliment. En revanche, la croissance étant ici très liée au taux de nourrissage, et l'aliment Biomar® étant le plus consommé, celui-ci est associé à la meilleure croissance, d'environ un tiers de plus pour ces deux paramètres par rapports aux aliments 0% et 20% algues. L'écart de consommation peut être lié à l'appétence ; l'aliment Biomar® contient certainement plus de produits animaux que nos granulés expérimentaux (5% farine de poissons seulement) qui sont très appétant. Une autre raison pourrait être la digestibilité possiblement meilleure de l'aliment Biomar® ; la digestion pourrait donc être meilleure et les poissons consommeraient davantage notamment lors du 2^{ème} repas de la journée, ce qui reste à démontrer.

L'incorporation de 20% de farine d'algue dans le granulé en remplacement de la même quantité de tourteau de soja ne modifie pas les performances des poissons. La croissance est exactement la même et les différences de taux de nourrissage et d'efficacité alimentaire (ICA) sont minimes et pas significatives. La substitution soja – algue est donc potentiellement intéressante.

4.4.3. Farine d'algue et gluten de blé

Du fait que la farine d'algue utilisée est moins riche en protéines que le tourteau de soja, pour garder la même composition proximale du granulé 20% algue, la substitution s'accompagne d'une modification des proportions de deux autres sources de protéines (\uparrow gluten de blé et \downarrow farine de lupin). Ainsi, la moitié du tourteau de soja est remplacé par la farine d'algue mais seulement 32,2% des protéines de soja sont remplacées par des protéines d'algues, compensé par 16,2% de protéines de gluten de blé supplémentaires. Les résultats obtenus sont donc issus de la combinaison de la farine d'algue et du gluten de blé.

Cette combinaison peut sembler meilleure que le tourteau de soja seul au niveau de la « durabilité » de la production au regard du cycle de vie des produits. La farine d'algue semble assez « durable » car elle est issue d'une culture qui recycle les protéines « perdues » par un élevage de poissons. Le gluten de blé peut être quant à lui être issu d'une culture durable et locale (France ou Europe), alors que le tourteau de soja soulève des questions relatives à son mode de culture et son importation. Il reste à toutefois à déterminer l'impact du process de la fabrication du gluten de blé.

4.4.4. Estimation du prix des aliments

Pour les matières premières, le prix des granulés tels que nous les avons fabriqués était de 1,93 €/kg pour l'aliment 0% algue²⁸. Le prix de l'aliment 20% algue était de 2,03 €/kg, auquel il faut ajouter le prix de la farine d'algue. Une estimation est proposée en considérant les prix de gros (qui sont à confirmer)²⁹ : le prix des granulés est de 0,59 €/kg pour l'aliment 0% algue et de 0,60 €/kg (+ farine d'algue) pour l'aliment 20% algues (Tableau 9). A titre de comparaison, le granulé Biomar® utilisé a été acheté à 1,30 €/kg (incluant les matières premières et les autres coûts de fabrication).

Au prix des matières premières, il faut ajouter celui de la confection des granulés en incluant la main d'œuvre et l'amortissement du matériel. Pour information, le petit extrudeur qui a été utilisé au CIRAD (30-40 kg/h) coûte ≈ 3000 €. La confection telle que nous l'avons réalisée, nécessitait le travail d'une personne pendant 2 jours pour environ 20 kg d'aliment, incluant le broyage de certains ingrédients, les mélanges, l'extrusion, le séchage, le tamisage des granulés et la maintenance du matériel. La confection à plus grande échelle serait évidemment différente.

Le prix de la farine d'algue reste à déterminer. Actuellement, la farine d'algue utilisée, à savoir l'ulve *Ulva rigida* cultivée en lagune à la FMD, est vendue à plus de 10€/kg. Elle est destinée à l'industrie cosmétique (extraction des ulvanes) et à l'alimentation humaine (algue fraîche). Ce prix est évidemment inabordable pour l'alimentation des poissons. Nous pouvons néanmoins penser qu'il pourrait diminuer si la production d'algues se développe beaucoup.

Cependant, sans compter le prix de la farine d'algue, le prix du granulé 20% algue est déjà quasiment au même prix que celui du granulé 0% algue. Ceci vient de la teneur plus élevée en gluten de blé dans l'aliment 20% algue et du fait que cette matière première est plus cher que le tourteau de soja ; au prix de gros, le prix de la protéine est de 1,84 €/kg et 0,68 €/kg, respectivement. En pratique, la réduction de 20% du tourteau de soja s'accompagne d'une réduction par kilo d'aliment de 0,63 €/kg du tourteau de soja mais aussi d'une augmentation de 0,81 €/kg du total gluten de blé et farine de lupin.

Dans les conditions testées, l'intérêt économique de la substitution du tourteau de soja par la farine d'algue comme source de protéines est donc incertain. Tout comme la substitution du maïs par le pain rassis comme source d'amidon : le prix de l'amidon est en effet de 0,23 €/kg et 0,65 €/kg, respectivement.

Tableau 9 : Estimation du prix des matières premières des aliments (prix de gros).

Matière première	Composition (%) ^a			Prix/100 kg granulé (€)	
	0% farine algue	20% farine algue	Prix/kg (€) ^b	0% farine algue	20% farine algue
Farine d'algue	-	20,15	?	-	?
Tourteau de soja	40,24	20,19	0,31	12,47	6,26
Farine de maïs	15,18	14,58	0,15	2,28	2,19
Farine de pain	12,60	10,98	0,38	4,79	4,17
Farine de poisson	4,80	4,82	1,23	5,90	5,93
Gluten de blé	1,20	8,20	1,47	1,76	12,03
Huile de poisson	1,64	1,64	1,80	2,95	2,95
Levure de bière	1,96	1,97	1,05	2,06	2,07
Farine de lupin	16,57	11,15	0,41	6,71	4,52
Huile de soja	3,00	3,50	0,71	2,13	2,49
Prémix	1,85	1,86	6,60	12,21	12,24
CaPO ₄	0,96	0,97	5,57	5,34	5,37
			Total	58,60	60,21 + farine algue

^a En % de matière totale (humidité inclue),

²⁸ Matières premières achetées auprès de www.roulettesbouillettes.com (destiné aux appâts de pêche), à l'exception du prémix (Aquatechna) et de l'huile de soja.

²⁹ Le devis d'un fournisseur de matière première est attendu.



^b Prix de gros d'après plusieurs sources ; ils méritent d'être confirmés.

4.5. Synthèse



«A retenir»

TEST DU REMPLACEMENT DU TOURTEAU DE SOJA PAR DE LA FARINE D'ULVE (*Ulva rigida*) DANS UN ALIMENT POUR MUGE (*Liza ramada*) SUR LE PRINCIPE D'UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Tester la substitution du tourteau de soja par la farine de macroalgue ulve (*Ulva rigida*) comme source de protéine en phase de prégrossissement.



EXPÉRIMENTATION

Circuit fermé avec biofiltre sur le site de la Vise à Balaruc-les-Bains.

Muges juvéniles capturés dans canaux et étangs entre Palavas-les-Flots et Mèze (espèces prélevées (âge approx. : 1 an) : *Liza ramada*, *Mugil cephalus*, *Liza aurata* et/ou *Liza saliens*).

2 tests de 5 et 6 semaines, avec entre ces tests : séparation des muges d'espèces indéterminées, augmentation de la température de l'eau (23 à 28 °C) et reconditionnement de l'aliment contrôlé.

FARINE D'ALGUES issue d'une ulve cultivée en lagunes dans le rejet d'une écloserie/nurserie de poissons marins.

2 ALIMENTS expérimentaux
(substitution du soja par l'algue)
0%
20%
+Contrôle BioMar®

RÉSULTATS

PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

- Le taux de croissance, la croissance relative, l'indice de consommation alimentaire et le taux d'alimentation journalier sont proches entre les 2 aliments expérimentaux.
- Plus les poissons mangent, mieux ils grandissent. L'aliment contrôle étant le plus consommé, la croissance est la plus élevée.
- Parmi les 4 espèces observées, *Liza ramada* avec l'aliment à 20% d'algue a eu la meilleure croissance durant le test 1.

ANALYSE DE CARCASSE

- En poids frais, les poissons ont gagné en protéines pour les 3 aliments.
- Les lipides et la valeur énergétique ont augmenté pour les 2 aliments expérimentaux (mais pas pour le contrôle).
- Engrassement des poissons en fin d'élevage modéré.

DISCUSSION

FREINS

- A l'issu de l'expérience : Connaissances approximatives des performances de *Liza ramada* à cause des différents changements entre les 2 tests.
- L'écart de consommation entre les aliments peut être lié à l'appétence du granulé.
- La digestibilité est possiblement meilleure pour l'aliment commercial Biomar®.

PISTES D'AMÉLIORATION

- Optimiser le prix de l'aliment.
- Tester une autre farine d'algue.
- Tester un gradient de protéines dans l'aliment.
- Améliorer le protocole de test d'alimentation (granulométrie de l'aliment, fibres, extrusion, ...).

PRIX DE L'ALIMENT

0% = 58,60€/100kg
20% = 60,21€/100kg
BioMar® = 130€/100kg



CONCLUSION

L'incorporation de 20% de farine d'ulve pour remplacer le tourteau de soja en tant que source de protéine ne semble pas modifier les performances zootechniques du muge.

La substitution soja-algue chez le muge est donc intéressante à valoriser.

5. DU TEST PAIN AU TEST ALGUE : EVOLUTIONS

5.1. Structures expérimentales

Le test d'alimentation algue est assez similaire au précédent réalisé dans le cadre du « projet muges » (Cacot, 2019). Ce dernier avait été effectué en 2017 au Lycée de la Mer à Sète et il concernait la substitution de la farine de maïs par la farine de pain rassis (Tableau 10).

Les mêmes bacs de 60 L ont été utilisés et placés dans un circuit fermé dans les deux cas. L'agencement de ce circuit a cependant évolué. En 2017, 16 bacs étaient placés au « bain marie » dans 2 grands bacs ; cela a ainsi évité la construction d'une structure de support et du réseau d'évacuation d'eau. En 2019, 20 bacs étaient placés de manière conventionnelle sur un support et avec un réseau d'eau spécifique. Cette nouvelle structure est plus pratique, avec notamment un accès facilité à chaque bac.

La filtration physique était assurée par un filtre à sable en 2017 et par un filtre à tambour en 2019. Ce dernier est plus pratique car il se nettoie de manière autonome alors que le filtre à sable requérait une intervention pour chaque « backwash ».

En 2017, la filtration biologie (conversion NH₃ en NO₃) était assurée d'abord par un lit bactérien dans une cuve remplie de gravier, puis nous avons substitué progressivement ce filtre par une culture d'algues (absorption du NH₃ et du CO₂). En 2019, la culture d'algue a été utilisée directement comme unique biofiltre car nous étions sûrs de son bon fonctionnement testé au préalable. La culture d'algues en 2017 était faite avec l'ulve *Ulva rigida* placée dans un bassin de 4 m² et éclairée par 4 lampes HPS (600 w/m²).

Outre la structure expérimentale, le fait d'avoir installé celle-ci chez LPDS a apporté des avantages logistiques car le dispositif était installé sur un site de production opérationnel en permanence. En particulier, la disponibilité d'O₂ gazeux qui, diffusé en permanence dans les bacs a permis de maintenir une oxygénation pratiquement 2 fois meilleure que lors du 1^{er} test. Enfin, l'accès au site était permanent chez LPDS ce qui a facilité l'organisation du travail au niveau des horaires quotidiens et des astreintes les week-ends.

Tableau 10 : Principales caractéristiques des deux tests d'alimentation réalisés avec *Liza ramada* en prégrossissement.

	1^{er} test : farine de pain (2017)	2^{ème} test : farine d'algue (2019)
Objectif	Substitution de la farine de maïs comme source d'amidon	Substitution du tourteau de soja comme source de protéines
Aliments expérimentaux	0-33-67-100% de substitution	0-20% de substitution
Nombre d'ingrédients	6 ou 7	11 ou 12
Aliment industriel	Le Gouessant pour tilapia, 32% protéines 8% lipides MT	Biomar pour tilapia, 37% protéines 9% lipides MT
Protéines / lipides moy.		
Aliments expé. (% MS)	31,8 / 6,6	34,3 / 10,5
Aliment indus. (% MS)	34,4 / 8,6	40,2 / 10
Durée (jours)	23	37
Température (°C)	27,2	26,6
Oxygène dissous (%)*	77	135
Nb Répliquats	3	4
Nb poissons par bac	35	17
Marquage des poissons	Non	Oui
Poids moyen initial (g)	42,2	53,8
Résultats moyens :		
Aliment industriel		
TCS (%/jour)	1,21	1,31
ICA	1,91	1,99
TAJ (%/jour)	2,26	2,46

CEP**	1,64	1,39
Aliments expérimentaux		
0% substitution		
TCS (%/jour)	1,13	1,03
ICA	2,62	1,85
TAJ (%/jour)	2,93	1,85
CEP	1,13	1,81
Substitution max		
TCS (%/jour)	0,94	1,03
ICA	3,04	1,92
TAJ (%/jour)	2,82	1,83
CEP	0,93	1,61

MT : matière totale (humidité inclue),

MS : matière sèche,

* en % de saturation.

** CEP : Coefficient d'efficacité protéique $\frac{\text{Gain de biomasse des poissons}}{\text{Quantité de protéines apportées par l'aliment}}$

5.2. Protocoles

Le nombre de poissons était assez limité lors du 2^{ème} test et de ce fait nous n'avons pu tester que 2 niveaux d'incorporation de la farine d'algue. Les poissons étaient plus nombreux lors du 1^{er} test (et nous utilisions aussi moins de bacs par type d'aliment) et nous avons donc pu tester 4 niveaux d'incorporation de la farine de pain rassis. En revanche, lors du 2^{ème} test, les poissons ont été marqués individuellement, ce qui a permis d'obtenir des résultats bien plus précis sur la croissance (relation avec le poids initial par exemple).

Les aliments du 2^{ème} test étaient plus riches au niveau protéines (+5,8% matière sèche) et lipides (+1,4%). Cela était lié à la composition de l'aliment de référence utilisé, plus riche lors que lors du 1^{er} test ; le précédent aliment industriel était indisponible. Par ailleurs, 2 fois plus de types de matières premières différentes ont été utilisées lors du 2^{ème} test pour la préparation des granulés. Nous nous sommes inspirés de formules industrielles qui panachent les sources de protéines végétales en particulier, ici 3 sources en plus du tourteau de soja pour le 2^{ème} test contre le seul tourteau de soja pour le 1^{er} test.

Enfin, l'extrusion des granulés a été mieux faite lors du 2^{ème} test grâce à un changement apporté à la machine (nouvelle vis d'extrusion et filière de sortie) : les matières premières ont été vraisemblablement mieux cuites et les granulés étaient plus cohésifs.

5.3. Résultats

Les résultats obtenus sont assez proches entre les 2 tests avec l'aliment industriel. Le 2^{ème} test est légèrement meilleur au niveau du taux de croissance spécifique (TCS, +8,2%) mais il est légèrement moins bon que le 1^{er} test pour l'indice de conversion alimentaire (ICA, -4%) et surtout pour le coefficient d'efficacité protéique (CEP, -15,2%). L'aliment industriel plus riche du 2^{ème} test n'a donc pas eu un effet franchement bénéfique. Cette observation renforce l'hypothèse que la teneur en protéine de 40% est trop élevée pour *Liza ramada* (aux tailles égales ou supérieures de poissons utilisés) ; la teneur optimale pourrait donc être proche de 30%.

