



LA GRAINE ET LE MUGE

VERS UNE PISCICULTURE BASSE CONSOMMATION ?

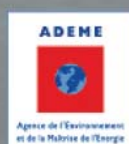
Rapport scientifique 1 – CIRAD

Test du remplacement de la farine de maïs par de la farine de pain dans un aliment pour muge (*Liza ramada*)

Philippe Cacot (CIRAD), le 03/11/2019



BASSIN DE THAU
Entre Terre et lagune



❖ Résumé

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de réduction du gaspillage alimentaire. Notre objectif était de tester le recyclage du pain rassis comme source d'amidon alternative au maïs dans un aliment en aquaculture. Le muge a été choisi pour les essais car ce poisson est naturellement omnivore. Il présente par ailleurs un potentiel intéressant en Occitanie où il est naturellement abondant dans les lagunes côtières. Bien connu des pêcheurs mais encore méconnu des pisciculteurs et des consommateurs de poissons, le « projet muge » contribue à mieux connaître et faire connaître ce poisson.

Les essais d'élevage ont été réalisés en conditions expérimentales en prégrossissement puis en condition de production en grossissement. Les muges utilisés ont été capturés dans le milieu naturel ; ils appartenaient à l'espèce *Liza ramada*, la plus abondante localement.

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. Des granulés extrudés ont été fabriqués avec un petit extrudeur. Ces granulés expérimentaux contenaient en moyenne 31,8% de protéines, 6,6% de lipides, 29,4% d'amidon et environ 4,5 kcal/g. Un granulé industriel pour tilapia de composition proximale proche a été également utilisé. Deux essais ont été réalisés et les résultats du 2^{ème} essai ont été meilleurs. Pour ce dernier, chaque type d'aliment a été distribué durant 23 jours aux poissons stockés dans 3 bacs. Les poissons étaient nourris à satiété deux fois par jour. Le poids moyen initial de ces poissons était de 42,3 g. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec l'aliment industriel, avec une croissance spécifique de 1,21 %/jour et un indice de conversion (IC) de 1,91. Les performances des aliments expérimentaux sont plus faibles qu'avec l'aliment industriel, 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. Néanmoins, les écarts entre les différents aliments expérimentaux et entre ceux-ci et le granulé industriel ne sont pas trop importants. L'IC des granulés pain pourrait probablement être diminué en améliorant notamment la cohésion des granulés.

Deux essais ont été réalisés en condition de grossissement dans des bassins béton (17 m³) en circuit ouvert durant 6 et 9 mois. 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. Nous recommandons de refaire ce test dans de meilleures conditions.

Néanmoins, les poissons issus du grossissement ont permis d'évaluer la qualité de ces poissons au niveau des filets produits et de la qualité gustative. Le rendement de filetage avec peau est bon (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.

❖ Remerciements

L'étude a reçu de nombreuses contributions ; toutes les personnes qui ont participé sont chaleureusement remerciées.

Organise partenaire	Contribution à l'étude	Personnes impliquées
CPIE du Bassin de Thau (Frontignan)	- Coordination du projet, - assistance technique pour la collecte de pain et des petits muges, - participation aux tests d'élevage.	Alexandra Rybnikow, Lucie Tiollier, Adeline Rumpler, Florian Martel, John Bandelier, Fabrice Jean (pêcheur) et Guillaume Burdéos (stagiaire puis Volontaire Civique)
Lycée de la Mer (Sète)	- Accueil du dispositif pour le prégrossissement, - réalisation du filetage des poissons et des essais de plats cuisinés.	Jean-Louis Charriaux, Nadia Ranchon, Sylvie Mimosa et la personne responsable de la formation poissonnerie
Entreprise Les Poissons du Soleil (Balaruc-les-Bains)	- Accueil du dispositif pour le grossissement, - participation aux tests d'élevage, - maintenance du stock de poissons en réserve, - assistance technique pour la collecte des petits muges.	Philippe Balma, Benoît Bufflier, Wagner Maciel-Leite, Yan Combe, Gilles Maingon Victor Baizeau (stagiaire) et Hoanui Jossler-Ravatua (stagiaire)
CIRAD, UMR QualiSud (Montpellier)	- Fabrication des aliments, - analyses gustatives de la chair des poissons.	Antoine Delpech, Jean-Paul Danflous, Isabelle Maraval et Thierry Goli
CIRAD, UMR ISEM (Montpellier)	- Mise en place du dispositif de prégrossissement, - fabrication des aliments.	Olivier Mikolasek, Marc Canonne, Samira Sarter et Yacouba Bamba (invité)
Université d'Annaba (Algérie)	- Fabrication des aliments, - participation aux tests d'élevage.	Hichem Kara et Meriem Chagour (doctorante)
Association le Pain de l'Espoir (Montpellier)	Fourniture du pain rassis pour la confection des aliments	Marie-Jo Duchesne
Entreprise Aquatechna (Couëron)	Fourniture en prémix pour la confection des aliments	Guillaume Le Reste

SOMMAIRE

❖	Introduction	1
1.	Contexte et objectifs.....	2
1.1	La pisciculture française	2
1.2	Importation de poissons	2
1.3	Potentiel aquacole des muges	3
1.4	Démarche	3
2.	Test d'un gradient d'incorporation de farine de pain rassis.....	4
2.1	Démarche	4
2.2	Matériel et méthodes	4
2.2.1	Les granulés expérimentaux	4
2.2.2	Bacs poissons.....	7
2.2.3	Circuit fermé.....	9
2.2.4	Biofiltration algale	10
2.2.5	Mesures de la qualité de l'eau	10
2.2.6	Poissons	11
2.2.7	Nourrissage des poissons	12
2.3	Résultats	12
2.3.1	Qualité de l'eau	12
2.3.2	Performances zootechniques (1 ^{ère} expérience)	12
2.3.3	Performances zootechniques (2 ^{ème} expérience).....	14
2.3.4	Culture d'algue intégrée.....	16
2.4	Discussion	18
2.4.1	Performances zootechniques.....	18
2.4.2	Le dispositif expérimental	19
3.	Test de la farine de pain en phase de grossissement.....	19
3.1	Démarche	19
3.2	Matériel et méthodes	19
3.3	Résultats	21
3.3.1	Survie des poissons	21
3.3.2	Effet de la température.....	21
3.3.3	Question sur le rationnement.....	24
3.3.4	Consommation de l'aliment et indice de conversion	25

3.4	Discussion	25
3.4.1	Bilan du test.....	25
3.4.2	Comparaison avec la littérature	27
4.	Qualité des poissons produits	29
4.1	Rendement de filetage	29
4.2	Qualité gustative de la chair des poissons	32
4.2.1	Test triangulaire	32
4.2.2	Test de dégustation	33
4.3	Perspectives	35
❖	Conclusion.....	36
❖	Références	37
❖	Annexes	39

❖ Introduction

Les muges ou mulets rassemblent 5 espèces assez abondantes sur le littoral méditerranéen en Occitanie. Ces poissons sont néanmoins méconnus des consommateurs et leur image est généralement négative. Ils peuvent être en effet perçus comme sales parce qu'ils sont inféodés notamment aux zones marécageuses et aux ports où ils se nourrissent (entre autres) de sédiments et de déchets divers. Néanmoins, les muges cachent un potentiel aquacole certain en raison notamment de leur régime alimentaire omnivore.

Le « projet muge » a pour objectif d'évaluer le potentiel de ces poissons afin d'améliorer la durabilité de l'alimentation des poissons en pisciculture. Le présent rapport décrit des essais d'élevage relatifs à l'incorporation de farine de pain rassis dans l'aliment des poissons en remplacement de la farine de maïs. Un autre volet du projet porte sur le remplacement du tourteau de soja par de la farine d'algue ; ce 2^{ème} volet sera présenté dans un autre rapport.

Les essais avec « l'aliment pain » ont été réalisés en deux étapes, en phase de prégrossissement avec des poissons assez petits puis en phase de grossissement avec des poissons plus grands. Le prégrossissement a été réalisé en 2017 au Lycée de la Mer à Sète et le grossissement en 2017 et 2018 dans l'entreprise Les Poissons du Soleil (LPDS) à Balaruc-les-Bains. L'étude a concerné une seule espèce de muge, *Liza ramada*.

Les travaux effectués sont « zootechniques » avec deux dimensions, aquacoles et agroalimentaires. Nous avons fait face à des aléas divers et surmonté, en partie et pas à pas, des difficultés relatives notamment à la collecte de poissons juvéniles sauvages, la confection des granulés, la mise en place à deux reprises d'une structure expérimentale et la conduite des élevages expérimentaux. La majeure partie du travail était réalisée par des étudiants en stage qui ont fait de leur mieux, ainsi que les personnes chargées de leur encadrement. Les résultats présentés ici ne sont pas tous parfaits mais le projet a amélioré progressivement nos compétences et les protocoles mis en œuvre.



1. Contexte et objectifs

1.1 La pisciculture française

En France, la production piscicole totale est d'environ 45.200 T/an^a. Elle est dominée par les poissons carnivores, avec 32.000 T de truites en eau douce et 5200 T de poissons marins carnivores (bars, daurades et autres espèces). La production de carpe commune omnivore en étang d'eau douce est d'environ 8000 T. L'élevage de poissons carnivores peut donc sembler important mais il ne représente que 2,2% du marché national total en poissons (1,65 10⁶ T/an^b (Agrimer 2016)), la pisciculture totale étant elle-même dérisoire (2,7% du marché).

Ces poissons carnassiers ont une bonne valeur marchande, leur production est donc profitable mais sa rentabilité alimentaire est discutable car ~2 kg de poissons sauvages sont requis, via la farine de poissons dans les granulés, par kilo de poisson produit. De plus, la rétention des protéines est modérée chez ces poissons marins (~20-25%) ; elle est meilleure chez la truite (30-40%) mais moyennant un apport assez important en lipides. La part de protéines non fixées est dégradée et elle est à la l'origine des rejets d'azote (~16% des protéines) et de phosphore (~25% des rejets azotés). Ainsi, par tonne de poissons carnassiers marins produits, environ 90 kg d'azote sont émis, soit l'équivalent des rejets azotés annuels de 25 personnes.