Au niveau des aliments expérimentaux testés, les TCS sont proches entre les deux tests. En revanche, l'ICA a été nettement amélioré lors du 2^{ème} test tant pour l'aliment 0% substitution (-29,4%) que pour l'aliment de substitution maximale (-36,8%). Les ICA obtenus lors du 2^{ème} test sont inférieurs à 2,0 et ils sont donc satisfaisants ; il s'agit là de notre principale progression au niveau des résultats du 1^{er} au 2^{ème} test.

6. VALORISATION ET SENSIBILISATION

6.1. Matériel et méthode

En parallèle des travaux d'expérimentation scientifique, le projet a suivi un objectif de sensibilisation de l'ensemble des acteurs rencontrés via des actions de communication, d'information, de formation et de prévention, sous la coordination du CPIE Bassin de Thau et avec notamment l'implication de Kimiyo membre du CPIE BT.

6.1.1. Projet d'Initiative Communication

Un travail pédagogique a été réalisé avec un groupe d'élèves de BTS-Aquacole dans le cadre de leur Projet d'Initiative Communication (PIC). Ce projet a été mené sur l'année scolaire **2016-2017**. Ils ont mené, accompagnés du corps enseignant du lycée et de l'équipe du CPIE, un projet de communication et de sensibilisation de lutte contre le gaspillage alimentaire.

- Réalisation de deux phases d'enquête auprès des personnes utilisant le restaurant collectif du lycée. Le questionnaire a été réalisé par les étudiants, et ils ont interrogé leurs collègues lors de l'attente devant le restaurant collectif aux heures du repas. Environ une trentaine de personnes ont été interrogées pour chaque phase d'entretien.
- Affichage d'une exposition, réalisée par le Graine LR. Les élèves ont coordonné le choix de l'exposition, le contact avec le Graine pour la location et la mise en place au lycée. Les panneaux ont été exposés durant 4 jours au lycée.
- Création d'affiches pour diffusion dans le lycée.



Figure 32 : Affiche réalisée par les élèves.



Figure 31 : Exposition anti-gaspi affichée au Lycée de la mer.

Le CPIE BT a accompagné les élèves dans la mise en place de leur action, le choix des outils de communication et la coordination des groupes de travail (répartition des tâches, mise en place d'un planning...).

6.1.2. Support vidéo

Vidéo de la Fondation Agrica

Réalisée par la Fondation Agrica, en 2018

Le projet a en effet lauréat national en 2018. L'objectif de cette vidéo était de disposer d'un outil communiquant autour du projet pour les acteurs. De très belles prises de vues ont été effectuées par drone et donnent un très beau rendu.

Source: <https://vimeo.com/328591152>

Vidéo de l'ADEME

Commandé par l'ADEME, cette vidéo a pour objectif d'expliquer ce qu'est le concept d'Économie circulaire en se basant sur la démarche du programme la Graine & le Muge.

Sur cette vidéo, les différentes étapes du programme sont mises en lien avec la démarche globale d'économie circulaire.

À la suite du tournage, deux vidéos de durée différentes ont été réalisées permettant ainsi de rentrer plus ou moins dans les détails du concept d'économie circulaire dont une longue (environ 8 minutes) diffusée par le réseau CPIE Bassin de Thau.

Source : <https://vimeo.com/363497350>

6.1.3. Supports pédagogiques

Plusieurs supports pédagogiques ont été créés pour outiller les animateurs dans leur séquence d'animation tout public mais aussi pour diffuser de l'information aux consommateurs. Ces différents supports sont venus habiller les nombreux stands de sensibilisation qui ont été proposés tout au long du projet sur différents évènementiels. Par leur côté interactif, ces outils ont permis un réel échange avec les consommateurs.

6.1.3.1. Livret

Ce livret est l'outil de référence de présentation du projet et du contexte dans lequel il s'insère. Il est adressé au public qui fréquente les évènements du CPIE bassin de Thau et sur lesquels nous communiquons sur le projet. Il répond à 4 objectifs :

- Présenter le programme la graine le muge
- Présenter un diagnostic sur l'état de la pêche et la pisciculture
- Présenter le protocole de recherche et les premiers résultats
- Valoriser les espèces Mulets en montrant l'intérêt culinaire

Il a été diffusé à plus de 2000 exemplaires papier et a bénéficié d'une large diffusion numérique.

Il est téléchargeable sur le site du CPIE bassin de Thau.

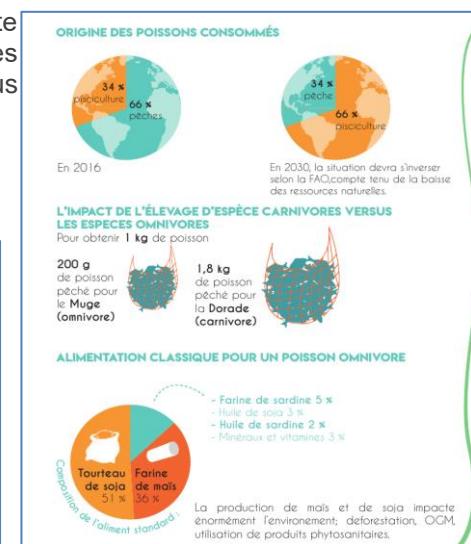
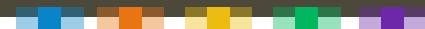


Figure 33 : Livret et exemple d'une page située à l'intérieur.



6.1.3.2. Jeux de simulation

Après avoir pêché les muges juvéniles, les éleveurs doivent faire passer de 8 à 25 cm leur muge. Pour cela, deux protocoles sont possibles, soit de manière traditionnelle en donnant du soja et du maïs induisant un impact écologique important ou de manière écologique en les nourrissant avec du pain et des algues.

Le jeu est un support à la discussion illustrant les différentes étapes du programme. Il a été conçu spécialement pour le projet par les éducateurs environnement du CPIE.



Figure 34 : Photographie des jeux de simulation.

6.1.3.3. Posters de présentation

Quatre posters ont été conçus présentant :

- Le muge, les différentes espèces, la répartition, son alimentation et la pêche.
- Une photographie de la pisciculture au niveau mondial, la demande en poisson en France ainsi que la quantité de pain gaspillé en France par an.
- Présentation du protocole expérimental de l'aliment pain ainsi que l'expérimentation avec l'aliment algue.
- Valorisation du muge avec des idées de recettes et la présentation de différentes manières de le cuisiner.



Figure 35 : Photographie des quatre posters.

6.1.3.4. Ecorché de muge

Pour se rendre compte de la taille du poisson et du fait qu'il n'y ait pas d'arêtes dans le filet, nous avons présenté un écorché du muge. Le public peut ainsi manipuler les différentes parties du poisson.



Figure 36 : Photographie de l'écorché de muge.

6.1.4. Communication, visibilité du projet

Le CPIE bassin de Thau a présenté et valorisé le projet lors de différentes rencontres régionales et colloques thématiques permettant de mobiliser autour de cette initiative. L'ensemble des évènements auxquels il a participé figure en 6.2.2.

Le projet a bénéficié d'une couverture presse :

- Publication d'un article dédié dans le Baie du Graine Languedoc Roussillon dédié à l'économie circulaire³⁰ et diffusion papier de 1000 exemplaires ;
- Nombreux articles dans la presse locale : Midi Libre, Gazette de Sète, Thau Info et National (Sans transition, Le Marin) ;
- Présentation du projet sur le site de l'ADEME FICHE OPTIGEDE ;
- Présentation du projet sur le site du réseau national Economie circulaire³¹ ;
- Présentation régulière dans la newsletter du réseau CPIE Bassin de Thau 15 000 abonnés ;
- De nombreux articles dans presse locale et régionale ;
- Le projet fait partie des expériences citées dans l'avis du CESER Occitanie sur l'aquaculture ;
- Présentation lors de la remise des prix nationaux du Groupe Agrica
- Le projet fait partie des initiatives retenues pour être présentée dans la future plateforme régionale Occitanie sur l'économie circulaire.

³⁰ Consultable en ligne http://grainelr.org/sites/default/files/baie_109_0.pdf

³¹ <https://www.economiecirculaire.org/data/exports/pdf/pisciculture-durable-et-lutte-contre-le-gaspillage-alimentaire.pdf>

6.2. Bilan de la sensibilisation

6.2.1. Retombée du « projet d'initiatives-communication »

Tableau 11 : Bilan du nombre de personnes sensibilisées et de documents réalisés.

Type de personnes	Nombre
Élèves impliqués	4
Corps enseignant	3
Personnes questionnée	70
Personnes touchées par l'exposition	350
Type de documents réalisés	Nombre
Affiches de communication	3
Carnet de bord (rapport)	1

Analyse des résultats des enquêtes :

Les élèves peuvent conclure positivement sur cette phase de sensibilisation, qui a permis d'améliorer la connaissance des usagers vis-à-vis des démarches que le lycée a déjà mises en place pour lutter contre le gaspillage alimentaire.

L'analyse des résultats leur permet de voir que les personnes interrogées adoptent de bonnes pratiques, chez eux, contre le gaspillage alimentaire et qu'elles ne manquent pas d'idées pour développer les démarches au lycée.

Donner les restes aux animaux, ce qui fait écho au projet d'alimentation du mullet à base de pain ;

Adapter les quantités dans les assiettes en fonction de l'appétit de chacun ;

Mettre en place un système de compostage ;

Installer une poubelle donnant la valeur monétaire du gaspillage.

Cette enquête a aussi permis de montrer l'intérêt pour la question du gaspillage alimentaire, tant pour le personnel de la cantine, que pour ses usagers.



6.2.2. Valorisation

Le projet a été présenté lors de nombreuses journées thématiques sur l'ensemble de la région. La présence sur ces journées permet une valorisation du projet auprès d'un public varié.

Un tableau en Annexe 15 récapitule les évènements où le projet a été valorisé.

Il est détaillé dans ce paragraphe deux exemples type de notre travail de valorisation dans le cadre de ce projet.

Fête des arts et du muge

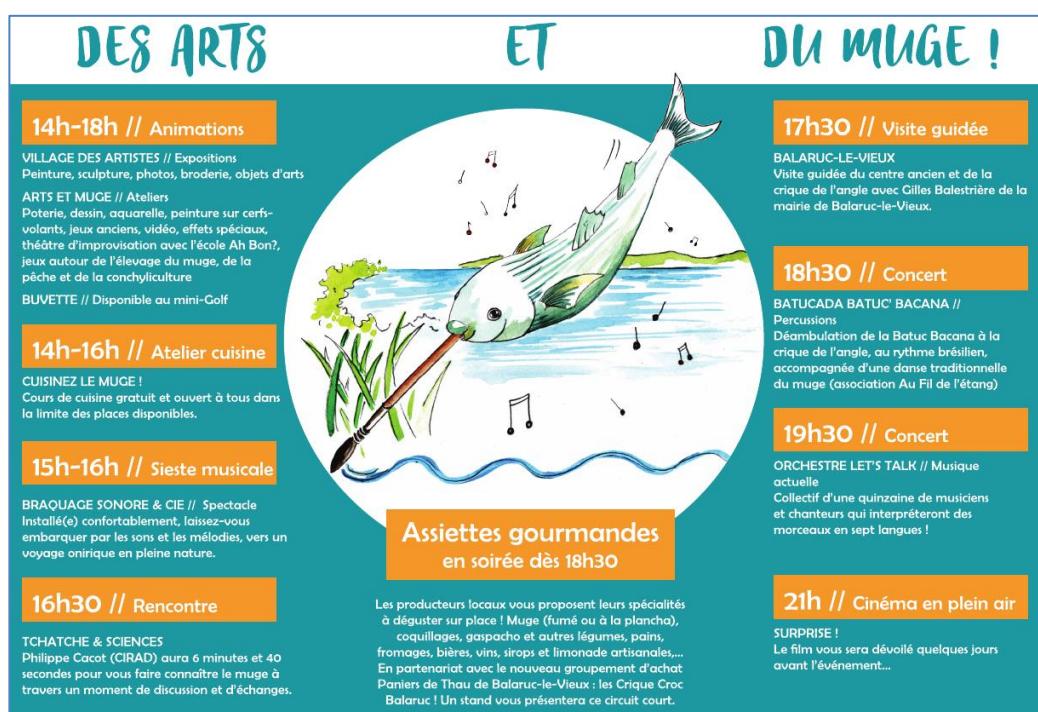


Figure 37 : Affiche de l'organisation de la Fête des arts et du muge.

En septembre 2019, le projet a été au centre d'un évènement sur le territoire initié par le CPIE Bassin de Thau, en partenariat avec la mairie de Balaruc le Vieux ; la fête des arts et du muge. Tout au long de la journée a été proposé au public : des stands d'artistes (peintures, sculpture) avec l'implication de jeunes et autour de la thématique des espèces locales. Le CPIE a proposé des stands de sensibilisation autour du projet avec un atelier dessin pour les plus jeunes, la présentation du projet à travers les postes, et les outils présentés, une conférence de Philippe Cacot, un cours de cuisine. Et en soirée des dégustations d'assiettes gourmandes à partir du muge.

Le CPIE BT, avec Kimiyo, a coordonné toute l'organisation de l'évènement, le lien aux partenaires, la logistique et réalisé les outils de communication. Cet évènement fut un véritable succès, et nous avons été sollicité pour reconduire l'opération.

Près de **12 000** bénéficiaires directs et indirects touchés par les différentes actions de présentation et valorisation du projet.

Ateliers scénario – Dispositif Tiers Veilleurs

En octobre 2019, un atelier scénario a été proposé à l'ensemble des acteurs potentiellement intéressé par le projet sur le bassin de Thau et au-delà. Durant une journée, l'association Sciences Citoyennes a animé des séances d'ateliers sur le sujet des Espèces locales et transition écologie en Occitanie.

Cet atelier a permis de réunir différents acteurs, professionnels de la filière piscicole, chercheurs, pouvoirs publics et associations – sur le thème de la valorisation des espèces piscicoles locales pour la transition écologique. L'objectif principale était d'échanger sur les perspectives à donner aux travaux entamés sur l'espèce muge, avec l'ensemble des acteurs intéressés.

Une synthèse des productions et une synthèse de l'enquête proposée aux participants suite à cette journée figure dans les paragraphes suivants.



Figure 38 : Photographie d'un atelier scénario.

Le projet a été présenté sur de nombreux évènements (voir annexe).



6.3. Synthèse

«A retenir»

«LA GRAINE ET LE MUGE» : VALORISATION ET SENSIBILISATION, ANALYSE DU MARCHÉ AQUACOLE ET PERSPECTIVES.

VALORISATION

1

Nombreux articles
dans la presse locale :
Midi Libre, Gazette ...

3



4



LIENS AUX FILIÈRES, ENQUÊTES RESTAURATEURS ET A.C.V

• Enquête auprès d'entreprises de la filière

- Identifier leur positionnement sur le développement de la filière sur des espèces peu valorisées comme le muge;
- Identifier leur positionnement sur l'incorporation de micro algues en tant que substitut d'ingrédients non durables.
- **Le projet européen Diversify** comparaisons sur l'aspect nutrition et perspectives sur les aspects expérimentaux et socio-économiques;
- **Enquête auprès de restaurateurs** pour dresser un état des lieux de leur offre en produits de la mer sur le territoire héraultais;
- **Analyse du Cycle de Vie (ACV) de l'aliment** : comparaison des bilans environnementaux de 4 rations alimentaires en se basant sur la méthodologie de l'ACV.

Principaux résultats de l'ACV

- Les impacts baissent lorsque les quantités de pain et d'algues augmentent dans l'aliment;
- Un aliment à 20% d'algues est moins impactant que l'aliment de référence : diminution de l'utilisation de l'énergie de 30% ; et de 40% pour les 6 autres indicateurs.

PERSPECTIVES FUTURES

- **Organiser un plaidoyer** pour une aquaculture durable valorisant les espèces piscicoles locales;
- **Poursuivre la recherche scientifique** sur des points cruciaux identifiés comme frein à la mise en place d'une filière aquacole sur le muge;
- **Explorer le niveau de maturité technologique du projet**;
- **Développer des outils de sensibilisation** sur l'aquaculture durable et les espèces piscicoles locales.

Servez-vous ou avez-vous déjà servi du muge dans votre restaurant ?



ACV - 7 indicateurs



7. LIEN AUX FILIERES ET « ANALYSES DU MARCHE »

7.1. Enquête auprès d'entreprises

Plusieurs acteurs industriels ont été rencontrés. L'objectif était de comprendre leur positionnement vis-à-vis de ce projet et des perspectives de travail vis-à-vis :

- Du développement d'une filière sur des espèces peu valorisées comme le muge. ;
- De l'incorporation de micro algues en substitution d'ingrédient non durables.

Tableau 12 : Entreprises rencontrées durant le projet.

Entreprises	Description	Positionnement	Intérêt
Groupe barba	Importateur et transformateur de produits de la mer avec une spécialisation sur trois espèces ; thon, espadon et céphalopodes.	Filière muge	moyen
Groupe Aqualis	Importateurs en produits de la mer surgelés	Filière muge	Fort
Sel et fumé	Petite entreprise de fumage de poisson	Filière muge	Fort
Fumoir d'Occ.	Petite entreprise de fumage de poisson	Filière muge	Fort
Inalve	Production d'algue à destination de l'alimentation animale	Micro algues	Fort
Greensea	Production d'algues et transformation en ingrédients innovants	Microalgues	Fort

Le groupe Barba a trouvé la démarche intéressante. Cependant, aujourd'hui, leur approvisionnement ne se fait plus en Méditerranée faute de ressources halieutiques suffisantes. Le muge espèce autrefois commercialisée par le groupe Barba n'est donc plus une espèce ciblée. En revanche, l'intérêt est bien réel de la part de ce groupe dans l'éventualité de la structuration d'une filière aquacole sur le muge. Cette filière devrait toutefois répondre à des besoins et attentes qui sont complexes car ces produits doivent être calibrés, durables, abordables avec de gros volumes. L'aquaculture serait mieux à même de répondre à ces exigences.

7.2. Le projet Diversify

7.2.1. Présentation

Le projet européen Diversify a pour objectif d'explorer le potentiel biologique et socio-économique de nouvelles espèces dans une optique d'expansion de l'aquaculture européenne. Ces espèces ont été choisies car elles ont un potentiel de croissance rapide, peuvent être commercialisées à grande échelle et peuvent être transformées en une variété de produits. Le résultat est une plus grande diversité de poissons et de nouveaux produits à forte valeur ajouté proposés aux consommateurs.

- Le maigre (*Argyrosomus regius*) ;
- La sériole couronnée (*Seriola dumerillii*) ;
- Le cernier (*Polyprion americanus*) ;
- Le flétan de l'Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*) ;



- Le mulet cabot (*Mugil cephalus*) ;
- Le sandre (*Sander lucioperca*).

Plusieurs contacts ont été pris avec la coordination générale du programme européen. Ces contacts ont permis de recevoir des publications et des points d'étapes sur les travaux liés à l'espèce *Mugil cephalus*. Les auteurs justifient le choix de cette espèce dans le cadre de ce projet de recherche sur les critères suivants :

Espèce euryhaline, elle a un potentiel de croissance rapide, herbivore et peut être élevée à travers un large spectre de température et de milieux sur le bassin méditerranéen. Il est cité comme un excellent candidat pour l'amélioration de l'aquaculture en étangs artificiels, lagunes côtières et salins désertés qui existent dans les pays européens du pourtour méditerranéens.

Un marché est bien établi en Méditerranée. Il est considéré que même sans effort de l'industrie aquacole, le marché européen augmentera dans les prochaines années en raison de l'immigration de nombreuses familles originaires d'Afrique du Nord, du moyen orient et d'Asie dont les habitudes alimentaires se concentrent notamment sur le muge.

Ce projet de recherche est parti du même constat que nous avons pu faire face aux problématiques de l'élevage du muge :

- Il s'agit d'une aquaculture basée sur la capture d'alevins sauvages ;
- Le contrôle du cycle de reproduction n'est pas maîtrisé et donc nécessite à l'heure actuelle de puiser dans les stocks naturels ;
- Il est nécessaire d'améliorer la qualité des œufs via la gestion des géniteurs et l'alimentation ;
- Il est aussi nécessaire de réduire l'utilisation de farine de poisson dans l'alimentation aquacole.

7.2.2. Lien avec notre projet - Comparaisons sur l'aspect nutrition

Au cours de notre projet, les poissons juvéniles ont été nourris dès leur capture en phase de pré grossissement avec un granulé fabriqué soit à base de pains rassis soit à base d'une combinaison de pain rassis et d'algues). Le projet Diversify préconise, quant à lui, de nourrir les muges avec du zooplancton (rotifères et artémies) durant la phase larvaire et la phase de pré-grossissement. Cette méthode est en lien avec le fait que les mulets au cours de leur vie passent d'un régime de type carnivore à un régime de type omnivore.

Toujours en lien avec l'alimentation des muges, il a été remarqué que cette espèce avait besoin au cours des phases larvaires et juvéniles d'acides gras poly insaturés de type DHA (oméga 3 essentiel) pour optimiser leur croissance. Pour cela, ils ont enrichi le zooplancton en DHA. Les algues sont riches en EPA (acide eicosapentaénoïque, acide gras polyinsaturé oméga 3) et DHA (plus ou moins selon l'espèce considéré). Il serait donc intéressant de savoir si la farine d'algue utilisé durant la seconde phase du projet contient ces éléments et si oui, à quelle concentration.

On ne sait pas vraiment si les poissons omnivores comme le muge ont la possibilité de synthétiser de la taurine. Or, celle-ci a un rôle dans les défenses anti-oxydatives, l'osmorégulation cellulaire et contribue au bon fonctionnement neurologiques et musculaires des poissons. Pour garantir une bonne santé du muge, le projet Diversify a également testé de compléter le zooplancton avec de la taurine. Les résultats montrent un effet significatif positif de cet enrichissement sur les croissances larvaires et juvéniles.

Une fois le pré grossissement terminé, l'objectif du projet Diversify était de tester la possibilité de sevrer les muges en passant d'une alimentation avec proies vivantes à des granulés riches en farines végétales (gluten de maïs, gluten de blé et concentré de protéines de soja). Ils ont montré qu'il était possible de substituer jusqu'à 75% de la farine de poisson avec ce mélange de farines végétales. Les fonctionnalités intestinales, la santé et l'intégrité des muges ont été préservés.

En comparaison, notre expérience a montré que le tourteau de soja peut être substitué jusqu'à 20% par de la farine d'algues, du gluten de blé et de la farine de lupin sans affecter les performances zootecniques.

On peut donc se demander s'il serait possible d'aller plus loin dans le pourcentage de substitution par la farine d'algues comme a pu le faire Diversify avec le mélange de farine de plantes.

Il s'agit de pistes très intéressantes pour notre projet de pisciculture durable et des études potentielles à mener par la suite.

7.2.3. Perspectives pour notre projet en lien avec Diversify

Pour continuer dans une logique d'économie circulaire, les prochaines recherches devront se tourner, comme a pu le faire Diversify, vers le cycle de reproduction en captivité des muges pour éviter de puiser dans les stocks.

Cependant, élever des poissons en captivité peut perturber les fonctions reproductrices, mâles et femelles ne peuvent plus pondre. Diversify a donc montré qu'il était possible de réaliser des traitements hormonaux pour induire une synchronisation entre la maturation sexuelle des poissons et leur période de ponte. Le traitement serait optimal notamment chez les femelles en administrant du métoclopramide (antagoniste de la dopamine qui joue sur la transmission des messages nerveux) et de la FSH (hormone folliculo-stimulante qui agit sur les ovaires).

Les difficultés liées à reproduction peuvent être non seulement résolues par une induction hormonale mais aussi par des changements de conditions environnementales. On peut donc donner une alimentation spécifique aux géniteurs avec le souhait que les descendants imitent la composition corporelle des géniteurs. Les chercheurs ont remarqué que la composition des gonades en acides gras différait entre un mullet sauvage et un mullet géniteur notamment au niveau des EPA (pour les deux sexes) et les DHA (pour les mâles). Les mulets géniteurs ont des gonades plus riches en acides gras. Ils ont également remarqué que l'huile de poisson avait un meilleur impact sur la production d'œufs par les géniteurs que l'huile végétale (ici le soja).

Ces expériences et résultats sur la reproduction et la génétique des muges représentent donc un réel exemple à suivre et montre la multitude des études à notre échelle pour approfondir le projet pisciculture durable.

7.2.4. Aspects socio-économiques – Liens aux filières

Le projet Diversify s'est focalisé sur une étude de marché au niveau de 5 pays européens : la France, l'Italie, l'Espagne, l'Allemagne et l'Angleterre. Celle-ci a montré que le mullet était peu connu en tant que produit de l'Aquaculture ou en tant que produit de la pêche sur le marché.

Ils ont pu recueillir des informations auprès des potentiels consommateurs de muges. Ces derniers sont prêts à en acheter sous les conditions suivantes :

- Le produit doit être cultivé de manière durable ;
- Le produit doit être disponible en tant que produit frais (Europe du Sud) et en tant que produit congelé (en particulier en Allemagne) ;
- Le produit doit être facile à préparer et / ou prêt à manger ;
- Le produit doit avoir un prix compétitif.

7.3. Enquête auprès des restaurateurs

7.3.1. Première campagne d'enquête

Une rencontre entre le CPIE, Kimiyo et la Chambre de Commerce et d'Industrie a permis de connaître la démarche de valorisation de la filière « Economie bleue sur le territoire ». Plusieurs axes y sont développés notamment la mise en avant d'une identité commune des produits et une valorisation dans la presse et les réseaux sociaux.

Un rapprochement auprès des restaurateurs a permis de faire connaître la démarche et l'espèce. L'objectif était de dresser un état des lieux de leur offre de produits de la mer provenant du territoire. Un questionnaire a été envoyé à tous les restaurateurs de l'Hérault pour connaître leurs habitudes sur le sujet et les freins identifiés. 50 restaurateurs ont répondu. Les résultats ne sont pas communicable. Un sondage direct auprès de restaurants ciblés a permis d'assurer un certain nombre de réponses à nos questions. Certains restaurants du territoire servant du muge ont été ciblés.

Ensuite nous avons élargi notre panel en ciblant quelques restaurants de Montpellier ainsi qu'aux alentours de Saint Guilhem le Désert lieu touristique à fort potentiel pour faire connaître le muge.

7.3.2. Seconde campagne d'enquête

Une seconde campagne d'enquête a permis de se mettre en relation avec dix restaurateurs. Dix restaurants à Montpellier et ses alentours (Saint-Guilhem-le-Désert, Frontignan, Sète, Balaruc-les-Bains, Mèze et Bouzigues) ont été ciblés pour répondre à un questionnaire sous forme d'entretiens téléphoniques. Ces restaurants sont situés sur des lieux touristiques à forts potentiels pour faire connaître la démarche du projet et l'espèce. L'objectif du questionnaire était de dresser un état des lieux de leur offre en produits de la mer provenant du territoire. Celui-ci nous a notamment permis de connaître leurs habitudes sur le sujet (utilisation du poisson, de leur approvisionnement...) et d'identifier les freins de la commercialisation du muge.

Tableau 13 : Questionnaire type - entretien restaurateurs.

Questionnaire proposé aux restaurateurs	
Est- ce que vous servez du poisson ?	Oui/Non
	Carte / ou menu / ou les deux
	Fréquence au menu
	Provenance
	Type de poisson
	Servez-vous ou avez déjà servi du muge ?
Où vous fournissez vous ?	
Avez-vous déjà réfléchi à vous fournir en poissons locaux ?	
Quels sont pour vous les freins ?	
Souhaitez-vous en savoir plus sur le muge ?	

Les remarques soulevées par le projet Diversify relatives au freins exprimés par les consommateurs quant à l'achat de muge sont assez similaires à celles que nous avons pu recueillir auprès des restaurateurs du territoire.

En effet, à l'issu des entretiens téléphoniques avec ces différents restaurants, des tendances en sont ressorties. **On s'aperçoit que l'ensemble des restaurants ciblés sert du poisson et ce, tous les jours de l'année. Cependant, parmi ces poissons servis, le muge reste très minoritaire.**

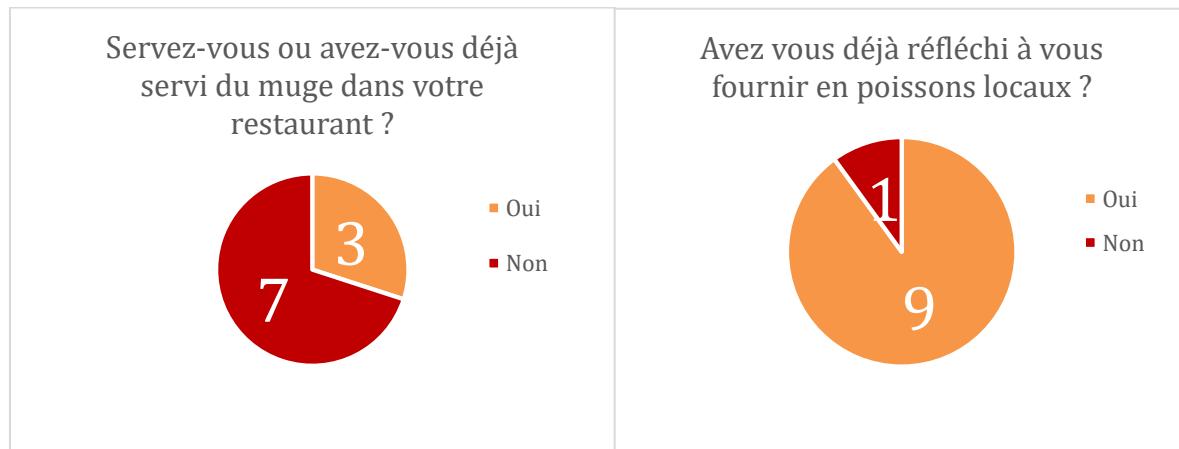


Figure 39 : Graphiques présentant les réponses concernant la consommation du muge par les restaurateurs et leur approvisionnement en poissons locaux.

Même si quasiment l'ensemble des restaurateurs interrogés ont déjà réfléchi à servir des poissons locaux, ils ont tous émis des réticences et des freins, notamment sur le muge.

En comparaison au projet Diversify d'ampleur européenne, notre questionnaire a mis en avant une difficulté supplémentaire qui peut être liée au contexte local et aux acteurs commerciaux qui s'y trouvent. **Il s'agit de la difficulté d'approvisionnement en poissons locaux** (en lien avec la localisation des points de ventes, les dates et horaires de livraison ou encore de la difficulté à se fournir en grande quantité).

De plus, certains restaurateurs ont soulevé des craintes quant à la vision que peut avoir le client sur les plats à base de muge : « c'est un poisson plein d'arêtes » ou encore « c'est un poisson sale qui vit dans le port ».