Outre leur toxicité propre, en particulier pour l'ammoniac, l'azote et le phosphore dissous sont des sels nutritifs pour les algues qui peuvent, en proliférant puis se dégradant, causer l'anoxie des milieux aquatiques. Pour réduire le risque d'une telle pollution, les rejets de sels nutritifs sont soumis à une réglementation qui limite fortement le développement de la pisciculture en France. Enfin, truites, bars et daurades requièrent une eau de qualité avec une faible teneur en ammoniac et une oxygénation suffisante ; cela implique une grande consommation d'eau « neuve » et d'oxygène gazeux industriel.

1.2 Importation de poissons

L'essentiel de notre approvisionnement en poissons est assuré par la pêche (nationale et étrangère) et une part croissante de poissons d'élevages importés. Par conséquent, la balance commerciale du secteur halieutique national (poissons et autres produits aquatiques) est déficitaire de 4,4 10⁹ € (857 10⁶ T) ; les principaux produits importés sont le saumon, les crevettes et la morue (données 2017)^c. A l'échelle européenne, les importations de pêche et d'aquaculture représentent 63% de l'approvisionnement global (14,61 MT en 2017)^d.

Parmi les importations européennes de produits aquacoles, figurent les filets de panga (94 090 T, du Vietnam^e) et de tilapia (44.360 T, essentiellement de la Chine^f) (données 2017). Soit un total en équivalent de poissons entiers de ≈ 346.000 T^g, lui-même équivalent à 55% de la pisciculture européenne (625.000 T)^h. Ironie du commerce, panga et tilapia sont des espèces omnivores et tolérantes sur la qualité de l'eau ce qui contribue à leur compétitivité

^a <https://agriculture.gouv.fr/la-pisciculture-production-et-consommation>

^b 24,9 kg/habitant/an x 66,3 M habitants.

^c <https://www.eumofa.eu/france>

^d <https://www.eumofa.eu/documents/20178/61322/European+Union.pdf/f6357f0b-45c1-4f55-b08c-78ab773b9eae>

^e 207 M€ à 2,20 €/kg. <https://www.cbi.eu/market-information/fish-seafood/pangasius/europe/>

^f 118 M€ à 2,66 €/kg. <https://www.cbi.eu/market-information/fish-seafood/tilapia/>

^g Avec un rendement de filetage estimé à 40% du poids de poissons entier.

^h https://ec.europa.eu/fisheries/sites/fisheries/files/docs/body/2015-aquaculture-facts_en.pdf

commerciale - ainsi que d'autres éléments locaux favorables (salaires, gestion des rejets et tradition aquacole).

D'autres éléments relatifs aux échanges commerciaux interviennent aussi certainement. Ainsi, un avion Airbus (≈ 90 M €) est équivalent en valeur à ≈ 41.000 T de filet de panga (≈ 102.000 T de poissons entiers). L'Europe exporte régulièrement des avions en Asie et on peut imaginer que les importations de poissons contribuent à équilibrer les balances commerciales. Cette situation est-elle durable ?

1.3 Potentiel aquacole des muges

N'aurions-nous pas en France une ou plusieurs espèces de poissons présentant des caractéristiques similaires au panga et au tilapia ? Les carpes sont intéressantes (omnivores) mais elles ont des arêtes intramusculaires et elles ne peuvent pas s'élever en eau de mer.

Quid des muges ou mulets (famille des Mugilidae) ? Ces poissons rassemblent dans le monde une soixantaine d'espèces dont cinq sont présentes en Europe (Annexe Figure 1). Leur potentiel aquacole est remarquable : régime alimentaire omnivore, tolérance vis-à-vis de la qualité de l'eau (ammoniac, oxygène, salinité, température), pas d'agressivité envers les congénères et absence d'arêtes intramusculaires. En outre, grâce à leur organe « pharyngo-branchial », les muges tamisent les sédiments (10-15 fois leur poids par jour) pour extraire la matière organique dont ils se nourrissent (Annexe Figure 2). Ils ont donc une capacité d'épuration remarquable. Cette épuration peut se faire dans des sites peu ragoutants (ports, vasières) qui confère hélas aux muges une piètre image auprès des consommateurs.

Les muges, pêchés en « eau propre », ou issus d'élevage, sont pourtant des poissons appréciés des connaisseurs. C'est le cas sur le pourtour méditerranéen, en Italie (production en lagunes) et surtout en Egypte avec une production en étangs dans le delta du Nil de ~ 200.000 tonnes/an. Par ailleurs, la poutargue (ovaires salés et séchés) est un met de luxe très appréciée.

1.4 Démarche

Notre objectif initial consistait à d'évaluer l'intérêt des muges pour valoriser les déchets de pain dans le cadre d'un projet de lutte contre le gaspillage alimentaire. « De 20 à 30 kg de nourriture jetés par chacun de nous en France chaque année, 140 kg par habitant pour l'ensemble de la chaîne alimentaire, soit entre 12 et 20 milliards d'euros gaspillés au total... : la réalité du gaspillage alimentaire est impressionnante. » (Garot 2015). 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).

Notre démarche a commencé par l'évaluation à l'échelle expérimentale de la farine de pain rassis comme source d'amidon alternative au maïs. Le muge ou mulot de l'espèce *Liza ramada* est le poisson utilisé pour l'essai présenté ici. Ce poisson omnivore accepte bien un aliment riche en amidon, de l'ordre de 30% dans les aliments testés. Nous avons testé une substitution progressive (0, 33, 67 et 100%) de la farine de maïs par de la farine de pain dans quatre types de granulés extrudés. La démarche s'est poursuivie par le test d'un type de granulés contenant $\approx 30\%$ de farine de pain pour un élevage de grossissement du muge *L. ramada*. Les résultats de cet élevage de grossissement présentés ici sont perfectibles ; la réalisation d'un autre test est nécessaire.

A la suite de l'élevage de grossissement, une partie des poissons produits ont été utilisés pour une évaluation de la qualité de la chair par des analyses organoleptiques et des essais de préparation culinaire.

Le pain non distribué aux consommateurs a été utilisé pour nos aliments. Nous étions ainsi en conformité avec la réglementation sanitaire en vigueur, elle-même validée par les services de la DRAAF^a Occitanie.

2. Test d'un gradient d'incorporation de farine de pain rassis

2.1 Démarche

En 2017, quatre types de granulés ont été testés en conditions expérimentales au Lycée de la Mer à Sète. Nous avons mis en place un circuit fermé dédié, avec 16 bacs, permettant de répliquer chaque traitement. La moitié des installations piscicoles du Lycée ont été utilisées pour ce test. Ce test a été réalisé par un binôme d'étudiants accueillis par LPDS, Victor Baizeau et Hoanui Ravatua-Jossler.

Deux expérimentations ont été réalisées. La 1^{ère} expérimentation (56 jours) s'est bien déroulée mais elle n'a pas permis de conclure car les poissons avaient probablement été sous-nourris. Aussi avons-nous enchaîné par une 2^{ème} expérimentation (23 jours), réalisée dans les mêmes conditions et avec les mêmes poissons, cette fois-ci bien nourris à satiété. Les quatre types de granulés expérimentaux ont été testés dans les deux expérimentations plus, dans la 2^{ème} expérimentation, un granulé extrudé industriel que nous pouvons considérer comme un traitement de référence.

Nous avons utilisé dans le dispositif expérimental de la 2^{ème} expérimentation la culture de la macroalgue *Ulva rigida* comme filtre biologique pour l'absorption des sels nutritifs dissous.

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Les granulés expérimentaux

Quatre types de granulés extrudés ont été préparés avec quatre niveaux de substitution de la farine de maïs par la farine de pain (Tableau 1). Ces deux ingrédients constituaient la source d'amidon pour une teneur totale d'environ 30% dans les granulés. La composition de ces ingrédients est présentée dans le Tableau 2. La formulation a été réalisée d'après les critères suivants, avec les teneurs exprimées en % de matière sèche : protéines totales 32%, lipides totaux 8%, 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.

En pratique, les quatre types d'aliments ne présentent pas exactement la même composition proximale mais on peut considérer que cela reste acceptable. Les écarts pourraient être liés notamment à l'utilisation de deux qualités de pains rassis (pain tranché et petits pains) dont une seule a été analysée. Par ailleurs, il aurait été utile d'analyser la teneur en fibres ; par différence, la teneur des autres polysaccharides (ou « extractif non azoté ») aurait pu être déterminée et ainsi avoir une meilleure estimation des valeurs énergétiques.

^a Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt.

La préparation des granulés a commencé par le broyage du maïs en grain, du pain rassis et du tourteau de soja. Le broyage était réalisé avec un broyeur à marteaux. Les ingrédients ont ensuite été mélangés dans une bétonnière. Les huiles ont été ajoutées avec l'eau ; l'eau ajoutée représentait 35% des ingrédients secs (poudres et huiles). Le mélange a ensuite été passé dans un petit extrudeur (Figure 1). La température d'extrusion était réglée à 120°C, la température maximale de la machine dans nos conditions. Les granulés ont ensuite été séchés à 40°C dans un séchoir ventilé durant une vingtaine d'heure.

Les granulés semblaient de bonne qualité c'est-à-dire durs et relativement cohésifs. Cependant, ils ne flottaient pas ; cela pourrait indiquer que l'extrusion n'aurait pas été optimale ; cela pourrait être lié à une alimentation de l'extrudeur un peu lente, volontairement, pour réduire le risque de bourrage de la machine, ou bien à un chauffage insuffisant de l'appareil (120-130°C souhaité).

Un granulé extrudé produit par l'entreprise Le Gouessant a été aussi 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.

Tableau 1: Composition des aliments expérimentaux.

	Granulés expérimentaux				V Tilapia ^a
	0% pain	33% pain	67% pain	100% pain	
Ingrédients (% Matière Sèche)					
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	35,5
Lipides	5,8	6,0	7,1	7,3	10,0
Amidon	30,6	29,8	26,2	30,8	-
Cendres	7,5	7,6	7,7	8,0	6,9
Energie (Kcal/g) ^b	~4,5	~4,5	~4,5	~4,5	3,8
% Produit brut					
Humidité	4,6	3,6	3,3	4,7	10
Matière sèche	95,4	96,4	96,7	95,3	90

^a Aliment Le Gouessant, composition du fournisseur,

^b Estimation à confirmer

Un échantillon analysé par type d'aliment (Laboratoire Développement Méditerranée).

Tableau 2: Ingrédients utilisés pour la formulation des granulés expérimentaux.