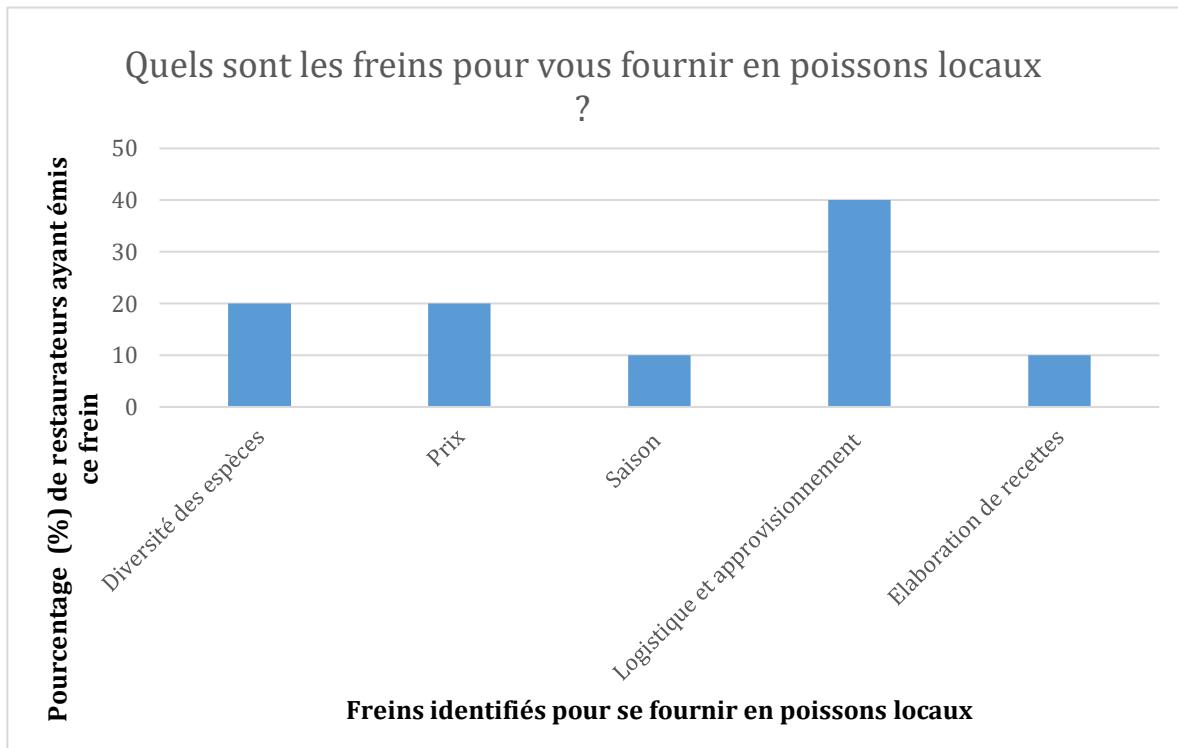


Figure 40 : Freins identifiés par les restaurateurs pour se fournir en poissons locaux.

Un des freins identifié est la manière de cuisiner le muge (élaboration de recettes). Il serait donc intéressant de proposer les recettes conçues lors du projet aux restaurateurs afin qu'ils se les approprient. Il serait intéressant de travailler avec ces restaurateurs sous forme d'ateliers/workshop pour stimuler l'émergence de recettes. **Et ce, d'autant plus que la plupart des restaurateurs souhaitaient en savoir davantage sur le muge à la fin de l'entretien.**

Les recettes proposées sont les suivantes :

- Muge en marinade sans cuisson,
- Muge au citron confit,
- Muge en panure,
- Muge au four,
- En tartare,
- Muge d'été,
- Nature cuisson sous vide,
- Muge farci.

7.4. Atelier scenario

7.4.1. Conclusions principales des ateliers

De nombreux acteurs ont répondu présent à cet atelier bien que la météo cette semaine-là ai poussé certaines structures à annuler (*alerte orange sur le territoire – épisode cévenole*).

Tableau 14 : Liste des participants à l'atelier scénario

Prénom	Nom	Structure
Adeline	Rumpler	CIE Bassin de Thau
Florian	Martel	CPIE Bassin de Thau
Aude	Lapprand	Sciences Citoyennes
Glen	Millot	Sciences Citoyennes
Béatrice	Pary	Syndicat Mixte du Bassin de Thau
Benjamin	Geffroy	Ifremer
Benoit	Bufflier	Les Poissons du Soleil
Philippe	Cacot	CIRAD – UMR ISEM
Meriem	Chagour	CIRAD - Université de Badji Mokhtar - Annaba, Algérie
Benoit	Thierry	Région Occitanie
Danielle	Lestang	Agence Adocc 'agence de développement économique accompagne l'ensemble des entreprises de la région Occitanie
Daniel	Guiral	France Nature Environnement
Eric	Causse	Entreprise Greensea
Fabrice	Jean	Prud'homie de l'étang de Thau
François	Bonhomme	Université de Montpellier ISEM CNRS
Jean-Louis	Charriaux	Lycée de la mer Paul Bousquet
Loïc	Quelen	Cépralmar
John	Bandelier	Kimiyo
Olivier	Mikolasek	CIRAD – représentant APDRA pisciculture paysanne
Sylvie	Blangy	CEFE CNRS
Thomas	Miard	Entreprise aquacole Les 4 marais
Karine	Wawrinow	Sète Agglopôle Méditerranée

Au cours de ces ateliers, trois perspectives de travail sont ressorties. Elles se distinguent en trois volets principaux :

- Volet plaidoyer :

Les acteurs ont tous manifesté leur volonté de pérenniser un collectif d'acteurs autour de ce thème pour prendre en charge un travail de lobbying auprès des institutionnelles. Plusieurs interrogations sont ressorties de ce travail et notamment sur la structure la plus pertinente en charge de porter ce plaidoyer. Le parlement de la mer est la structure qui peut se saisir de cette question-là. Le Cépralmar est aussi clairement identifié comme acteur incontournable sur ce projet. Ce volet de plaidoyer souligne la nécessité de structurer, légitimer et d'étoffer le consortium.

- Volet expérimentation :

Il manque aujourd'hui des résultats tangibles pour faire perdurer le projet car le consortium est certain de sa faisabilité technique. Le groupe d'acteur s'est questionné sur le rôle du parlement de la mer qui pourrait par exemple prendre en charge des études prospectives sur ce sujet. Le CPIE pourrait en tant que membre du parlement de la mer questionner cette instance pour qu'elle se saisisse de ce sujet. Il s'agirait ici d'un volet expérimentation dont l'objectif serait de poursuivre celle qui font l'objet de ce rapport.

- Volet analyse de commercialisation, marketing.

Le niveau de maturité technologique (TRL) de l'expérimentation en cours n'est pas connu, il serait nécessaire de situer le projet dans l'échelle TRL et d'intégrer des données économiques dans l'analyse générale.

7.4.2. Résultats issues du questionnaire

A la suite de ces ateliers, un questionnaire a été envoyé à l'ensemble des participants. 9 personnes ont répondu à l'entièreté du questionnaire.

Le questionnaire comportait 4 grands items :

- Bilan de l'atelier scénario
- Perspectives pour le projet pisciculture durable : cet item recueille les points de vue vis-à-vis de l'importance que revêt l'aquaculture en région Occitanie ; la valorisation d'espèces piscicoles locales etc...
- Collectif d'acteurs : cet item recueille les points de vue vis-à-vis de la structuration du collectif d'acteurs ; la volonté de chaque participant à s'impliquer dans la démarche etc...
- Expérimentation : cet item recueille les points de vue vis-à-vis des recherches à poursuivre.

Une synthèse des résultats est proposé ici. Elle se focalise notamment sur la place que prend l'aquaculture en Occitanie ; la valorisation des espèces locales ; les axes de recherche prioritaire à poursuivre.

Perspective sur le projet pisciculture durable.

- La totalité des participants ayant répondu au questionnaire pense que l'aquaculture est un axe stratégique prioritaire pour la transition écologique en Occitanie (9/9 réponses « oui »).
- La moitié des participants ayant répondu au questionnaire pense que la valorisation des espèces aquacoles locales est un axe stratégique prioritaire de développement en région Occitanie pour l'aquaculture (4/8 réponses « oui »)
- La presque totalité des participants ayant répondu au questionnaire pense que la valorisation des espèces aquacoles locales est-elle un axe stratégique prioritaire de développement en région Occitanie pour la pêche professionnelle (8/9 réponses « oui »)

Expérimentation :

Les 4 axes de recherches principaux identifiés et hiérarchisés comme les plus importants pour la suite de ce projet figurent ci-dessous. Ils ont fait l'objet d'une note de 1 à 10, 1 étant le moins prioritaire et 10 le plus prioritaire.

- Maîtrise de la reproduction de l'espèce muge ;
- Maîtrise du stade larvaire ;
- Analyse comparative des sources alternatives en protéines (algues, insectes...) ;
- Analyse de marché ;
- Maîtrise du maintien de stocks des géniteurs ;
- Approvisionnement en juvénile issu du milieu naturel.

Les deux premiers axes de recherche « Maîtrise de la reproduction de l'espèce muge » et « Maîtrise du stade larvaire » sont très fortement plébiscités dans la notation (note de 10 pour 5/9 participants).

7.5. Analyse de cycle de vie de l'aliment algue

Le CPIE a commandé en décembre 2019 une étude sur l'analyse du cycle de vie des aliments formulés dans le cadre du présent rapport (expérimentation pain et expérimentation algue).

Le rapport complet est consultable sous la référence : Esnouf A., INRAE Transfert (2020), Comparaison de bilans environnementaux simplifiés de rations alimentaires pour la pisciculture.

7.5.1. Contexte

Le CPIE BT a confié à INRAe Transfert la réalisation de la comparaison des bilans environnementaux de quatre rations alimentaires en se basant sur la méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Le but de ce chiffrage, multicritères et multi-étapes, est d'étudier la pertinence environnementale de la réduction de maïs et de soja présent dans les rations de référence par rapport à des rations innovantes où le recyclage de déchets est favorisé (pain et nutriments issus d'eaux usées). L'étude vise à prendre en compte l'ensemble des fonctions rendues par les scénarios de rations innovantes : production des rations, gestion des déchets de pain, gestion des eaux usées de la

pisciculture. Prendre en compte l'ensemble de ces fonctions permet de réaliser des comparaisons de scénarios équivalents en termes de fonctions et de services rendus

Quatre rations alimentaires ont été étudiés à travers le développement de quatre scénario :

- Le scénario 1 ou de référence est associé à une ration classique composée de farine de maïs pour l'apport en glucide et de tourteau de soja pour l'apport en protéine.
- Le scénario 4 est le scénario dont la formulation est la plus innovante avec une forte teneur en déchets de pain et d'algue.

Les scénarios 1 et 4 sont issus du livret édité par le Bassin de Thau (Bassin de Thau, n.d.) Les scénarios 2 et 3 sont des scénarios intermédiaires en terme d'introduction des déchets de pain et d'algue qui font références aux aliments utilisés dans l'expérimentation algue du présent rapport.

Les rations alimentaires sont détaillées dans le tableau 15.

Tableau 15 : Description des scénarios étudiés (* ingrédients non pris en compte dans l'ACV par manque de données).

kg MS	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Ration	Ration 1 : référence	Ration 2 : pain et maïs	Ration 3 : pain et maïs ; algue et soja	Ration 4 : majoritairement pain et algue
<i>Ulte cultivée</i>	0	0	0,20	0,38
<i>Tourteaux de soja</i>	0,51	0,40	0,20	0,13
<i>Farine de maïs</i>	0,36	0,15	0,14	0,02
<i>Déchets de pain</i>	0	0,13	0,11	0,34
<i>Farine de sardine *</i>	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>Gluten de blé</i>	0	0,01	0,08	0
<i>Huile de sardine *</i>	0,02	0,02	0,02	0,02
<i>Levure de bière *</i>	0	0,02	0,02	0
<i>Farine de lupin</i>	0	0,16	0,11	0
<i>Huile de soja</i>	0,03	0,03	0,04	0,03
<i>Prémix (Aquatechna)</i>	0,02	0,02	0,02	0,02
<i>CaPO₄</i>	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>Déchets de pain géré en méthanisation</i>	0,34	0,21	0,23	0
<i>Nitrate et Phosphate émis vers l'environnement</i>	$\Theta_{\text{emis},\text{NO}_3^-} = 0,0435$ $\Theta_{\text{emis},\text{PO}_4^{3-}} = 0,0032$	$\Theta_{\text{emis},\text{NO}_3^-} = 0,0435$ $\Theta_{\text{emis},\text{PO}_4^{3-}} = 0,0032$	$\Theta_{\text{emis},\text{NO}_3^-} = 0,0207$ $\Theta_{\text{emis},\text{PO}_4^{3-}} = 0,0015$	$\Theta_{\text{emis},\text{NO}_3^-} = 0$ $\Theta_{\text{emis},\text{PO}_4^{3-}} = 0$
<i>Nitrate et Phosphate absorbés par les algues cultivées</i>	$\Theta_{\text{abs},\text{NO}_3^-} = 0$ $\Theta_{\text{abs},\text{PO}_4^{3-}} = 0$	$\Theta_{\text{abs},\text{NO}_3^-} = 0$ $\Theta_{\text{abs},\text{PO}_4^{3-}} = 0$	$\Theta_{\text{abs},\text{NO}_3^-} = 0,0228$ $\Theta_{\text{abs},\text{PO}_4^{3-}} = 0,0017$	$\Theta_{\text{abs},\text{NO}_3^-} = 0,0435$ $\Theta_{\text{abs},\text{PO}_4^{3-}} = 0,0032$

7.5.2. Méthode

Afin de quantifier les impacts environnementaux des rations alimentaires, l'approche ACV attributionnelle a été retenue. L'ACV attributionnelle est une méthodologie standardisée par les normes ISO 14040 et ISO 14044. Elle permet d'évaluer l'impact environnemental d'un produit ou d'un service, depuis l'extraction de ses matières premières jusqu'à sa fin de vie ou sa réutilisation (analyse multi-étapes dite du « berceau à la tombe »). Tous les flux (énergie, matériaux, émissions vers l'environnement) entrant et sortant de chaque étape sont recensés. Cette analyse traduit ensuite les flux de substances et d'énergie recensés sur un panel d'indicateurs d'impact comme, par exemple, le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, l'eutrophisation des eaux, la consommation des matières premières et l'utilisation de l'eau et du sol (analyse multicritère).

7.5.3. Résultats

Les résultats présentés dans ce paragraphe présentent :

- Les résultats des indicateurs d'impacts environnementaux pour les quatre scénarios.
- Les contributions de chaque étape du cycle de vie des rations alimentaires et sur chaque indicateur pour le scénario 3 (aliment 20% algues). L'analyse de ces contributions permet de tracer quelles sont les étapes qui engendrent le plus d'impact sur chaque indicateur.

L'ensemble des résultats est consultable dans le rapport complet citée précédemment.

7.5.3.1 Comparaison des résultats d'indicateur des quatre scénarios

Pour la quasi-totalité des impacts, une diminution des impacts est observée lorsque les quantités de pain et d'algue augmentent dans la ration.

- Le **scénario 4** obtient les résultats d'impacts de **55% à 90%** plus faible que pour le scénario 1.
- Le **scénario 3** est le scénario qui est actuellement le plus étudié au sein du projet. Il obtient de bons résultats avec une **diminution de l'utilisation d'énergie de 30%** par rapport au scénario de référence et des **diminution d'impact de 40% pour tous les autres indicateurs**. Pour ce scénario, seule l'occupation des sols ne montre pas de différence avec le scénario de référence.