	Farine de maïs	Farine de pain	Tourteau de soja	Farine de poisson
% Produit brut				
Protéines	7,2	10,8	45,6	65,4
Lipides	3,5	1,5	1,2	9,3
Amidon	66,3	58,4	< 0,1	< 0,1
Cendres	1,1	2,42	6,9	20,8
Humidité	11,1	4,8	8,6	4,4
Matière sèche	88,9	95,2	91,4	95,6
% Matière sèche				
Lipides	3,9	1,6	1,3	9,7
Protéines	8,1	11,3	49,9	68,4
Cendres	1,2	2,5	7,5	21,8
Amidon	74,6	61,3	< 0,1	< 0,1

Un échantillon analysé par type d'aliment (Laboratoire Développement Méditerranée).



Les muges ont été stockés dans 16 bacs de 60 L d'eau (70 L 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 (Figure 2, Figure 3 et Figure 4).

Figure 2 : La structure d'élevage expérimental en prégrossissement au Lycée de la Mer.



- 2 bassins de 4 m³,
- 16 bacs (poubelles) de 70 L (8 bacs par bassin),
- Débitmètres,
- Diffuseurs d'air et d'oxygène,
- Ombrage sur les 2/3 des bacs.



Evacuation par le fond
obstruée durant
le nourrissage



Figure 3 : Détails des bacs d'élevage pour les essais de prégrossissement.

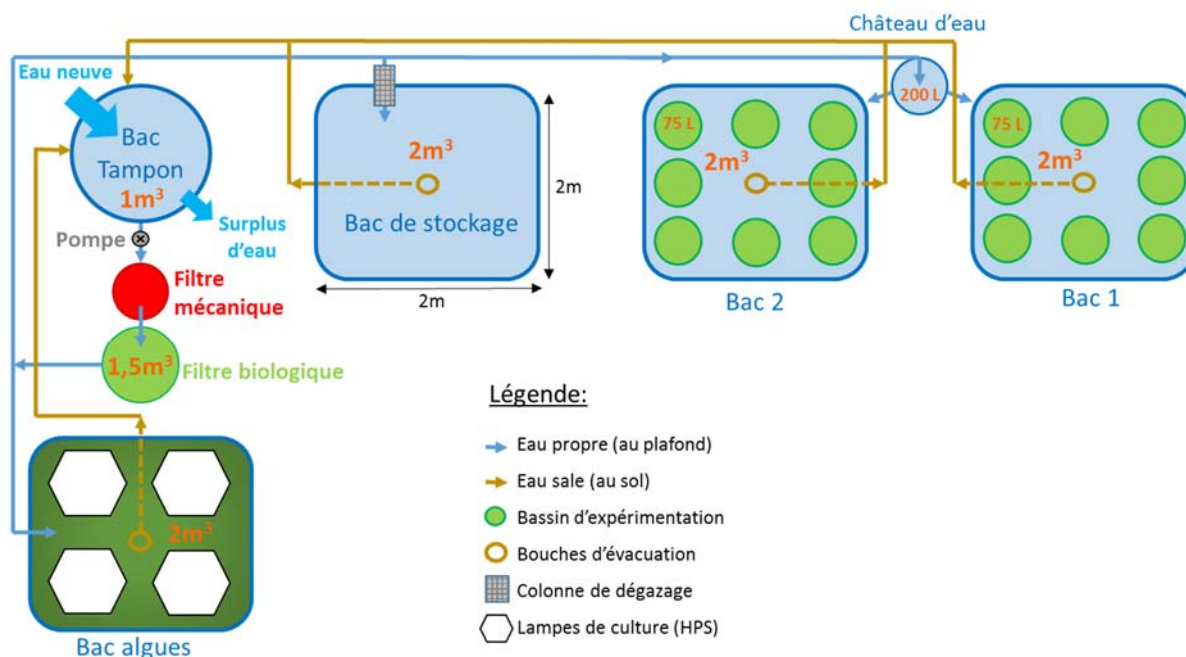


Figure 4 : Organisation du circuit fermé utilisé pour les essais en prégrossissement.

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).

Dans chaque bac poissons, l'évacuation d'eau par le bas pouvait être bloquée et permutée par une évacuation par le haut durant le nourrissage, évitant ainsi la perte des granulés. Le couvercle consistait en un disque de grillage recouvert au deux tiers par une bâche noire destinée à ombrer les bacs pour le bien être des poissons (effet positif observé). Les couvercles étaient régulièrement soulevés pour vérifier la consommation d'aliment.

Les évacuations de chaque bac poissons débouchaient au-dessus de l'évacuation du grand bac. Assez peu de matières sédimentaient dans les grands bacs - c'était une interrogation importante lors de la conception du circuit. Deux chasses quotidiennes des grands bacs étaient réalisées. De plus, cinq muges ont été stockés dans chaque grand bac, dans l'intention qu'ils contribuent au nettoyage du fond ; les grands bacs étaient recouverts d'un filet pour éviter que ces poissons s'échappent.

2.2.3 Circuit fermé

Le circuit fermé existant consistait en un bac tampon (~500 L), un filtre à sable (~300 L) et un filtre biologique bactérien (~300 L, cuve remplie de « biogrog » - média de filtration classique). 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.

2.2.4 Biofiltration algale

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 5). 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. A terme, nous souhaiterions en effet remplacer la biofiltration bactérienne par la biofiltration algale.

La culture d'algues était placée dans un grand bac de 4 m² et 2,5 m³ connecté au circuit fermé comme les deux grands bacs poissons expérimentaux (plus un 3^{ème} bac poissons). Dix kg 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 étaient récoltées 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 SPIR^a pour le contenu en matière sèche, azote et minéraux totaux.

2.2.5 Mesures de la qualité de l'eau

Des relevés de température, oxygène et pH ont été faits deux fois par jour. Température et oxygène étaient mesurés avec un oxymètre OxyguardTM 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).

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



2.2.6 Poissons

Les poissons ont été stockés dans les bacs de 60 L avec comme objectif de mettre 36 poissons par bac. Nous avons fait en sorte durant l'allotement d'équilibrer le poids moyen des poissons entre tous les bacs.

Cependant, pour la 1^{ère} expérimentation, lors de la biométrie après huit semaines, les effectifs observés dans les bacs étaient effectivement de 36 poissons dans 5 bacs, mais différents dans les 11 autres bacs, compris entre 30 et 38 poissons, et, globalement, il manquait 9 poissons sur la totalité des bacs. Par conséquent, des erreurs ont certainement été faites lors de l'allotement et, de plus, des poissons sont probablement sortis des bacs. Ce souci d'effectif affecte la rigueur de l'analyse des résultats mais il ne perturbe certainement pas les conclusions tant les résultats semblent nets. Nous n'avons pas eu ce souci d'allotement lors de la 2^{ème} expérimentation (opérateurs plus attentifs et couvercle des bacs bien maintenus par la suite).

2.2.7 Nourrissage des poissons

Les poissons ont été nourris deux fois par jour, le matin et l'après-midi, à satiété durant une heure à chaque repas. En pratique, chaque repas était fractionné en une à quatre distributions espacées chacune de 15 mn. Une nouvelle distribution n'était faite que lorsque l'aliment de la précédente avait été complètement ingéré. Ce protocole devait nous permettre de nourrir à satiété en limitant les pertes d'aliment non consommé.

Lors de la 1^{ère} 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 2^{ème} expérimentation ; lorsque la quantité distribuée était consommée, matin et/ou après-midi, elle était augmentée de 5% de lendemain et ce indépendamment pour chaque bac ; la quantité distribuée est ainsi passée d'environ 40 g à 60 g en 2 semaines.

2.3 Résultats

2.3.1 Qualité de l'eau

Les analyses physico-chimiques de l'eau sont récapitulées en Annexe Tableau 1 et Annexe Tableau 2. Tous les paramètres sont corrects. Au niveau de l'oxygène, pour chaque expérimentation, les différences entre les traitements sont minimales. Les teneurs en sels nutritifs dissous sont proches similaires entre les deux expérimentations. En revanche, les deux expérimentations diffèrent grandement au niveau de la température et de l'oxygène. La température est globalement de 9,3°C plus élevée dans la 2^{ème} expérience que dans la 1^{ère}. Ceci est lié au réchauffement de l'eau causé par l'éclairage HPS ainsi qu'à l'augmentation naturelle de la température ambiante en fin de printemps. C'est l'inverse pour l'oxygène, avec globalement 1,2 mg/L en moins dans la 2^{ème} expérience ; c'est probablement imputable à la hausse de température car la différence d'oxygène en % de saturation est minime.

2.3.2 Performances zootechniques (1^{ère} expérience)

La 1^{ère} expérience s'est très bien passée, sans aucun poisson mort, mis à part le souci d'allotement au départ et quelques poissons échappés des bacs. Les poissons ont grandi en poids et en longueur durant l'expérimentation pour les quatre types d'aliment (Tableau 3). Ils ont également pris de l'embonpoint comme indiqué par l'augmentation du coefficient de condition. 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). 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.

Tableau 3 : 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)	^{ooo} 45,3 ± 1,1	^{oo} 44,1 ± 1,0	^{ooo} 45,0 ± 1,0	^{oo} 44,8 ± 1,2	^{ooo} 54,5 ± 2,5	**/ ^{ooo} 54 ± 1,8	**/ ^{ooo} 52,1 ± 2,6	**/ ^{ooo} 52,1 ± 2,2	^{ooo} 56 ± 2,5
CV Poids vif (%)	^{oo} 28,8 ± 1,7	^{oo} 27,3 ± 0,6	^{oo} 26,9 ± 1,8	^{oo} 31,3 ± 1,8	^a 27,4 ± 0,78	*/b/ ^o 20,3 ± 0,43	^a 29,7 ± 1,37	^a 25,8 ± 1,22	^a 27 ± 1,27
Longueur (cm)	^{ooo} 15,6 ± 0,1	^{oo} 15,5 ± 0,1	^{oo} 15,5 ± 0,1	^{oo} 15,6 ± 0,1	**/ ^{oo} 16,3 ± 0,2	**/ ^{ooo} 16,5 ± 0,2	*/ ^{oo} 16,1 ± 0,2	**/ ^{ooo} 16,2 ± 0,2	^{ooo} 16,7 ± 0,2
Coefficient de condition K	^o 1,16 ± 0,01	^o 1,16 ± 0,01	^{oo} 1,17 ± 0,01	^o 1,14 ± 0,01	^{ooo} 1,22 ± 0,01	^{ooo} 1,19 ± 0,01	^{ooo} 1,21 ± 0,01	^{ooo} 1,19 ± 0,02	^{ooo} 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	^a 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

Moyennes ± erreurs standards

Légende du Tableau 3 :

(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 répliqua 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 :

Différences 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,

Différences 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.

2.3.3 Performances zootechniques (2^{ème} expérience)

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 Figure 6. La 2^{ème} expérience a commencé avec des poissons sensiblement plus gros et plus homogènes que ceux de la 1^{ère} expérience (Tableau 3). 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 la précédemment pour les aliments 0, 33, 67 et 100% pain, respectivement.

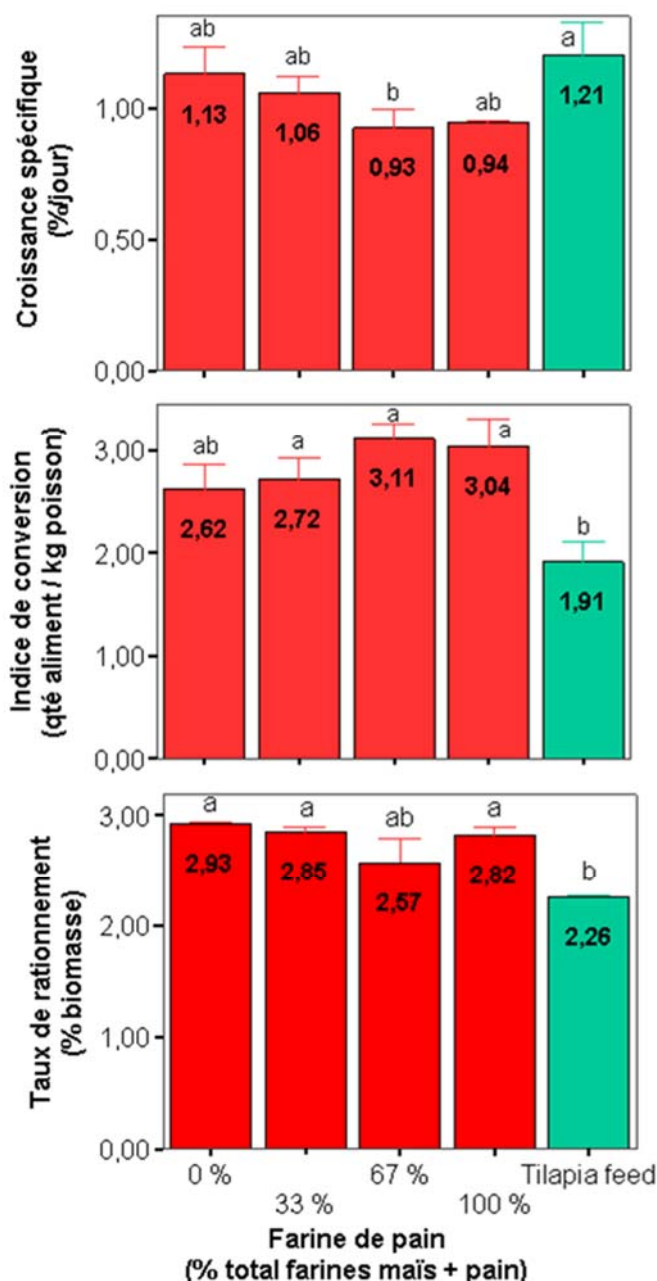


Figure 6 : Résultats du 2^{ème} test de prégrossissement.

Moyennes $\pm$ erreur standard,

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

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 statiquement conclure que ces quatre aliments sont équivalents tant en croissance qu'en indice de conversion. 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.

2.3.4 Culture d'algue intégrée

Les algues 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 (Tableau 4).

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 pas 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'évaporer 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 (Figure 7). Ces algues, via leur transformation en farine, pourraient donc constituer une source de protéines, sans être toutefois très élevée.

Tableau 4: 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 excrété/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

Valeurs moyennes ± erreurs standards,

Différences significatives entre les périodes : a, b, c, d, e (P < 0,05) (Anova puis test de Duncan),

⁽¹⁾ Exprimé en % du volume d'eau total du circuit fermé,

⁽²⁾ Estimation calculée d'après les données du Tableau 5,

⁽³⁾ Quantité azote absorbée = Qté initiale

+ Qté eau neuve (nulle ici)

+ Qté excrétée poissons (dissous)

– Qté résiduelle circuit – Qté eau rejetée

Tableau 5: Ratios utilisés pour les estimations de flux d'azote

protéines (% aliment)	32 %
ratio protéines/azote aliment	6,25
azote (% aliment)	5,1 %
fixation azote par les poissons	40 %
rejet azote par les poissons	60 %
azote fixé (% aliment)	2 %
azote excrété (% aliment)	3,1 %
azote excrété dissous (% azote excrété)	80 %
azote excrété dissous (% aliment)	2,5 %
volume total du circuit (L)	10 700
surface de culture d'algue (m2)	4
azote total dissous dans l'eau neuve (mg/L)	Inconnue estimée

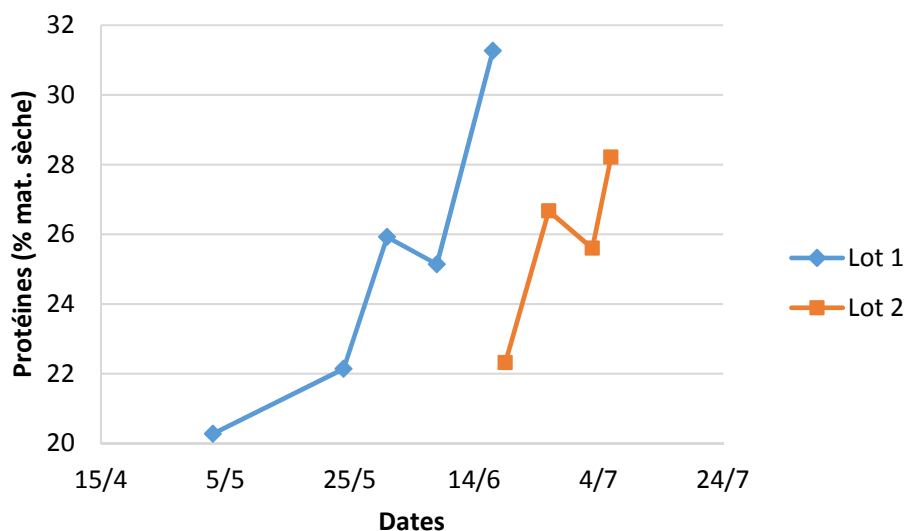


Figure 7 : Evolution de la teneur en protéines des algues cultivées.

Protéines = azote total x 6,25

2.4 Discussion

2.4.1 Performances zootechniques

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 confirmer.

2.4.2 Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental mis en place a bien fonctionné. Les algues ont en particulier constitué un filtre biologique efficace, sans accumulation de sels nutritifs dissous et avec une certaine transformation du CO_2 en O_2 ; cela a permis un apport d'eau neuve très faible. Néanmoins, l'éclairage utilisé (lampe incandescente HPS) dégage de la chaleur et chauffe l'eau (possiblement + 5°C) ; cela ne nous a pas posé de souci, au contraire, mais c'est à prendre en compte si ce dispositif d'éclairage est utilisé en période chaude.

3. Test de la farine de pain en phase de grossissement

3.1 Démarche

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).

Par conséquent, 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 (≈ 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.

3.2 Matériel et méthodes

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 8).

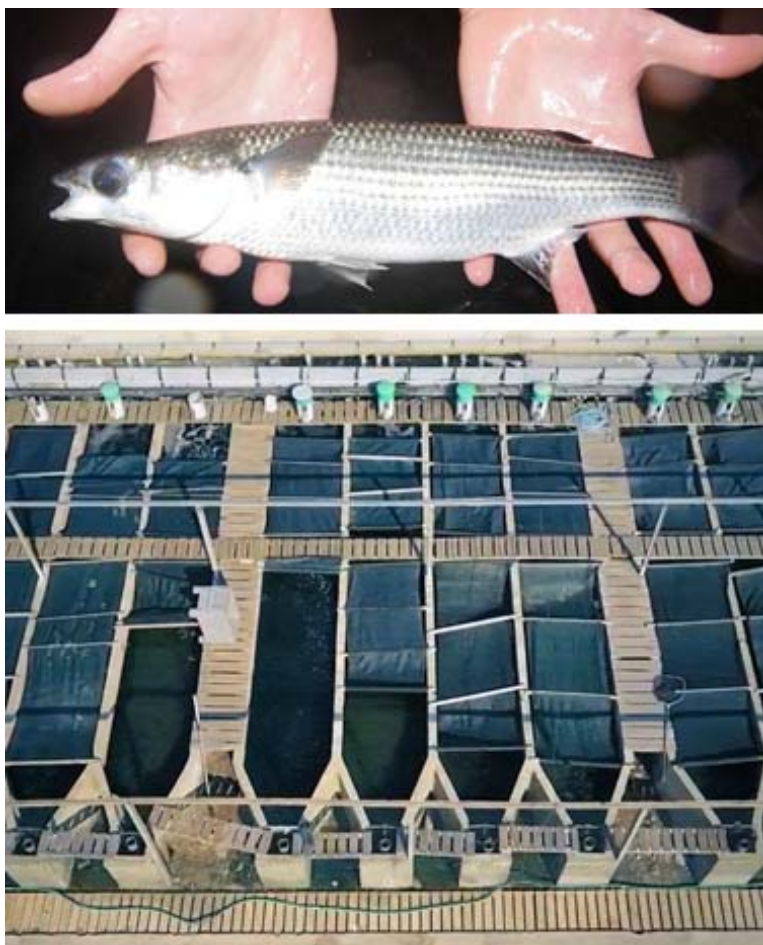


Figure 8 : « Grand » muge en élevage de grossissement et bassins en béton utilisés chez les Poissons du Soleil sur le site de La Vise.

L'aliment granulé avec de la farine de pain (aliment pain) a été fabriqué avec un extrudeur comme pour le prégrossissement (§ 2.2.1). La composition a été définie afin que la composition proximale soit similaire à celle de l'aliment contrôle (Tableau 6). En pratique, le granulé fabriqué contenait 32,6% de protéines et 8% de lipides, soit proche de l'aliment industriel utilisé (Biomar Efico-cromis, pour tilapia, 32% protéines et 9% lipides).