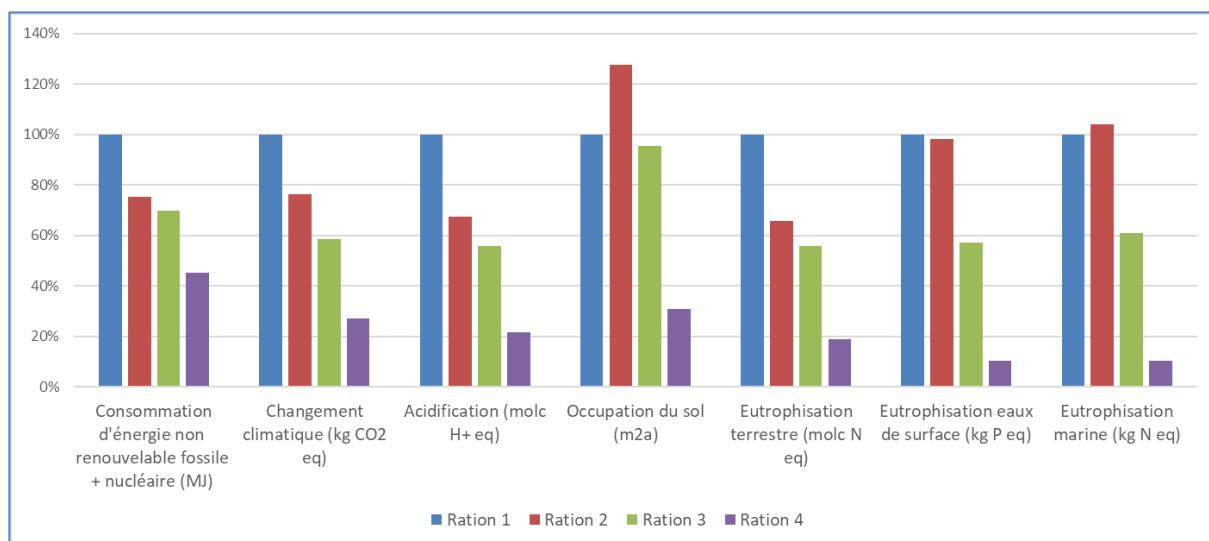


Figure 41 : Résultats d'impacts environnementaux des différents scénarios.

Afin de déterminer les étapes influençant l'évolution des résultats d'impact, les contributions des étapes sont étudiées dans les sections suivantes. Le Tableau 16 propose un résumé des étapes qui influencent ces évolutions en prenant les rations deux à deux suivant l'ordre de diminution des quantités de soja et de maïs utilisées.

Tableau 16 : Principaux postes influençant les comparaisons de résultats des scénarios pris deux à deux.

	Production maïs			Production soja			Production d'algue			Méthanisation pain			Production lupin			Traitement eaux usées		
	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4	Ration 1 & 2	Ration 2 & 3	Ration 3 & 4
Consommation d'énergie	-	-	-	-	-	-		+	+									
Changement climatique	-	-	-	-	-	-				-		-						
Acidification	-	-	-	-	-	-												
Occupation du sol			-		-	-							+		-			
Eutrophisation terrestre	-	-	-										-	+	-		-	-
Eutrophisation eaux de surface	-												-	+	-		-	-
Eutrophisation marine													+		-		-	-

NB : « - » étape liée à une réduction d'impact ; « + » étape liée à une augmentation d'impact.

Les diminutions de l'utilisation de **maïs** et de **soja** influencent fortement la comparaison des bilans environnementaux. A part sur l'eutrophisation marine, les variations des résultats de tous les indicateurs sont associées à la diminution de l'utilisation de ces matières premières.

Le transfert du **flux de pain** depuis la méthanisation vers la valorisation en alimentation pour poisson est l'un des facteurs qui permet de diminuer les impacts sur le changement climatique et l'eutrophisation des eaux de surface.

L'augmentation de l'impact entre les rations 1 et 2 pour les indicateurs d'occupation du sol et d'eutrophisation des eaux marines est fortement liée à l'introduction du **lupin** dans la ration. Le lupin est aussi lié aux résultats identiques obtenus pour ces deux rations sur l'indicateur d'eutrophisation des eaux des surfaces.

L'indicateur de consommation d'énergie montre la plus faible réduction d'impact. Ce fait est lié à l'augmentation de la part d'**algue** dans la ration. La culture consomme en effet de l'électricité, notamment pour la filtration de l'eau.

Finalement, l'introduction progressive des **algues** en ration 3 et 4 permet de diminuer très fortement les impacts sur l'eutrophisation des eaux de surface et l'eutrophisation marine.

D'après ces résultats d'ACV initiale, l'introduction progressive de déchets de pain et d'algue semble avoir de nombreux bénéfices sur l'ensemble des indicateurs environnementaux.

7.5.3.2 Comparaison des résultats d'indicateur des quatre scénarios

La figure suivante permet de visualiser la contribution des étapes pour le scénario 3 en comparaison au scénario 1. Les contributions de chaque étape et sur chaque indicateur sont étudiées en pourcentage du résultat par indicateur. L'analyse des contributions permet de tracer quelles sont les étapes qui engendrent le plus d'impact sur chaque indicateur. Le résultat de la production de chaque ingrédient est agrégé dans une seule étape (tous les ingrédients du Prémix sont regroupés en un seul groupe). Excepté pour le transport des déchets de pain de Montpellier à Sète, toutes les étapes de transport en camion en métropole sont regroupées.

L'analyse des contributions du scénario 1 (Figure 42) montre :

- la prédominance des impacts de la production du soja (en orange) et du maïs (en jaune) sur la majorité des indicateurs ;
- les rejets directs d'azote et de phosphore dans le milieu (en marron) sont très contributeurs sur l'eutrophisation des eaux de surface et marine ;
- la contribution de près de 20% du transport en métropole (en gris) sur l'indicateur de consommation d'énergie ;
- la méthanisation des déchets de pain (en bleu foncé) contribue à hauteur de 10% du résultat sur le changement climatique.

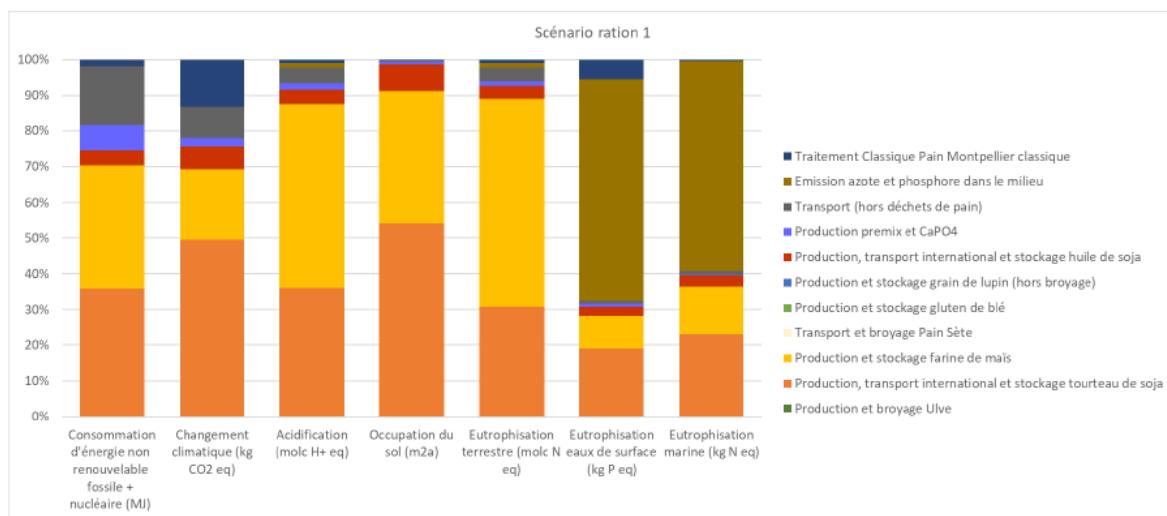


Figure 42. Analyse des contributions des grandes étapes du cycle de vie du scénario 3

L'analyse des contributions du scénario 3 (Figure 43) montre :

- une diminution de la contribution des impacts de la production du soja (orange) et du maïs (jaune) ;
- les rejets directs d'azote et de phosphore dans le milieu (marron) sont très contributeurs sur l'eutrophisation des eaux de surface et marine ;
- la contribution de plus de 20% du transport en métropole (gris) sur l'indicateur de consommation d'énergie (hors transport des déchets de pain) ;
- la contribution négligeable du transport et du broyage des déchets de pain (jaune claire) ;
- la forte contribution de la production du lupin (bleu clair) sur les indicateurs d'occupation du sol et d'eutrophisation des eaux de surface et marine.
- la contribution de la production des algues (en vert) notamment sur la consommation d'énergie ;
- la diminution des contributions des rejets directs d'azote et de phosphore (marron) grâce à la culture d'algue ;

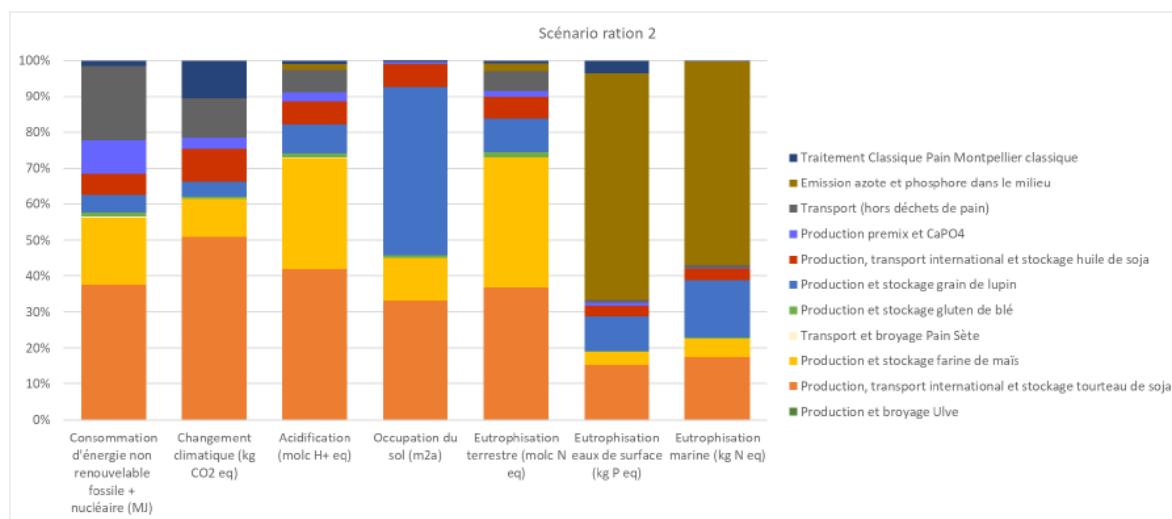


Figure 43. Analyse des contributions des grandes étapes du cycle de vie du scénario 3

7.5.4. Conclusions et perspectives

Au regard des hypothèses prises, la pertinence environnementale de la limitation de l'utilisation de soja et de maïs, en faveur de déchets de pain et d'algues issues du traitement d'eaux usées, est soutenue par cette étude préliminaire.

Pour le scénario 3, qui fait référence à l'aliment algue 20% (cf. 4.2.4), la réduction d'impact potentiel est de 30 à 55% suivant les indicateurs étudiés. La diminution de l'impact sur le changement climatique est de 40% par rapport au scénario de référence. Grâce à la culture d'ulve, le recyclage des nutriments (azote et phosphore) permet de diminuer de 40% les potentiels d'eutrophisation des milieux aquatiques. Seul l'indicateur d'occupation du sol ne montre pas de différence par rapport au scénario de référence. Ce résultat doit être approfondi à travers l'étude de l'impact de la culture du lupin.

La modélisation montre certaines limites :

- La culture d'algue a été modélisée par une culture en raceway. La représentativité de ce modèle par rapport au système de culture envisagé en lagune doit être améliorée (productivité, énergie consommée, système de filtration et de pompage...). Aussi, l'ensemble des étapes de récolte, de centrifugation et de séchage n'ont pas été intégrées au système actuel. Leurs contributions, en termes d'émissions et d'utilisation d'énergie seront à intégrer pour l'approfondissement de l'étude.
- La filière de référence de la gestion des déchets de pain a une contribution allant jusqu'à 15% de l'impact sur le changement climatique. Le modèle utilisé, à savoir un système de méthanisation issu de la base de données EcoInvent, semble cependant peu représentatif de la filière actuelle de Montpellier. Aussi, en concentrant la valorisation d'un gisement de déchets de pain autour du bassin de Thau et non de Montpellier, il faudra étudier la pertinence d'une filière méthanisation en tant que filière de référence.
- Certains ingrédients (huile et farine de poisson, levure de bière) sont absents de la base de données d'impact EcoAlim. Ces ingrédients devront être intégrés au bilan lors de prochaines analyses. Aussi, l'utilisation de la base EcoAlim montre des limites pour étudier les procédés avec des indicateurs environnementaux mis à jour.

- Pour cette étude, l'unité fonctionnelle considérée a été la production d'une ration d'1 kg de matière sèche. Une unité fonctionnelle prenant en compte l'indice de grossissement des poissons, la qualité nutritionnelle des rations ou la durée de l'élevage, serait plus représentative de la fonction alimentaire des rations. Avec un grossissement identique, la quantité nécessaire d'aliment peut en effet varier entre les différentes rations. Les analyses de grossissement sont actuellement en cours au sein du projet.
- L'étape de granulation des rations n'est pour l'instant pas prise en compte. Cette étape devrait avoir un résultat d'impact similaire entre les rations puisque la matière à granuler ne varie pas fortement avec l'unité fonctionnelle utilisée. Cependant, un changement d'unité fonctionnelle pourrait modifier cela.

Finalement, l'étude actuelle se restreint à l'analyse de la ration alimentaire. Elargir l'échelle et étudier le système au niveau de la ferme piscicole (rapportée à la quantité de poisson produit) pourrait être une perspective de travail. Cela permettrait d'analyser la contribution de la production des rations alimentaires, innovante et de référence, sur le système global.

8. PERSPECTIVES

L'ensemble des acteurs du consortium ainsi que ceux ayant participé de près ou de loin au projet s'accordent à dire que cette expérimentation est une assise suffisante pour porter le développement d'une filière aquacole locale de muge accompagnée d'une revalorisation de cette espèce auprès de la pêche en Occitanie.

Deux grands axes de travail se dégagent désormais :

1. Organiser un plaidoyer pour une aquaculture durable valorisant les espèces piscicoles locales :

- Essaimer les résultats de ce projet auprès des collectivités, Région, service de l'état, entreprises grossistes et de transformations de produits de la mer, entreprise d'aquaculture, secteur de la pêche...
- Saisine du CESER par une structure légitime accompagnée par le CPIE BT pour porter la voix de cette aquaculture en Région
- Développer le lien aux aquaculteurs pour connaître leur positionnement vis-à-vis de cette filière ;
- Développer les liens aux entreprises de transformations de produits de la mer pour proposer des opérations tests dans le commerce et faire émerger un besoin sur cette filière le cas échéant ;

2. Poursuivre la recherche scientifique sur des points cruciaux identifiés comme frein à la mise en place d'une filière aquacole sur le muge :

Les recherches effectuées dans le cadre du programme Européen Diversify sur *Mugil cephalus* sont une source d'informations précieuses. Des liens pourraient se créer entre les organismes de recherche ayant participé et le futur porteur de projet. Plusieurs axes prioritaires de travail se dégagent dont :

- Maîtrise de la reproduction ;
- Maîtrise du stade larvaire ;
- Enrichissement de l'aliment pour muge dans l'optique d'améliorer la croissance, les capacités anti-oxydatives, l'osmorégulation cellulaire et le bon fonctionnement neurologiques et musculaires des poissons (exemple DHA et EPA ; Taurine)

Issus des conclusions des deux phase d'expérimentations, plusieurs pistes de travail se dégagent notamment sur l'amélioration de l'aliment et la bio remédiation algale :

- Consolider le process de fabrication des aliments ;
- Consolider les expérimentations de production d'algues en circuit fermé pour :
 - Bioremédier les effluents issus de l'élevage ;
 - Produire de la farine d'algue de qualité égale à celle utilisée dans la présente expérimentation ;
 - Utiliser cette farine d'algue en substitution du tourteau de soja.
- Explorer les possibilités d'augmenter les proportions de pain et d'algues dans la composition des aliments.