Tableau 6 : 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%

Pour les grands et les petits muges, l'aliment pain a été distribué à deux bacs et l'aliment Biomar a été distribué à un seul bac. Cette répartition a été choisie compte-tenu du nombre de poissons disponibles, avec 120 et 130 poissons par bac pour les grand et les petits muges,

respectivement. 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.

Les poissons ont été nourris à satiété deux fois par jour. 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.

Le test a commencé le 22/12/17 pour les deux groupes de poissons. Il a duré jusqu'au 30/06/18 (190 jours ≈ 6 mois) pour les grands muges et jusqu'au 01/10/19 (283 jours ≈ 9 mois) pour les petits muges. 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 (≈ 200 ml/m³ 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.

3.3 Résultats

3.3.1 Survie des poissons

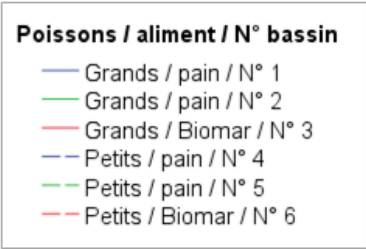
La survie des poissons a été excellente (98-100% par bassin) quelle que soient la classe de taille des poissons et le type d'aliment.

3.3.2 Effet de la température

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 9, Figure 10 et Annexe Tableau 3 à Annexe Tableau 5). La croissance des poissons est liée à l'alimentation qui est elle-même très liée à la température de l'eau (Figure 11). 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. 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.







3.3.3 Question sur le raisonnement

24

était rendue difficile par le grand volume des bassins, la faible densité des poissons et leurs déplacements plus rapides avec le réchauffement de l'eau.

Ce souci potentiel de l'alimentation a été constatée lors de la biométrie du 30/06. A partir de cette date, le nourrissage a été effectué avec une plus grande attention ce qui s'est traduit par une augmentation de la quantité distribuée quasiment continue durant 1 mois. Il est donc très probable que l'alimentation n'ait pas été suffisante au moins pour les petits poissons durant 2 mois, en mai et juin.

3.3.4 Consommation de l'aliment et indice de conversion

Les grands poissons consomment davantage d'aliment en quantité mais pas en taux de rationnement. Lors de la biométrie du 5/4, 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 taux de croissance des petits poissons est supérieur 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. Il en est de même pour les petits poissons au printemps. En revanche, chez les petits poissons en été, 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.

3.4 Discussion

3.4.1 Bilan du test

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 franchement élevé. Pour mémoire, il était de 3,04 avec 100% de remplacement du maïs par le pain en prégrossissement (2^{ème} test, § 0), ce qui était mieux mais pas très bon non plus.

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, et en considérant un prix de l'aliment de 1,3 €/kg (prix de l'aliment Biomar), le prix de revient de l'aliment serait de 6,18 € par kg de poissons produits. 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 (Tableau 7). En particulier, le volume des bacs d'élevage doit être en adéquation avec le nombre de poissons disponibles afin d'appliquer une densité suffisante. Un nombre suffisant de poissons juvéniles contribuerait aussi à garantir la densité ; l'approvisionnement en poissons juvéniles sauvages a été une des grandes difficultés du projet.

Tableau 7 : Possibles améliorations pour les tests d'élevage de grossissement des muges.

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.

^a Par exemple, avec des bacs de 1 m³ et 10 kg/m³ : 100 poissons de 100 g par bac soit 400 poissons par type d'aliment (4 bacs) soit 800 poissons au total pour 2 types d'aliment.

^b Température et pression dans l'extrudeur et diamètre des granulés produits. Ces améliorations sont effectives depuis récemment sur la machine utilisée au CIRAD.

3.4.2 Comparaison avec la littérature

Onze tests d'alimentation des muges ont été publiés mais un seul concerne *Liza ramada* et avec de très petits poissons, de même que cinq autres, sur d'autres espèces et avec également de très petits poissons (poids vif 1-5 g) (Tableau 8). Il reste donc cinq tests réalisés avec des poissons dont le poids correspond à peu près aux nôtres ; ils ont été réalisés avec *Mugil cephalus* et, pour un essai, avec *Chelon labrosus*.

Le Tableau 8 présente également des données non publiées d'une précédente expérimentation réalisée par Philippe Cacot à la station IFREMER de Palavas en 2013 ; il s'agissait d'un test de substitution du tourteau de soja par de la farine d'ulve dans un granulé expérimental non extrudé (IC 3,50) et d'une alimentation avec un granulé extrudé industriel à 32% de protéines et 8% de lipides (IC 2,05). Ce dernier résultat d'IC se trouve corroboré par les deux autres obtenus durant la présente étude : il est donc possible d'obtenir un IC correct (proche de 2) avec le muge *Liza ramada* nourri avec un granulé industriel pour poisson omnivore (ici le tilapia). Un $IC \leq 2$ peut donc être considéré comme un objectif à atteindre pour de prochains tests d'alimentations.

Enfin, on note dans la bibliographie que les meilleures performances d'IC et de croissance sont rapportées avec *Mugil cephalus*. Il s'agit de la plus grande espèce de muge qui peut atteindre 8 kg, et élevée en étang ; elle a donc vraisemblablement un potentiel de croissance que *Liza ramada*. De plus, les essais avec *M. cephalus* ont été réalisés en étangs, donc avec un apport d'aliment naturel complémentaire (notamment dans les sédiments) certainement profitable aux poissons.

Tableau 8 : Bilan des performances de croissance disponibles chez plusieurs espèces de muges.

Référence		Espèce	Milieu d'élevage	Température moyenne (°C)	Poids initial - final (g)	Protéines / lipides (% aliment)	Taux de rationnement (%/jour)	Croissance spécifique (%/jour)	IC
Présente étude en prégrossissement (2 ^{ème} test)	Aliment industriel	<i>Liza ramada</i>	Bac (circuit fermé)	27,2	42,4-56	35,5/10	2,26	1,21	1,91
	100% pain	<i>Liza ramada</i>	Bac (circuit fermé)	27,2	42-52,1	32,9/7,3	2,82	0,94	3,04
Présente étude en grossissement avec petits muges (en été)	Aliment industriel	<i>Liza ramada</i>	Bac (circuit ouvert)	24,6	146,8-199,7	32/9	1,22	0,49	2,12
	Aliment pain	<i>Liza ramada</i>	Bac (circuit ouvert)	24,6	142,5-193,05	32,6/8	2,43	0,55	4,75
Cacot (com. pers.)		<i>Liza ramada</i>	Bac	22,5	71-201	32/8	1,99	0,97	2,05
El-Sayed (1991)		<i>Liza ramada</i>	Bac	16	0,13-1,58	41,46/13,41	1,84	3,46	1,51
Wassef et al. (2001)		<i>Mugil cephalus</i>	Cages en étangs	26,5	6,4-71,1	40,9/6,5	~ 4	2,44	1,61
Biswas et al.(2012)		<i>Mugil cephalus</i>	Etang	32,6	0,55 95,71	27,5/5,2	20 à 5	3,44	1,61
Barman et al. (2005)		<i>Mugil cephalus</i>	Etang	21,2	1,22 90,53	40,0/7,4	5,0	4,70	?
Papaparaskeva- Papoutsoglou & Alexis (1986)		<i>Mugil cephalus</i>	Bac	23	2,50 – 9,76	25,5/8	9,76	1,40	2,48
Davies et al. (1997)		<i>Chelon labrosus</i>	Bac	22	1,15 – 9,26	47,3 / 13,5	4,0	2,99	1,83

rendement moyen entre le meilleur fileteur et le moins bon est de 11,9% (Figure 14). Le type d'aliment n'a pas d'effet significatif sur le rendement de filetage avec peau. Il est similaire entre les deux types d'aliment avec les données incluant également les viscères (Figure 15). En considérant les poissons travaillés par les 5 meilleurs fileteurs, le rendement de filetage avec peau est en moyenne de 44,7% pour les 2 types d'aliments confondus (N = 29).

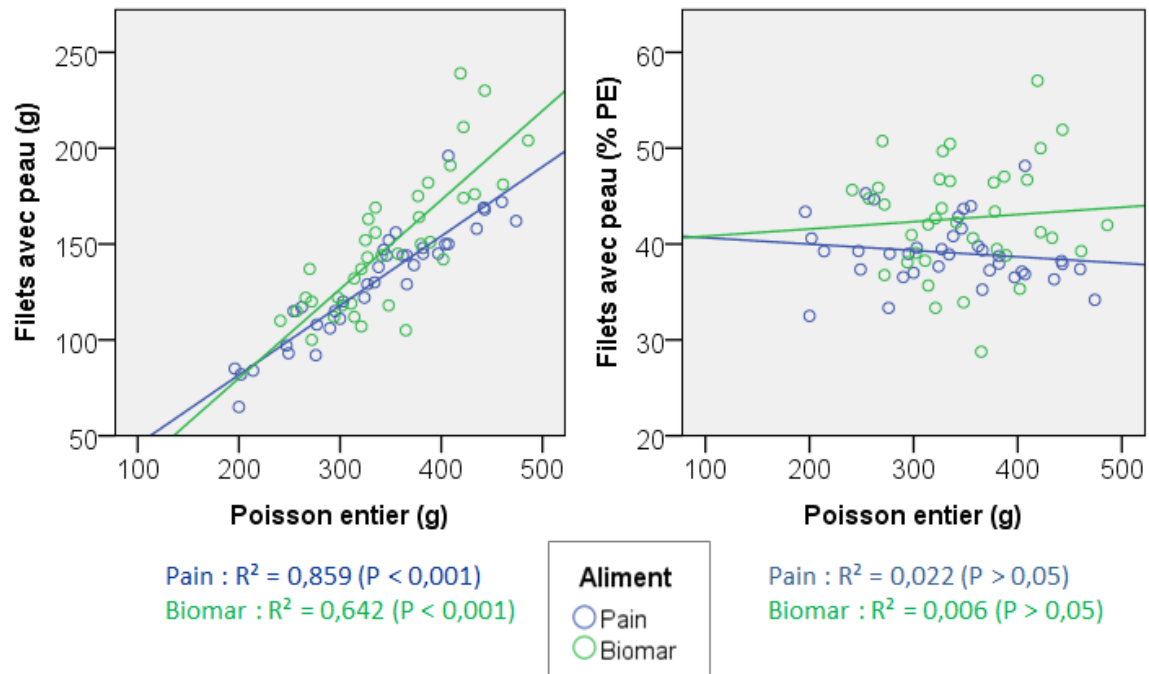


Figure 13 : Relation entre le rendement de filetage avec peau et le poids du poisson entier.