9. CONCLUSIONS

Après 4 années de travail assidues et denses, nous finalisons ce projet innovant avec beaucoup de plaisir car nous avons pu démontrer plusieurs postulats de départ ;

- L'intérêt certain du muge comme espèce locale dont la consommation est à privilégier
- Nécessité de changer de paradigme sur la question de l'aquaculture à l'échelle du territoire national essentiellement et ce dans une logique de durabilité en allant vers des espèces omnivores notamment
- Force du collectif et notamment intérêt d'un projet avec un consortium d'acteurs tels que le nôtre permettant de mutualiser les compétences et les savoirs-faire
- Intérêt du grand public pour la question de l'économie circulaire et l'envie de favoriser les productions qui vont dans ce sens

Mais, nous avons aussi de nombreuses interrogations nouvelles à l'issue de ce travail et qui dépasse ici le réseau d'influence de notre association et nécessite un positionnement des politiques publiques ;

- Comment favoriser le développement de la consommation locale dans la petite, moyenne et grande distribution ?
- Comment aider à l'installation de structure aquacole innovante ?
- Quel est le potentiel du muge au regard de l'absence de maîtrise de sa reproduction à l'heure actuelle ?

Ainsi, il semble aujourd'hui nécessaire que ce projet donne lieu à de nouvelles expérimentations qui elles –même pourront venir nourrir le développement futur d'une filière.

- Le partenariat que nous avons tissé avec **l'université d'Annaba** tout au long du projet est une première réponse. En effet, Hichem Kara de l'université d'Annaba travaille sur cette espèce au sein d'un consortium de plusieurs pays du Maghreb, dont l'objectif est de maîtriser la reproduction de l'espèce. Il souhaite également lever un nouveau projet avec l'université de Montpellier (et potentiellement le CIRAD) sur la question de la différenciation génétique des performances en élevage.
- **Le projet Diversify** est également un autre projet majeur. Le travail mené au sein de ce dispositif et les liens créés entre les différents laboratoires de recherche permettent de mutualiser les informations et les connaissances. A ce stade, nous restons associés aux discussions en cours ;

Localement, la question principale est celle de la poursuite de l'animation de réseau autour de cette question. Des discussions ont eu lieu entre le CPIE BT et le Cepralmar qui souhaite développer un projet dans la suite de ces recherches pour lancer une filière locale d'élevage. Il s'agirait dans ce dispositif là que l'équipe du Cepralmar délègue une partie du projet au CPIE BT pour continuer un travail de sensibilisation et de communication pour asseoir l'image du produit.

Enfin, et c'est là tout l'enjeu également, il est essentiel que les pouvoirs publics se saisissent de cet enjeux régional qu'est la consommation des espèces locales pour soutenir le développement de structures économiques qui décideraient de se tourner vers des projets novateurs autour de l'économie circulaire (à travers des soutiens financiers notamment, et de l'accompagnement méthodologique).

10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abreu M.H., Pereira R., Yarish C., Buschmann A.H. & Sousa-Pinto I. (2011) IMTA with Gracilaria vermiculophylla: Productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system. *Aquaculture* **312**, 77-87.
- Afzalzadeh, A., Boorboor, A., Fazaeli, H., Kashan, N., & Ghandi, D. (2007). Effect of feeding bakery waste on sheep performance and the carcass fat quality. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6(4), 559-562.
- Allain E. (2016) Les filières pêche et aquaculture en France, *Les cahiers de FranceAgriMer*; unité Produits animaux, pêche et aquaculture. N° ISSN 2112-1850.
- Al-Ruqaie, I. M. (2007). Feed on Growth and Feed Utilization of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Saudi Arabia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(19), 3248-3253.
- Confédération Nationale de la boulangerie-pâtisserie française (2017) Économie – panorama du secteur. Disponible en ligne : <http://www.boulangerie.org/economie/economie-panorama-du-secteur>
- Baliao, D. D. (1984). Milkfish nursery pond and pen culture in the Indo-Pacific region. In *Advances in milkfish biology and culture: proceedings of the Second International Milkfish Aquaculture Conference, 4-8 October 1983, Iloilo City, Philippines* (pp. 97-106). Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Barman U.K., Jana S.N., Garg S.K., Bhatnagar A. & Arasu A.R.T. (2005) Effect of inland water salinity on growth, feed conversion efficiency and intestinal enzyme activity in growing grey mullet, *Mugil cephalus* (Linn.): Field and laboratory studies. *Aquaculture International* **13**, 241-256.
- Bauer C. & Schlott G. (2009) Fillet yield and fat content in common carp (*Cyprinus carpio*) produced in three Austrian carp farms with different culture methodologies. *Journal of Applied Ichthyology* **25**, 591-594.
- Ben-Ari T., Neori A., Ben-Ezra D., Shauli L., Odintsov V. & Shpigel M. (2014) Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. *Aquaculture* **434**, 493-498.
- Biswas G., De D., Thirunavukkarasu A.R., Natarajan M., Sundaray J.K., Kailasam M., Kumar P., Ghoshal T.K., Ponniah A.G. & Sarkar A. (2012) Effects of stocking density, feeding, fertilization and combined fertilization-feeding on the performances of striped grey mullet (*Mugil cephalus* L.) fingerlings in brackishwater pond rearing systems. *Aquaculture* **338-341**, 284-292.
- Cacot P. (2016) Exploitation des macroalgues dans les systèmes intégrés multi-trophiques. Journée du SFAM (Syndicat Français des Aquaculteurs Marins) 17/03/2016. Présentation orale.
- Cacot P., 2019. Recyclage alimentaire en aquaculture : Test du remplacement de la farine de maïs par de la farine de pain dans un aliment pour muge (*Liza ramada*). Rapport d'activité. CIRAD UMR ISEM. 48 p
- Cacot P., 2020. Contribution à la durabilité de l'aquaculture : Test du remplacement du tourteau de soja par de la farine d'ulve (*Ulva rigida*) dans un aliment pour les muges (*Liza ramada* et 2 autres espèces). Rapport d'activité. CIRAD UMR ISEM. 57 p
- Davies S.J., Brown M.T. & Camilleri M. (1997) Preliminary assessment of the seaweed *Porphyra purpurea* in artificial diets for thick-lipped grey mullet (*Chelon labrosus*). *Aquaculture* **152**, 249-258.
- DENG J.C., MATTHEWS R.F. & WATSON C.M. (1977) EFFECT OF CHEMICAL AND PHYSICAL TREATMENTS ON RANCIDITY DEVELOPMENT OF FROZEN MULLET (*Mugil cephalus*) FILLETS. *Journal of Food Science* **42**, 344-347.
- El-Shafey, A. A. M., Seliem, M. M. E., Awad, A. M., Yehia, M. M., & El-Sayed, E. E. (2011). Effect of industrial pollution of Ismailia Canal on some physiological parameters of *Oreochromis niloticus*. In *Proceedings of the 4th Global Fisheries and Aquaculture Research Conference, the Egyptian International Center for Agriculture, Giza, Egypt, 3-5 October 2011* (pp. 403-414). Massive Conferences and Trade Fairs.

El-Sayed A.-F.M. (1991) Protein requirements for optimum growth of *Liza ramada* fry (Mugilidae) at different water salinities. *Aquat. Living Resour.* **4**, 117-123.

Esnouf A., INRAE Transfert (2020), Comparaison de bilans environnementaux simplifiés de rations alimentaires pour la pisciculture.

Fakunmoju, F. A. (2014). Bread waste as a Dietary Supplement for Maize in the Practical Diets of African Giant Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) Fingerlings. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)* e-ISSN: 2319–2380, p-ISSN: 2319–2372. Vol, 7, 89-92.

Fédération des Entrepreneurs de la Boulangerie (2016) Le pain à de l'avenir, Les chiffres clés 2016 Boulangerie, viennoiserie, pâtisserie, snacking. *Disponible sur le site de la fédération des entrepreneurs de la boulangerie:* <http://www.sitefeb.com/la-federation/les-industries-de-bvp-chiffres-clefs/>

Garduño-Lugo M., Granados-Alvarez I., Olvera-Novoa M.A. & Muñoz-Córdova G. (2003) Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia × Stirling red *O. niloticus*) males. *Aquaculture Research* **34**, 1023-1028.

Garot G. (2015) Lutte contre le gaspillage alimentaire : propositions pour une politique publique. *Mission parlementaire de Guillaume GAROT sur la lutte contre le gaspillage alimentaire.*, 98 p.

Greenflex (2017) Les français et la consommation responsable. 22p.

He J.Y., Tian L.X., Lemme A., Figueiredo-Silva C., Gao W., Yang H.J., Han B., Zeng S.L. & Liu Y.J. (2017) The effect of dietary methionine concentrations on growth performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with two different digestible energy levels. *Aquaculture Nutrition* **23**, 76-89.

Hussenot J. & Richard M. (2010) Des systèmes intégrés multi-trophiques pour une aquaculture durable. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00001/11222/>.

INCOME conculting – AK2C (2016) Pertes et gaspillage alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire – *Rapport ADEME* – 164p.

Jankowska B., Zakeś Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. & Kowalska A. (2007) Slaughter yield, proximate composition, and flesh colour of cultivated and wild perch (*Perca fluviatilis* L.) *Czech J. Anim. Sci.* **52**, 260-267.

Joignau-Guesnon C. (2012) Comment réduire le gaspillage alimentaire au sein de sa restauration collective ? *Guide pratique CPIE*. 53 p.

Kocour M., Linhart O., Gela D. & Rodina M. (2005) Growth Performance of All-Female and Mixed-Sex Common Carp *Cyprinus Carpio* L. Populations in the Central Europe Climatic Conditions. *Journal of the World Aquaculture Society* **36**, 103-113.

Lardy, G. P., & Anderson, V. L. (2003). Alternative feeds for ruminants. North Dakota State Univ. Ext. Serv. *Bull. AS-1182*.

Lazo O., Guerrero L., Alexi N., Grigorakis K., Claret A., Pérez J.A. & Bou R. (2017) Sensory characterization, physico-chemical properties and somatic yields of five emerging fish species. *Food Research International* **100**, 396-406.

Martinie-Cousty E. & Prévot-Madère J. (2017) Les fermes aquacoles marines et continentales : enjeux et conditions d'une développement durable, *Les avis du CESE* ; traité par la Section de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation. 98 p.

Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A.H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel M. & Yarish C. (2004) Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* **231**, 361-391.

Oellermann L.K. & Hecht T. (2000) Comparison of the fillet yield, protein content and amino acid profile of *Clarias gariepinus* and the *Clarias gariepinus* x *Heterobranchus longifilis* hybrid. *Aquaculture Research* **31**, 553-556.



- Papaparaskeva-Papoutsoglou E. & Alexis M.N. (1986) Protein requirements of young grey mullet, *Mugil capito*. *Aquaculture* **52**, 105-115.
- Rahman, M. M., Choi, J., & Lee, S. M. (2013). Use of distillers dried grain as partial replacement of wheat flour and corn gluten meal in the diet of juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **13**(4), 699-706.
- Rey M. & Lobry T. (2017) Plan d'épandage du GAEC de Saintou. Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne - Service Pôle Elevage. 23 p http://www.tarn-et-garonne.gouv.fr/content/download/13701/88748/file/Plan_Epandage_Vf.pdf.
- Robinet P. (2016) Le magazine de l'Observatoire du pain n°8 / Janvier 2016. Grand dossier : A l'ère de l'anti-gaspi : prolongeons le plaisir, *entretien avec Gérard Brochoire, conseiller technique de la Confédération Nationale de la Boulangerie*. Page 6, disponible en ligne : <http://www.observatoiredupain.fr/content/documents/953d3504-38b3-441d-beba-90a1b8232207.pdf>.
- Soto D. (2009) Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. N o. 529. Rome, FAO. 183p.
- Syndicat Mixte du Bassin de Thau (2017) Dossier de Presse DLAL FEAMP, un programme pour la pêche et les cultures marines sur Thau et sa bande côtières de Frontignan à Agde. 7p.
- Tacon, A. G., Metian, M., Turchini, G. M., & De Silva, S. S. (2009). Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. *Reviews in fisheries science*, **18**(1), 94-105.
- Testi S., Bonaldo A., Gatta P.P. & Badiani A. (2006) Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species. *Food Chemistry* **98**, 104-111.
- The World Bank (2013) Fish to 2030, prospects for fisheries and aquaculture, *Agriculture and environmental services discussion paper 03*. WORLD BANK REPORT NUMBER 83177-GLB. 102p.
- Wassem E.A., El Masry M.H. & Mikhail F.R. (2001) Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, *Mugil cephalus* L., fingerlings by feeding algal meal-based diets. *Aquaculture Research* **32**, 315-322.
- Westendorf, Michael L. and Robert O. Myer. "Feeding Food Wastes to Swine 1." (2012).



11. SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
CPIE	Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement
CIRAD	Centre de coopération en Recherche Agronomique et Développement
LPDS	Les Poissons Du Soleil
FAO	Food and Agriculture Organisation
COTECH	Comité technique
IC	Indice de Conversion
COPIL	Comité de pilotage
UMR	Unité Mixte de Recherche
ISEM	Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier
QUALISUD	Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité
CIVAM	Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
CRCM	Centre Régional Conchylicole de Méditerranée
EEDD	Education à l'Environnement et au Développement Durable
DRAAF	Direction Régionale de l'Agroalimentaire, de l'Agriculture et de la Forêt
DDPP	Direction Départementale de Protection des Populations

12. ANNEXES

Annexe 1. Référence de rejet azoté pour l'élevage de porc. Source : Rey & Lobry 2017.

Annexe : Références de rejets

Fiche 1a - AZOTE

Références d'excrétion et de rejet épandable d'azote des porcs selon
l'alimentation et le mode de gestion des effluents

Excrétion	Standard	Biphase
Truie reproductive ⁽¹⁾ , kg/an	24,6	20,3
Post-Sevrage (8-31 kg), kg/porcelet	0,62	0,55
Engrissement (31-118 kg), kg/porc <i>par kg de différence de poids d'abattage</i>	4,49 0,052	3,68 0,042

Lisier conventionnel	Standard	Biphase
Truie reproductive ⁽¹⁾ , kg/an	17,4	14,3
Post-Sevrage (8-31 kg), kg/porcelet	0,44	0,39
Engrissement (31-118 kg), kg/porc <i>par kg de différence de poids d'abattage</i>	3,17 0,036	2,60 0,030

Biphase : teneurs maximales en protéines des aliments

Truies: Gestation : 14,0% - Lactation : 16,5%

Post-sevrage : 1^{er} âge : 20,0% - 2^{ème} âge : 18,0%

Engrissement: Croissance : 16,0% - Finition : 15,0% (60% d'aliment de finition)

⁽¹⁾ pour les truies non productrices le rejet par an est estimé à 3 fois celui du porc à l'engrissement

⁽²⁾ pour un logement sur paille pendant la gestation et sur caillebotis pendant la lactation

Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs

Influence de l'alimentation, du mode de logement et de la gestion des effluents

Références françaises d'excrétion et de quantités épandables de N, P, K, Cu et Zn dans les effluents porcins

Source : Réseau Mixte Technologique (RMT) "élevages et environnement"

http://www.rmt-elevages-environnement.org/presentation_du_RMT

Annexe 2. Quantité d'azote exporté par les cultures. Source : Rey & Lobry 2017.