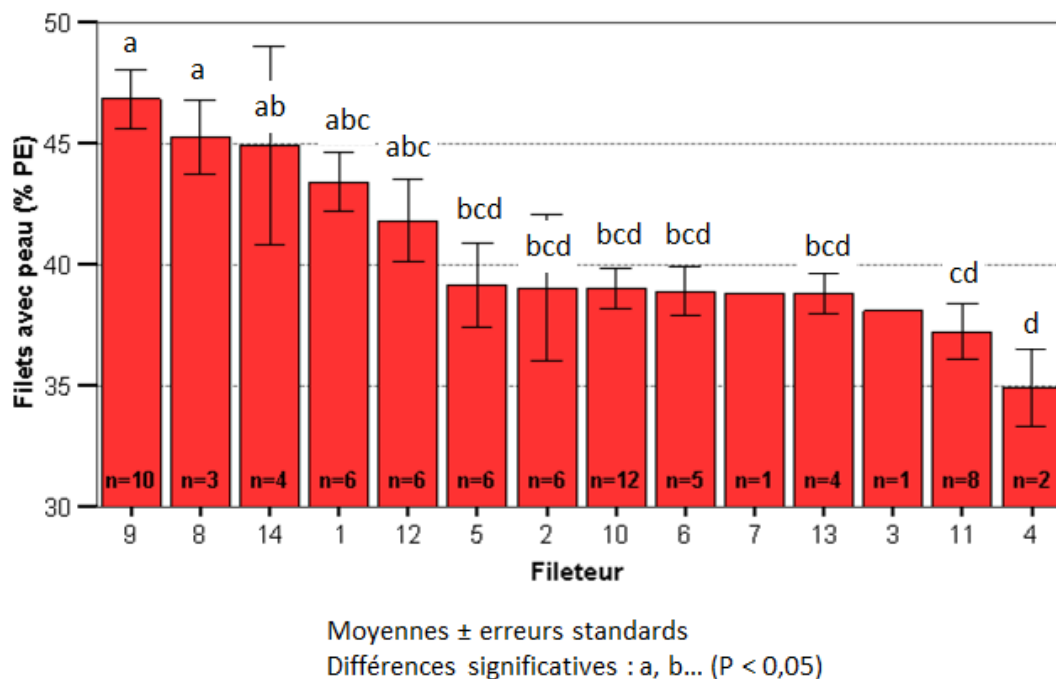
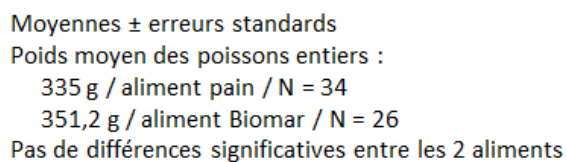
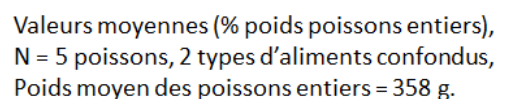


Figure 14 : Rendement de filetage avec peau par fileteur.



Les filets ont pu être davantage travaillés en enlevant la peau puis le muscle brun mais cela ne concerne que 5 poissons (Figure 16). Ceux-ci n'ont hélas pas été travaillés par les meilleurs fileteurs. En moyenne, le filet « paré » ne représente plus que 26,5% du poids du poisson entier en partant d'un filet entier de 38,9%. Ce résultat serait à préciser en garantissant la qualité du filetage.



31

Le rendement de filetage avec peau de nos muges semblent plutôt bien se placer par rapport à plusieurs autres espèces d'aquaculture connues en Europe ou sur le bassin méditerranéen (Tableau 9). 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.

Tableau 9 : Rendements de filetage de plusieurs espèces piscicoles connues en Europe et/ou sur le pourtour méditerranéen .

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)

^a Tous les poissons filetés,

^b Les poissons a priori les mieux filetés,

^c Résultat possiblement non représentatif (qualité du filetage incertaine).

Note : les données citées ne sont pas exhaustives.

4.2 Qualité gustative de la chair des poissons

4.2.1 Test triangulaire

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.

Pour 61% des goûteurs, les muges nourris au pain se distinguaient des muges nourris à l'aliment Biomar (Annexe Tableau 8). La différence était perçue sur la texture (39%), l'odeur (35%), le goût (30%) et un petit peu sur la couleur (4%).

4.2.2 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 (Annexe Tableau 9 et Annexe Tableau 10).

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 Viêt Nam 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 Viêt Nam 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 personnes 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.

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 17). 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 ; l'éventuel ajout d'additifs aux filets pourrait aussi avoir un effet sur le goût.

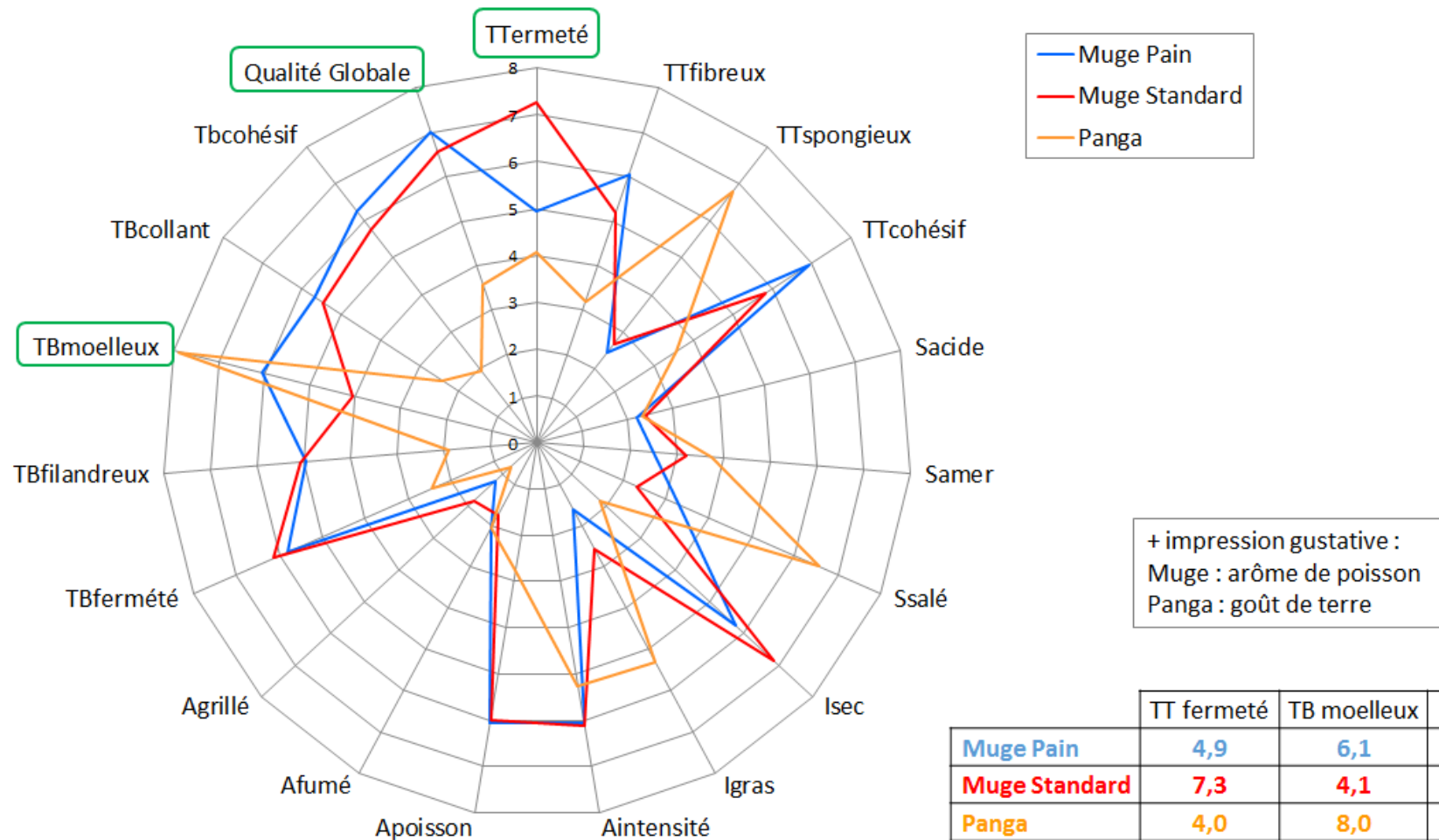


Figure 17 : Test de dégustation de la chair de muge (nos poissons) et de panga (*Pangasianodon hypophthalmus* importé du Vietnam).

Source : Isabelle Maraval (CIRAD, UMR QualiSud).

Muge Standard = muges nourris avec l'aliment Biomar.

4.3 Perspectives

Nos résultats montrent que les muges issus de l'élevage avec les deux types d'aliment sont intéressants au niveau du rendement de filetage et de la qualité organoleptique de la chair. De possibles améliorations dans la démarche de l'étude sont proposées dans le Tableau 10.

Par ailleurs, il serait utile de réaliser des essais préparations culinaires afin d'identifier celles qui permettraient une valorisation optimale de la chair des muges. Cet aspect a déjà été abordé durant la présente étude. Des plats cuisinés ont été préparés au Lycée de la Mer avec les étudiants en poissonnerie. Ils ont utilisé les filets des 74 muges après la séance de filetage ; 4 types de plats cuisinés avaient été préparés et tous étaient goûteux (sans plus de détails fournis).

Enfin, il serait utile de se pencher sur la valorisation des « déchets » de filetage qui représentent environ 55% du poids des poissons entiers. Ces déchets incluent surtout la carcasse mais aussi les viscères, la peau et le muscle brun. La valorisation pourrait concerner la production de produits destinés à l'alimentation humaine (plats cuisinés) ou animale (farine et huile de poissons).

Tableau 10 : Possibles améliorations de l'étude de la qualité de la chair des muges.

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)
Identification du sexe des poissons et du stade de maturité sexuelle	- 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	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).
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	- 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).