Occupation	Rendement/ha	Exportation des cultures (en kg) N	
		Coefficient (*)	Total
Blé tendre	80	2,5	200
orge	70	2,1	147
Maïs grain	120	2,2	264
Tournesol	30	1,9	57
Maïs ensilage	20	12,5	250
Prairie foin pleine épiaison	6	15	90
Sorgho fourrager	20	12,5	250
Prairie permanente foin	5	15	75

(*) références CORPEN (Cf. annexe « exportation par les productions végétales »).

Annexe 3. Comité de pilotage du projet.

Date	Lieu	Thématiques	Structures présentes
23/11/2017	Lycée de la mer	-Financement -Convention -Déroulement de l'expérimentation	8 structures présentes CPIE BT Ardam Lycée de la mer CIRAD DRAAF LR ADEME Sète Agglopôle Méditerranée Chambre d'agriculture
28/09/2016	Lycée de la mer	-Retour sur les avancés du projet -Etude de la filière pain -Sensibilisation communication -Financements -Perspectives	CPIE BT CIRAD (France / Côte d'Ivoire) Lycée de la mer ADEME Région
28/11/2017	CPIE Bassin de Thau Mèze	-Historique du projet -Présentation des premiers résultats -Plan d'action à venir	ADEME Région CEPRALMAR LPDS CIRAD ARDAM CPIE BT
13/12/2018	CPIE Bassin de Thau Mèze	-Rappels historique -Bilans et premiers résultats phase pain -Plan d'action phase 2 - algue	ADEME Région CEPRALMAR LPDS CIRAD Kimiyo SMBT CPIE BT
26/07/2019 (COPIL restreint)	CPIE Bassin de Thau Mèze	-Bref rappel du projet et calendrier -Point d'étape sur les avancées depuis le dernier COPIL -Plans d'actions à venir et perspectives -Point administratif sur les clôtures de dossier -Questions et discussions	ADEME Région Agence adocc DRAAFCPIE BT
A venir	CPIE Bassin de Thau Frontignan	Bilan de fin de projet	

Annexe 4. Photographies du process de fabrication de l'aliment à base de pain.

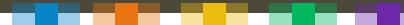


Annexe 5. Résultats des deux expériences de prégrossissement.

	1 ^{ERE} EXPERIENCE (56 JOURS)					2 ^{EME} EXPERIENCE (23 JOURS)			
Type d'aliment ⁽¹⁾	0% pain	33% pain	67% pain	100% pain	0% pain	33% pain	67% pain	100% pain	V Tilapia ⁽²⁾
N bacs	4	4	4	4	2	2	3	3	2
BIOMETRIE INITIALE									
Poids vif (g)	36,3 ± 1,3	36,3 ± 1,2	36,5 ± 1,2	36,7 ± 1,3	*** 42 ± 2	*** 42,3 ± 1,8	*** 42,6 ± 2,3	*** 42 ± 1,9	42,4 ± 2,14
CV Poids vif (%)	41,5 ± 2,6	40,1 ± 1,8	39,3 ± 0,8	42,8 ± 1,7	*/ab 28,9 ± 1,16	**/b 25,4 ± 0,26	*/a 32,9 ± 1,67	**/a 27,5 ± 1,77	^a 30 ± 2,86
Longueur (cm)	14,6 ± 0,1	14,7 ± 0,1	14,7 ± 0,1	14,7 ± 0,1	*** 15,55 ± 0,2	*** 15,56 ± 0,2	*** 15,5 ± 0,3	*** 15,53 ± 0,2	15,55 ± 0,2
Coefficient de condition K	1,10 ± 0,01	1,09 ± 0,01	1,09 ± 0,01	1,08 ± 0,01	1,09 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,02	1,09 ± 0,01
BIOMETRIE FINALE									
Poids vif (g)	** 45,3 ± 1,1	** 44,1 ± 1,0	** 45,0 ± 1,0	** 44,8 ± 1,2	** 54,5 ± 2,5	**/** 54 ± 1,8	**/** 52,1 ± 2,6	**/** 52,1 ± 2,2	** 56 ± 2,5
CV Poids vif (%)	** 28,8 ± 1,7	** 27,3 ± 0,6	** 26,9 ± 1,8	** 31,3 ± 1,8	* 27,4 ± 0,78	*/b/* 20,3 ± 0,43	* 29,7 ± 1,37	* 25,8 ± 1,22	* 27 ± 1,27
Longueur (cm)	** 15,6 ± 0,1	** 15,5 ± 0,1	** 15,5 ± 0,1	** 15,6 ± 0,1	**/* 16,3 ± 0,2	**/** 16,5 ± 0,2	**/* 16,1 ± 0,2	**/** 16,2 ± 0,2	** 16,7 ± 0,2
Coefficient de condition K	* 1,16 ± 0,01	* 1,16 ± 0,01	** 1,17 ± 0,01	* 1,14 ± 0,01	** 1,22 ± 0,01	** 1,19 ± 0,01	** 1,21 ± 0,01	** 1,19 ± 0,02	** 1,17 ± 0,02
CROISSANCE									
Gain de poids vif (g)	9,01 ± 0,24	7,79 ± 0,80	8,45 ± 0,40	8,09 ± 1,09	12,51 ± 1,34	* 11,66 ± 0,71	9,57 ± 1,30	10,18 ± 0,06	13,58 ± 1,73
Gain de poids vif (% poids vif initial)	24,83 ± 0,66	21,43 ± 2,12	23,11 ± 0,89	22,03 ± 2,89	26,12 ± 4,04	23,52 ± 4,19	22,52 ± 3,18	24,26 ± 0,34	32 ± 3,78
Croissance spécifique (%/jour)	0,40 ± 0,01	0,35 ± 0,03	0,37 ± 0,01	0,35 ± 0,04	ab 1,13 ± 0,10	***/ab 1,06 ± 0,06	*/b 0,93 ± 0,07	**/ab 0,94 ± 0,01	* 1,21 ± 0,12
Taux de rationnement (%/jour)	1.78 ± 0,11	1.79 ± 0,02	1.68 ± 0,04	1.79 ± 0,06	**/a 2,93 ± 0,01	**/a 2,85 ± 0,04	*/ab 2,57 ± 0,21	**/a 2,82 ± 0,07	b 2,26 ± 0,01
Indice de conversion	4.52 ± 0,24	5.31 ± 0,41	4.56 ± 0,17	4.93 ± 0,22	**/ab 2,62 ± 0,24	*/a 2,72 ± 0,20	**/a 3,11 ± 0,14	*/a 3,04 ± 0,27	b 1,91 ± 0,19

rappart pain

⁽¹⁾ Exprimé en % du total pain + maïs,



(2) Granulé industriel extrudé Le Gouessant,

Comparaisons multiples des moyennes entre les différents types d'aliments pour chaque expérimentation et chaque biométrie : tests de Duncan ou de Bonferroni précédé d'une Anova simple ou, pour poids vif, longueurs et coefficient de condition, avec le réplique en facteur aléatoire.

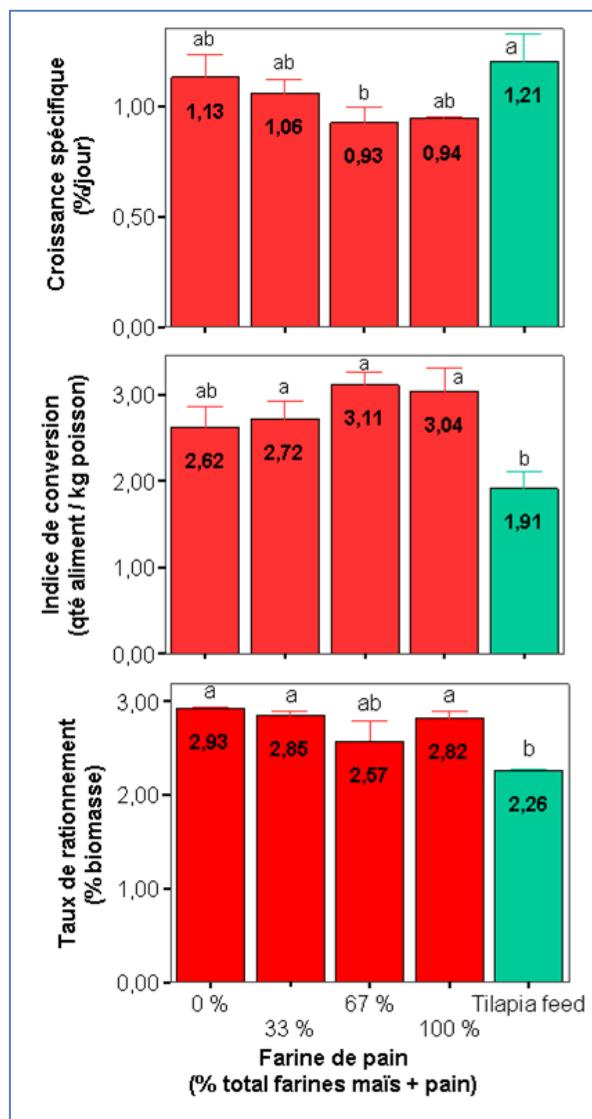
- Test de Duncan entre tous les aliments, différences significatives : a, b ($P < 0,05$),
- Test de Duncan entre les quatre types d'aliment 0, 33, 67 et 100% pain : aucune différence significative ($P > 0,05$),
- Test de Bonferroni entre l'aliment Le Gouessant et les aliments 0, 33, 67 et 100% pain : aucune différence significative ($P > 0,05$),
- Test de Bonferroni entre l'aliment 0 % pain et les aliments 33, 67 et 100 % pain : aucune différence significative ($P > 0,05$).

Comparaisons deux à deux :

Déférences significatives entre les deux biométries pour chaque expérimentation et chaque type d'aliment : ° ($P < 0,05$), °° ($P < 0,01$) et °°° ($P < 0,001$) ; Test T pour échantillons appariés,

Déférences significatives entre les deux expérimentations pour chaque type d'aliment et pour la même biométrie : * ($P < 0,05$), ** ($P < 0,01$) et *** ($P < 0,001$), Test T pour des échantillons indépendants.

Annexe 6. Résultats du 2ème test de pré grossissement.



Moyennes \pm erreur standard,
Différences significatives entre les types d'aliments : a, b ($P < 0,05$).

Annexe 7. Récapitulatif des mesures effectuées lors de l'expérimentation sur la culture d'algues utilisée comme biofiltre.

Période étudiée N°	1	2	3	4	5	6
Biofiltre bactérien	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Culture d'algues	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Expérimentation n°	1	1	1	2	2	2
Durée (jours)	7	9	11	5	5	7
Apport eau neuve (%/jour) ⁽¹⁾	518	318 ± 52,9	38	518	38	518
Apport eau neuve (%/heure) ⁽¹⁾	22	13 ± 2,2	2	22	2	22
Aliment moy. total/jour (g)	441	513	546	631	631	421
Aliment moy. total/jour/m ² (g)	110	128	136	158	158	105
N excrétré/jour/m ² (g) ⁽²⁾	2,7	3,2	3,4	3,9	3,9	2,6
Température (°C)	^a 16,2 ± 0,3	^b 17,7 ± 0,2	^c 22,4 ± 0,6	^e 29,5 ± 0,5	^e 28,5 ± 0,1	^d 25,3 ± 0,5
O ₂ moyen (mg/L)	^d 6,4 ± 0,1	^d 6,3 ± 0,1	^c 5,6 ± 0,2	^{a/b} 4,8 ± 0,3	^a 4,5 ± 0,1	^b 5,1 ± 0,2
O ₂ moyen (% saturation)	^b 83 ± 0,4	^b 83 ± 0,6	^b 81 ± 1,5	^b 79 ± 4,5	^a 72 ± 1,2	^b 79 ± 1,4
pH	7,9 ± 0,1	7,9 ± 0,1	8,0	8,0	8,0	8,0
CO ₂ estimé du pH (mg/L)	1,26 ± 0,2	1,21 ± 0,2	1,13 ± 0,1	1,01	1,01	1,01
KH	-	-	5	5,83 ± 0,5	5,8 ± 0,1	5 ± 0,2
N-NH ₃ (mg/L)	^a 0,04	^{a/b} 0,08	^{a/b} 0,47 ± 0,1	^{b/c} 0,3 ± 0,1	^c 0,16 ± 0,1	^{a/b} 0,15 ± 0,1
N-NO ₂ (mg/L)	^a 0,020	^{a/b} 0,020	^b 0,030	^a 0,020	^b 0,030	^a 0,013
N-NO ₃ (mg/L)	1,02 ± 0,1	1,3 ± 0,3	1,25	1,24 ± 0,2	0,95 ± 0,3	1,09 ± 0,2
N total (mg/L)	1,08 ± 0,1	1,41 ± 0,3	1,75 ± 0,2	1,51 ± 0,3	1,15 ± 0,3	1,25 ± 0,2
P-PO ₄ (mg/L)	0,11	0,13	0,22 ± 0,1	0,12	0,10	0,09
N absorbé (% N apporté) ⁽³⁾	1,9	55,0	81,9	-4,1	88,9	12,5
N absorbé/m ² /jour (g) ⁽³⁾	0,1	1,7	2,7	-0,2	3,4	0,3

Annexe 8. Tableau présentant les différents rendements de filetage du muge (*Liza ramada*) en comparaison aux rendements de différentes espèces retrouvées dans la littérature.

Espèce	Filet avec peau (% PE)	Filet sans peau (% PE)	Source
Muge (<i>Liza ramada</i>)	40,9 ^a / 44,7 ^b	(26,5) ^c	Présente étude
Muge (<i>Mugil cephalus</i>)	36,2	-	(Lazo et al. 2017)
	28 - 31,8	-	(DENG et al. 1977)
Bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	45,7	38,8	(Testi et al. 2006)
Daurade (<i>Sparus aurata</i>)	47,7	40,3	
Maigre (<i>Argyrosomus regius</i>)	38,4	-	(Lazo et al. 2017)
Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	50,6	40,3	(Testi et al. 2006)
Carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i>)	34 - 35,9	-	(Bauer & Schlott 2009)
	37,9 - 39	29,1 - 31,2	(Kocour et al. 2005)
Perche (<i>Perca fluviatilis</i>)	52,6 - 58,4	42,5 - 47,9	(Jankowska et al. 2007)
Sandre (<i>Sanders lucioperca</i>)	36,2	-	(Lazo et al. 2017)
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	32 - 33,4	-	(Garduño-Lugo et al. 2003)
Poisson-chat africain (<i>Clarias gariepinus</i>)	-	35,1 - 42,8	(Oellermann & Hecht 2000)



Annexe 9. Tableau présentant des pistes d'amélioration de l'étude de la qualité de la chair du muge.