^a Des échantillons de la présente étude sont stockés (congelés) et pourraient être analysés.

^b Coefficient de condition = $100 \times \text{poids (g)} / \text{longueur (cm)}^3$

❖ Conclusion

Un des deux tests effectués en prégrossissement montre qu'il est possible de recycler le pain rassis dans un aliment pour muges. Les résultats sont moins bons qu'avec l'aliment industriel mais les différences ne sont pas énormes (-22,3% en croissance et + 59,1% en IC). Par ailleurs, l'IC obtenu avec l'aliment industriel est correct (< 2) ce qui montre de ce point de vue le potentiel aquacole du muge. Nous pouvons raisonnablement faire l'hypothèse que l'optimisation de la fabrication des aliments améliorerait sensiblement les résultats avec l'aliment pain. Une meilleure extrusion augmenterait notamment la cohésion des granulés et réduirait des pertes. Le maintien d'une part suffisante de maïs (10-15%) dans la formulation (avec 25-20% farine de pain) contribuerait aussi à une meilleure cohésion des granulés. Ces hypothèses sont renforcées par les très bons résultats d'un test d'alimentation réalisé récemment chez LPDS avec des juvéniles de daurades dans des conditions similaires.

En revanche, l'essai de l'aliment pain avec les muges en phase de grossissement ne permet pas de conclure ; le meilleur IC obtenu avec cet aliment est trop élevé (4,75). Nous recommandons donc de refaire ce test dans de meilleures conditions. Outre l'optimisation de la cohésion du granulé, il est nécessaire d'améliorer le dispositif d'élevage. Des bacs assez petits sont recommandés (1 m^3) ainsi que des densités de poissons suffisantes (≥ 5 voire 10 kg/m^3) pour pouvoir bien contrôler la consommation de l'aliment et ainsi ajuster au mieux les quantités distribuées. De plus, un circuit fermé pourrait être utilisé plutôt qu'un circuit ouvert afin de bénéficier d'une température suffisante ($\geq 16^\circ\text{C}$) plus longtemps dans l'année.

L'essai d'élevage en grossissement a cependant permis de produire des poissons de qualité. Le rendement de filetage est bon et la chair est bonne. Celle-ci se démarque bien de celle du panga importé et il est donc envisageable de proposer aux consommateurs un « nouveau » produit intéressant, à un prix peut-être compétitif. Ce prix dépendra notamment du résultat d'un nouveau test d'élevage en grossissement.

Le projet se poursuit en ciblant la durabilité de l'apport protéique dans l'aliment du muge. Un élevage de prégrossissement en circuit fermé est en cours pour tester le remplacement du tourteau de soja par de la farine d'une macroalgue (ulve, *Ulva rigida*). Cette algue a d'ailleurs été cultivée dans le circuit fermé des tests de prégrossissement avec l'aliment pain.

Par ailleurs, dans une perspective d'étude et de valorisation des muges à plus long terme en Occitanie, nous pouvons suggérer les pistes suivantes :

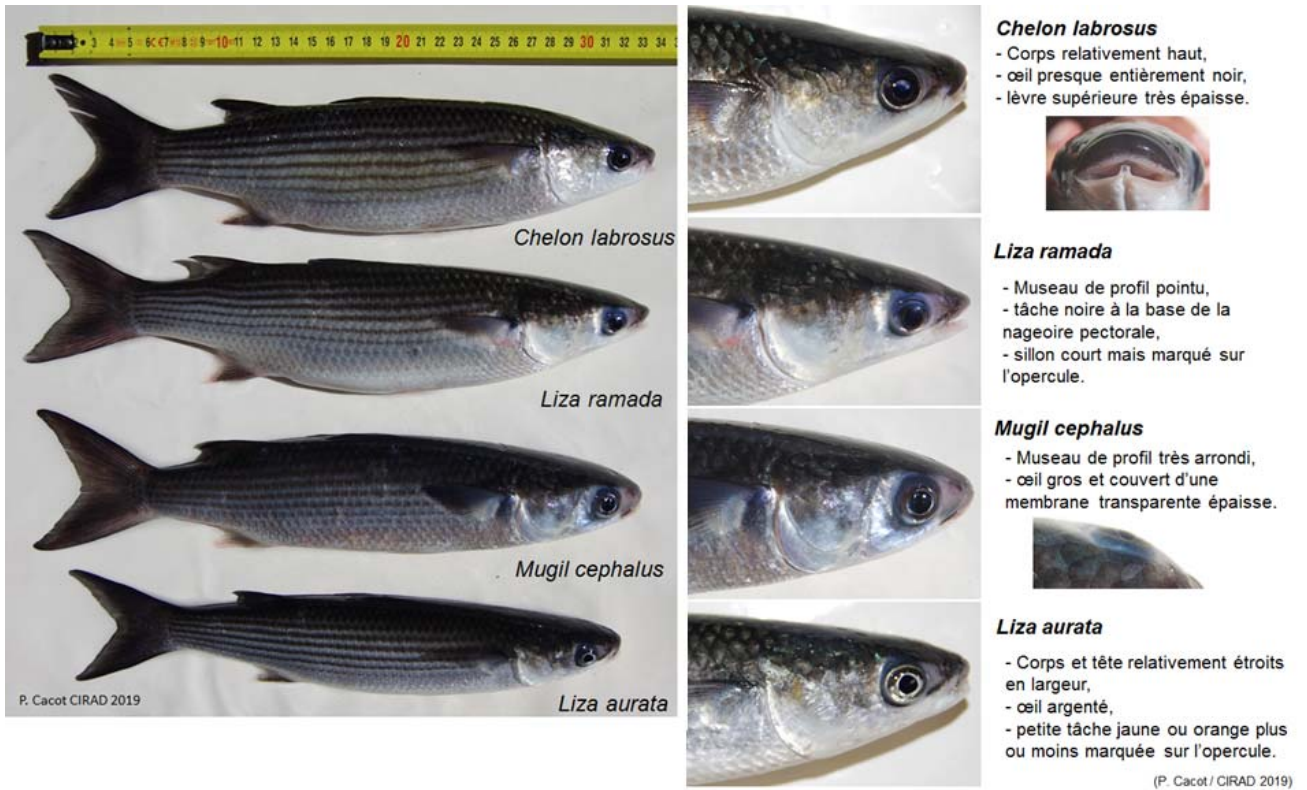
- 1) Evaluer le potentiel aquacole des autres muges : *Mugil cephalus* (le plus grand des muges), *Chelon labrosus* (consommation d'algues ?) et *Liza aurata* (le plus apprécié).
- 2) Tester l'élevage en lagunes. Cela devrait permettre de réduire l'IC par le recyclage des rejets des muges dans le réseau trophique. Nous pourrions évaluer la faisabilité de cet élevage « propre » dans ce milieu au potentiel aquacole considérable.
- 3) Tester l'élevage des muges intégré à d'autres élevages aquacoles. La fonction détritivore-épuratrice du muge serait exploitée pour recycler les rejets de poissons carnassiers (bar, daurade, truite) ou de crevettes (en bassins ou en lagunes).
- 4) Assurer l'approvisionnement en muges juvéniles. Indispensable au développement de la production, cet approvisionnement pourrait être un mix entre la collecte de poissons sauvages et la production d'alevins en écloséries.

❖ Références

- 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.
- Baizeau V. (2017) Contribution de l'aquaculture au recyclage alimentaire : Essai de substitution de la farine de maïs par du pain rassis dans un aliment pour le muge *Liza ramada*. Licence Professionnelle Aquaculture Durable et gestion de la Qualité. Université de Savoie Mont-Blanc et Institut des Sciences de l'Environnement et des Territoires d'Annecy, 49 p.
- 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.
- 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.
- Burdéos G. (2018) Essais de substitution de la farine de maïs par de la farine de pain et de la farine de soja par de la farine d'algue. Licence Professionnelle Aquaculture Durable et gestion de la Qualité. Université de Savoie Mont-Blanc et Institut des Sciences de l'Environnement et des Territoires d'Annecy, 38 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-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.
- 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 x 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.
- 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.

- Jankowska B., Zakęś 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ravatua H. (2017) Recyclage des déchets de pain dans un aliment aquacole : test du remplacement de la farine de maïs par de la farine de pain dans un granulé extrudé pour le muge (*Liza ramada*). Licence Bioressources Aquatiques en Environnement Méditerranéen et Tropical. Université de Montpellier, 15 p.
- 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.
- Wassef 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.

 Annexes



Annexe Figure 1 : Quatre des cinq espèces de muges présentes sur le littoral méditerranéen en Occitanie (5^{ème} espèce : *Liza saliens*).

A : sortes de langues situées dans les cavités branchiales (B).
Elles semblent frotter contre les arcs branchiaux

Un des arcs branchiaux antérieurs.
Les branchiospines (C) sont nombreux, fins et arrangés en peigne.

(P. Cacot/ CIRAD 2019)

Annexe Figure 2 : Organe « pharyngo-branchial » du muge *Liza ramada*.

Annexe Tableau 1 : Température et oxygène dissous dans les bacs poissons durant les essais de prégrossissement.

	Type d'aliment				
	0 % pain	33 % pain	67 % pain	100 % pain	V Tilapia
1^{ère} expérience					
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 (% sat.)	^{ab} 81,0 ± 0,3	^b 80,4 ± 0,3	^a 81,6 ± 0,3	^b 80,6 ± 0,3	-
2^{ème} expérience					
Température (°C)	^{***} 27,2 ± 0,2	^{***} 27,2 ± 0,2	^{***} 27,2 ± 0,2	^{***} 27,2 ± 0,2	27,2 ± 0,2
Oxygène (mg/L)	^{***/a} 5,01 ± 0,08	^{***/b} 4,80 ± 0,06	^{***/ab} 4,84 ± 0,06	^{***/ab} 4,93 ± 0,07	^{ab} 4,86 ± 0,06
Oxygène (% sat.)	[*] 78,5 ± 1	^{***} 75,8 ± 0,8	^{***} 76,2 ± 0,8	^{***} 77,6 ± 0,9	76,4 ± 0,8

Valeurs moyennes ± erreurs standards de la moyenne

Différences significatives entre les types d'aliments pour chaque expérience : a, b (P < 0,05) (test de Duncan précédé d'une Anova).

Différences significatives entre les deux expériences : * (P < 0,05), et *** (P < 0,001) (test T).