Description	Objectif
Analyse de la composition proximale de la chair ^a	Détermination de la valeur nutritionnelle des poissons (protéines et lipides totaux voire profil en acides gras)
Mesure de la longueur des poissons	Possible prédiction du rendement de filetage en fonction de la conformation du poissons (coefficient de condition ^b)
Indentification du sexe des poissons et du stade de maturité sexuelle	<ul style="list-style-type: none"> - Possible effet du sexe et de la maturité sexuelle sur le rendement de filetage et la composition proximale de la chair, - Caractérisation du développement des ovaires pour la possible production de poutargues (ovaires salés séchés).
Elevage des poissons dans différents milieux	<p>Détermination de l'effet du milieu d'élevage. Indépendamment du type d'aliment distribué, le milieu d'élevage pourrait avoir un effet sur la qualité de la chair. En lagune ou en étang en particulier avec, peut-être, l'apparition de goûts plus ou moins favorables (ex : goût de terre).</p>
Analyse de poissons sauvages	Informations complémentaire ; mise en évidence de possibles différences par rapport aux muges d'élevage
Répéter les analyses au cours de l'année	Mise en évidence de possibles variations saisonnières
Management	<ul style="list-style-type: none"> - Ne faire intervenir que des fileteurs expérimentés pour avoir des rendements de filetage fiables, - organiser le filetage et respecter le protocole permettant la collecte de toutes les données sur tous les poissons (filet sans peau et autres parties des poissons).

Annexe 10. Composition des aliments testés.

	Granulés expérimentaux		Granulé Biomar ^d	
	0% farine algue	20% farine algue	Miette ^e	Reconditionné ^f
Ingrédients (%) ^a				
Farine d'algue	-	20,15	-	-
Tourteau de soja	40,24	20,19	-	-
Farine de maïs	15,18	14,58	-	-
Farine de pain	12,60	10,98	-	-
Farine de poisson	4,80	4,82	-	-
Gluten de blé	1,20	8,20	-	-
Huile de poisson	1,64	1,64	-	-
Levure de bière	1,96	1,97	-	-
Farine de lupin	16,57	11,15	-	-
Huile de soja	3,00	3,50	-	-
Prémix ^c	1,85	1,86	-	-
CaPO ₄	0,96	0,97	-	-
Composition proximale (%) ^b				
Protéines brutes	33,15	35,37	40,63	40,20
Lipides bruts	10,20	10,70	10,02	8,69
Fibres totales	20,84	21,62	21,34	23,50
Cendres	6,36	8,64	7,30	7,39
Extrait non azoté (ENA)	29,49	23,58	20,80	20,27
Energie brute (kcal/g)	3,84	3,76	3,78	3,66
Granulométrie (mm) ^g	^B 2,03 ± 0,21	^B 2,00 ± 0,14	^A 2,59 ± 0,34	^B 2,01 ± 0,07

^a En % de la matière totale (humidité inclue),

^b En % de la matière sèche, d'après l'analyse de la composition,

^c Prémix Aquatechna (minéraux, vitamines, lysine et méthionine) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**),

^d EFICO Cromis 832F pour tilapia en grossissement (données du fournisseur). Ingrédients : tourteau de colza, tourteau de tournesol, farine de sang, protéines de plumes hydrolysées, farine de poisson, huile de colza, tourteau de la farine de soja, phosphate monocalcique, chlorure de choline, propionate de calcium (fiche technique en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

^e Granulés broyés et tamisés pour la 1^{ère} phase du test (détail des particules : longueur 3,18 ± 0,47 mm, largeur 2,00 ± 0,53 mm).

^f Granulés broyés finement et extrudés avec 2% de CMC ajouté, pour la 2^{ème} phase du test,

^g Moyenne ± écart-type (N = 30)

Différences significatives entre les 4 types de granulés : A, B (P < 0,001).

Annexe 11 . Composition de la farine d'algue et des trois autres ingrédients variables utilisés.

	Farine d'algue	Tourteau de soja	Gluten de blé	Farine de lupin
Composition proximale (%) *				
Protéines brutes	32,42	48,14	83,22	42,67
Lipides bruts	1,09	1,75	2,10	10,56
Fibres	25,87	21,23	6,51	39,22
Cendres	18,34	7,09	0,76	4,19
Extrait non azoté (ENA)	21,62	21,66	7,51	3,45
Energie brute (kcal/g)	2,81	3,38	3,09	3,58
Protéines (% granulés)				
0% farine algue	0,00	19,63	1,00	6,78
20% farine algue	6,56	9,74	6,78	4,84

* Exprimé en % de la matière sèche,

Les deux granulés expérimentaux ont été préparés avec un petit extrudeur³² (Annexe 12). Le granulé industriel extrudé avait une granulométrie de 3 mm, trop grande pour les petits muges. Pour la 1^{ère} phase du test d'alimentation, ces granulés ont été broyés grossièrement puis tamisés. Ces granulés broyés sont sensiblement plus grands que les deux autres types de granulés. Par conséquent, pour la 2^{ème} phase du test, ces granulés ont été broyés finement (broyeur à aiguille) puis reconditionnés avec ajout d'un liant alimentaire (carboxy-méthyl cellulose, 2%), hydratation (35% d'eau ajoutée) et extrudés à température modérée ($\approx 80^\circ\text{C}$).

³² Capacité 30-40 kg/h. Fournisseur : Henan Strongwin Machinery Equipment Co. (Chine).

Annexe 12. Equipements utilisés pour la fabrication des granulés.

A : Broyeur à couteaux
B : broyeur à aiguilles
C : pétrin (9 L)
D, E : extrudeur (30-40 kg/h)
F : séchoir (1,5-3 m² total)

Annexe 13. Opérations de maintenance du stock de poisson et d'entretien du circuit fermé

Opération	Fréquence
Nourrissage des poissons	2 fois par jour 7 jours/7
Purge des fonds de bassins	1 fois/jour
Nettoyage à l'eau de javel du filtre à tambour	1 fois/semaine
Nettoyage des débitlitres	1 fois/semaine
Nettoyage des bacs extérieurs	1 fois / 2 semaines
Récolte des algues	Variable
Relevé des paramètres de qualité d'eau	
Oxygène ^a	2 fois/jour dans chaque bac
pH ^b	2 fois/jour dans le circuit
Température ^a	2-4 fois/jour dans le circuit
CO ₂ ^c	Ponctuellement, 4 fois/jour dans le circuit
Sels nutritifs dissous ^d	3 prélèvements/jour dans le circuit ; prélèvements regroupés et analysés (1 échantillon analysé/jour)

^a Oxymètre Handy Polaris d'Oxyguard,

^a pH mètre Eutech,

^c CO₂ mètre Oxyguard,

^d Kits d'analyse d'eau adaptés au spectromètre DR1900 de HACH.

Annexe 14. Principaux résultats obtenus avec *Liza ramada* durant la 2^{ème} phase du test (valeurs moyennes).

	Granulés expérimentaux		
	0% algue	20% algue	Granulé Biomar®
Données initiales			
Poids (g)	54,5 ± 1,9 (28,9)	53,5 ± 2,1 (32,9)	53,4 ± 2,3 (36,3)
Longueur (cm)	16,3 ± 0,2 (9,5 ^{b/**})	16,1 ± 0,2 (12,2 ^{ab})	16,2 ± 0,3 (13,1 ^a)
Coefficient de condition	1,22 ± 0,01 (6,0)	1,22 ± 0,02 (9,0)	1,23 ± 0,01 (6,0)
Données finales			
Poids (g)	*** 79,4 ± 2,8 (28,5)	*** 77,6 ± 2,9 (30,9 **)	*** 86 ± 3,3 (32,2 ***)
Longueur (cm)	*** 18,4 ± 0,2 (8,9)	*** 18,2 ± 0,2 (10,8 **)	*** 18,6 ± 0,3 (11,5 *)
Coefficient de condition	***/*** ^b 1,25 ± 0,01 (6,1 ***)	*** ^b 1,25 ± 0,01 (6,4)	*** ^a 1,29 ± 0,01 (5,1 ***)
Croissance relative (% poids initial)	*** ^b 47,0 ± 2,1 (34,5)	*** ^b 47,4 ± 2,0 (32,4)	^a 63,2 ± 2,1 (24,5)
Gain moyen quotidien (g)	*** ^b 0,67 ± 0,03 (36,9)	*** ^b 0,65 ± 0,03 (33,9)	^a 0,86 ± 0,03 (30,1)
Croissance spécifique (%/jour)	*** ^b 1,03 ± 0,04 (27,6)	*** ^b 1,03 ± 0,03 (26,1)	^a 1,31 ± 0,03 (19,1)
Taux d'alimentation journalier (%)	** ^b 1,85 ± 0,05	** ^b 1,83 ± 0,08	^a 2,46 ± 0,11
Indice de conversion alimentaire	1,85 ± 0,02	1,92 ± 0,1	1,99 ± 0,03
Coefficient d'efficacité protéique	*** ^a 1,81 ± 0,03	** ^b 1,61 ± 0,06	^c 1,39 ± 0,02

Légende (Source : rapport algues) :

Moyenne ± erreur standard (coefficient de variation) ; coefficient de variation = $100 \times \text{écart-type} / \text{moyenne}$,

Différences significatives :

- Entre poids final et poids initial pour chaque type d'aliment : *** ($P < 0,001$), test T,
- Entre les 3 types d'aliments, indiquées par des lettres différentes : a, b ($P < 0,05$) ; test de Duncan,
- Entre les aliments 0% et 20% algues, d'une part, et l'aliment Biomar®, d'autre part : ** ($P < 0,01$), *** ($P < 0,001$) ; test de Bonferroni.

Annexe 15. Tableau récapitulatif des évènements.

Evènement	Date	Lieu	Effectif	Comment le muge a été valorisé
BILAN 2015				
Cérémonie de remise des prix de la Fondation Kronenbourg en 2015	25/11/2015	Paris	100	Réalisation d'un film et d'un communiqué de presse diffusé à la presse nationale, et présentation devant l'ensemble des participants à la cérémonie
BILAN 2016				
3 ^{ème} rencontre régionale de l'économie circulaire	13/10/2016	Revel	300	
Colloque Innovons contre le gaspillage alimentaire	17/11/2016;	Montpellier	380	présentation du projet et conception d'un roll-up par l'ADEME vulgarisant les objectifs poursuivis
Salon de l'écologie, Remise des prix des Lauréats de la Fondation Banque Populaire du Sud	03/11/2016	Montpellier	3000	diffusion d'un film valorisant le projet par la fondation au niveau national
Rencontre régionale Éduquer et sensibiliser à l'économie circulaire, Graine LR	30/11/2016	Perpignan	1000	Témoignage sur le projet
BILAN 2017				
Fête de la science	Octobre	Frontignan	20	Pecha Kucka avec Philippe Cacot
Journées Européennes du Patrimoine	Septembre	Villeneuve-les-Maguelone, Bagnas, Vic la gardiole, et marseillan	50	Stand de sensibilisation autour de muge
BILAN 2018				
Assises de pêche et des produits de la mer	14 et 15/06/2018	Sète	60	Stand <i>la Graine et le Muge</i> Conférence de 30 minutes de Philippe Cacot présentant les principes de la pisciculture durable
Assiettes gourmandes	3/07/18	Poussan	100	Stand <i>la Graine et le Muge</i>
Estivales de Thau	2/08/18 9/08/18 23/08/18	Marseillan Loupian Frontignan	170	Stand <i>la Graine et le Muge</i> Interviews en direct retransmise dans les manifestations

Foire aux huîtres	05/08/18	Bouzigues	20	Stand <i>la Graine et le Muge</i>
Restitution première partie projet	Juin 2018	Lycée de la mer	200	Journée de restitution au lycée de la mer en présence des partenaires techniques et financiers.
Journées Européennes du patrimoine		Villeneuve-lès-Maguelone	60	Stand <i>la Graine et le Muge</i>
Forum Régional de la Culture scientifique, technique et Industrielle	14 juin		20	Stand <i>la Graine et le Muge</i>
Animations estivale été 2018	Tout l'été	Thau	100	Animations « Délices de la lagune » conçue spécialement autour de la découverte de cette espèce
Forum mondial de l'aquaculture AQUA 2018	Août 2018	Montpellier	3 000	Valorisation des premiers résultats via un poster diffusé et présenté à tous les participants
Projet éducatif « gouter le monde autour de moi »	Année scolaire 2018	Sète – lycée de la mer	2 classes : cap poissonnier et bts GPEM	
Remise prix trophées Agrica	Octobre 2018	Paris	200	Présentation de la vidéo réalisée par le groupe et remise du prix national
BILAN 2019				
Fête des Arts et du Muge	14/09/2019	Balaruc-le-Vieux	500	Ateliers de cuisine autour du muge : muge fumé, rillette de muge, muge à la plancha, •Carpaccio de muge, Fish'n Chips de muge Participation de 7 producteurs et 2 restaurateurs Tchatche (conférence décontractée sur format court) par Philippe Cacot Jeux du muge avec le grand public Ateliers de dessin par la Clé des Arts
Journées Européennes du patrimoines	21 et 22 septembre 2019	Musée ethnographique de l'étang de Thau, Bouzigues	30	Stand présentant le muge, Dégustation de muge fumé, Jeux du muge avec le grand public Distribution du livret recettes
Cours de cuisine avec le Secours Populaire	19 juin 2019		12	Présentation du muge et les différentes espèces rencontrées Réalisation de muge confit au citron

				Réalisation de tartare de muge
Ora maritima	28/09/19	Cinéma le Palace, Sète	60	Présentation du projet par philippe Caco
Salon régional	12 au 15/09/19	Palais des expositions, Toulouse	1000 dont 300 scolaires	
Salon du littoral	Octobre 2019	Montpellier, parc des exposition	20	Présentation projet
Atelier scénario	Octobre 2019	Sète	30	Journée de travail avec partenaires techniques

Annexe 16. Améliorations proposées pour le test pain.

Amélioration	Description	Objectif
Structure d'élevage	Bacs plus petits (a priori 1 m ³)	Meilleur contrôle de la consommation de l'aliment et donc des quantités distribuées
	3 ou 4 bacs par type d'aliment	Résultats plus fiables (répliquats)
	Bacs cylindro-coniques	Autonettoyants
	Ajout d'un bac supplémentaire de muges non nourris par type d'aliment	Consommation par ces muges des aliments non consommés par les bacs nourris. Et probable consommation d'une partie des fèces. → Optimisation de l'IC global par type d'aliment
	Ensemble du système placé dans un circuit fermé avec un filtre à tambour suivi d'une biofiltration algale. Le tout placé sous une serre.	- Augmentation de la température durant les mois les plus froids. → Gain probable de 30% de croissance sur une année (et réduction de l'IC global) - Recyclage des rejets de sels nutritifs dissous par la production d'algue. → Renforcement du volet durabilité du projet
Poissons	Densité comprise entre 10 et 30 kg/m ³ ^a	- Consommation de l'aliment optimale, - proche des conditions réelles de production.
	Poissons marqués individuellement	Suivi individuel de la croissance → Résultats de croissance très fiables
	Poissons aussi jeunes que possible	Potentiel de croissance optimal
Aliment	- Optimiser le process d'extrusion ^b , - ajouter <u>si nécessaire</u> davantage de maïs (en réduisant la proportion de pain)	Cohésion optimale des granulés : meilleure tenue à l'eau → Réduction des pertes par effritements : réduction de l'IC
Alimentation	<u>A discuter</u> : utilisation de distributeurs automatiques. Avec ajustement des quantités en fonction des restes d'aliments non consommés observés.	Répartition optimal du nourrissage dans la journée → Optimisation de la consommation et donc de la croissance et de l'IC.
Management	Travail de terrain principalement réalisé par un employé permanent	- Savoir-faire et implication satisfaisants, - optimisation de l'encadrement du travail des éventuels stagiaires.



BASSIN DE THAU

Entre Terre et Lagune



60 boulevard Victor Hugo, 34 110 Frontignan



a.rumpler@cpiebassindethau.fr



04.67.24.07.55



www.cpiebassindethau.fr

Suivez-nous sur :