Annexe Tableau 2 : pH et sels nutritifs dissous dans le château d'eau du circuit fermé durant les essais de prégrossissement.

	1 ^{ère} expérience	2 ^{ème} expérience
pH	7,6 ± 0,1	^{***} 8,0
CO ₂ estimé (mg/L) ^a	2,1 ± 0,4	1,0
N-(NH ₃ + NH ₄) (mg/L)	0,19 ± 0,03	0,16 ± 0,03
N-NO ₂ (mg/L)	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00
N-NO ₃ (mg/L)	1,13 ± 0,10	1,28 ± 0,21
N total (mg/L)	1,33 ± 0,11	1,45 ± 0,10
P-PO ₄ (mg/L)	0,15 ± 0,05	0,11 ± 0,01
KH	Pas mesuré	5,60 ± 0,13

Valeurs moyennes ± erreurs standards de la moyenne

Différences significatives entre les deux expérimentations : *** (P < 0,001) (test T),

^a CO₂ estimé du pH avec l'eau de l'Etang de Thau : CO₂ (mg/L) = 9 x 10¹² x pH^{-14,34}

Annexe Tableau 3 : Principaux résultats du test de l'aliment à base de farine de pain en phase de grossissement (1 sur 3).

Type de poissons	Grand			Petit		
Type d'aliment	Pain	Pain	Biomar	Pain	Pain	Biomar
Bassin N°	1	2	3	4	5	6
Biométrie initiale (N°1)	22/12/2017			22/12/2017		
Total/bac						
N poissons total	120	120	120	130	130	130
Poids vif moyen (g)	313	291	313	68	74	73
Taux de rationnement (% biomasse)	0,06	0,06	0,06	0,14	0,14	0,14
Mesures individuelles						
N poissons	30			34		
Poids vif moyen (g)	320			58,8		
Biométrie N°2	05/04/2018			05/04/2018		
Durée (jours)	104			104		
Total/bac						
N poissons total	120	118	121	129	131	132
Survie (%)	100,0	98,3	100,0	99,2	100,0	100,0
Poids vif moyen (g)	290,9	271,8	286,2	66,5	70,5	70,6
Croissance g/j	-0,2	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0
Croissance %/j	-0,07	-0,07	-0,09	-0,02	-0,05	-0,03
Taux de rationnement (% biomasse)	0,40	0,40	0,40	0,69	0,62	0,68
IC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Mesures individuelles						
N poissons	42	40	40	46	43	44
Poids vif moyen (g)	297,3	258,8	289,8	67,58	73,33	73,3
Longueur moyenne (cm)	29,3	28,1	29,2	18,3	18,53	18,22
Coefficient de condition *	1,18	1,17	1,16	1,10	1,15	1,21

* Coefficient de condition = $100 \times \text{poids vif (g)} / \text{longueur (cm)}$,

NC : non calculé car pas pertinent.

Annexe Tableau 4 : Principaux résultats du test de l'aliment à base de farine de pain en phase de grossissement (2 sur 3).

Type de poissons	Grand			Petit		
Type d'aliment	Pain	Pain	Biomar	Pain	Pain	Biomar
Bassin N°	1	2	3	4	5	6
Biométrie N°3	30/06/2018			03/08/2018		
Durée intermédiaire (jours)	86			120		
Durée totale (jours)	190			224		
Total/bac						
N poissons total	120	118	121	131	126	128
Survie (%)	100,0	98,3	100,0	100,0	96,9	98,5
Poids vif moyen (g)	322,2	343,7	326,9	136,6	148,4	146,8
Taux de rationnement (% biomasse)	1,52	1,34	1,47	1,94	2,18	1,45
Résultats intermédiaire (N°2-N°3)						
Croissance g/j	0,36	0,84	0,47	0,58	0,65	0,64
Croissance %/j	0,12	0,27	0,15	0,60	0,62	0,61
IC	7,06	2,69	5,32	2,95	3,42	3,11
Résultats globaux (N°1-N°3)						
Croissance g/j	0,05	0,28	0,07	0,31	0,33	0,33
Croissance %/j	0,05	0,00	0,06	0,31	0,32	0,30
IC	7,87	NC	15,63	3,26	3,79	3,24
Mesures individuelles						
N poissons	42	30	40	32	31	30
Poids vif moyen (g)	345,9	288,9	347,6	137,2	151	143,4
Longueur moyenne (cm)	30,5	29,2	30,2	22,3	23,2	22,7
Coefficient de condition *	1,22	1,16	1,26	1,24	1,21	1,23

* Coefficient de condition = $100 \times \text{poids vif (g)} / \text{longueur (cm)}$,

NC : non calculé car pas pertinent.

Annexe Tableau 5 : Principaux résultats du test de l'aliment à base de farine de pain en phase de grossissement (3 sur 3).

Type de poissons	Grand			Petit		
Type d'aliment	Pain	Pain	Biomar	Pain	Pain	Biomar
Bassin N°	1	2	3	4	5	6
Biométrie N°4	Pas de biométrie			01/10/2018		
Durée intermédiaire (jours)				28		
Durée totale (jours)				283		
Total/bac						
N poissons total				129	128	129
Survie (%)				99,2	98,5	99,2
Poids vif moyen (g)				184,2	201,9	199,7
Taux de rationnement (% biomasse)				2,53	2,32	1,22
Résultats intermédiaire (N°3-N°4)						
Croissance g/j				0,90	0,92	0,83
Croissance %/j				0,56	0,53	0,49
IC				5,64	3,85	2,12
Résultats globaux (N°1-N°4)						
Croissance g/j				0,43	0,45	0,43
Croissance %/j				0,36	0,36	0,35
IC				NC	NC	NC
Mesures individuelles						
N poissons				31	30	29
Poids vif moyen (g)				189,8	202,5	195,8
Longueur moyenne (cm)				24,2	25,3	25,0
Coefficient de condition				1,34	1,25	1,26

* Coefficient de condition = $100 \times \text{poids vif (g)} / \text{longueur (cm)}$,

NC : non calculé car pas pertinent.

Annexe Tableau 6 : Résultats globaux du rendement de filetage avec peau.

Aliment		Poisson entier (g)	Filets avec peau	
			(g)	(% poisson entier)
Pain (N = 37)	Moyenne	334,6	130,5	39,1
	Ecart type	75,7	29,5	3,4
	Coef. de variation (%)	22,6%	22,6%	8,6%
	Minimum	196,0	65,0	32,5
	Maximum	474,0	196,0	48,2
Biomar (N = 37)	Moyenne	349,2	* 149,4	** 42,7
	Ecart type	61,3	35,6	5,8
	Coef. de variation (%)	17,6%	23,8%	13,7%
	Minimum	241,0	100,0	28,8
	Maximum	486,0	239,0	57,0
Total (N = 74)	Moyenne	341,9	139,9	40,9
	Ecart type	68,8	33,9	5,1
	Coef. de variation (%)	20,1%	24,2%	12,4%
	Minimum	196,0	65,0	28,8
	Maximum	486,0	239,0	57,0

Différences significatives entre les 2 types d'aliment : * (P < 0,05) ; ** (P < 0,01).

Annexe Tableau 7 : Effet des paramètres sur le rendement de filetage avec peau.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Filets avec peau (% PE)

Source	Somme des carrés de type III	% Variance expliquée	ddl	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	848,458a		15	56,564	3,2	0,001	0,453
Constante	4101,563		1	4101,563	232,013	0	0,8
Poisson entier (g)	3,332	0,2%	1	3,332	0,188	0,666	0,003
Aliment	16,467	1,0%	1	16,467	0,931	0,338	0,016
Fileteur	608,374	36,8%	13	46,798	2,647	0,006	0,372
Aliment * Fileteur	0	0,0%	0	.	.	.	0
Erreur	1025,331	62,0%	58	17,678			
Total	1653,504	100,0%					
Total	125666,004		74				
Total corrigé	1873,789		73				

a R-deux = ,453 (R-deux ajusté = ,311)

Annexe Tableau 8 : Résultats détaillés du test triangulaire réalisé avec la chair de muges.

Juges	Réponses	Commentaires
1	A	A: plus ferme, chair plus jaune / B et C: moins ferme, chair blanche, farineux et collant
2	A	A: gout différent, moins d'odeur
3	A	A: plus sec, moins d'odeur, moins onctueux
4	A	A: moins d'odeur et de gout, texture plus sèche
5	B	B: plus amer que A et C, odeur moins forte
6	C	C: plus ferme, gout plus prononcé
7	C	C: gout moins "vase"
8	A	A: moins d'odeur, plus ferme, moins de gout
9	A	A: gout plus prononcé, texture plus ferme
10	B	B: texture moins ferme, odeur moins iodée
11	B	B: texture plus molle, odeur plus forte
12	A	A: plus gras, plus de gout
13	A	-
14	A	A: gout et odeur moins fort
15	A	A: odeur plus forte, texture plus ferme
16	B	B: goût différent, plus pâteux
17	C	C: odeur plus forte
18	A	A: plus friable, moins fondant
19	C	C: odeur et texture différentes, ne colle pas
20	B	B: plus flasque, moins fibreux que les 2 autres
21	A	A: plus dur
22	A	A: plus friable, odeur moins prononcée, plus ferme
23	A	A: moins d'odeur et de gout

Alimentation des muges : A : aliment Biomar ; B et C : aliment pain.

Bilan des réponses : A : 14 ; B : 5 ; C : 4.

Source : Isabelle Maraval (CIRAD, UMR QualiSud).

Annexe Tableau 9 : Paramètres d'évaluation du test de dégustation de la chair des poissons.

Texture au toucher	Fermeté	Propriété mécanique liée à la force nécessaire pour obtenir une déformation du poisson	Avec le dos de la fourchette, évaluer la fermeté en notant la force nécessaire à apporter pour déformer l'échantillon	0: Fondant 5: Tendre 10: Ferme
	Fibreux	Lié à la perception de la dimension, de la forme et du nombre de particules fibreuses du produit	Prendre une partie de l'échantillon avec la fourchette et juger de la taille et du nombre de particules fibreuses du produit	0: Faible 10: Elevé
	Spongieux	Propriété de texture de la surface qualifiant la perception de la quantité d'eau absorbée ou libérée par un produit	Avec le dos de la fourchette, par pression, évaluer la quantité d'eau libérée par la poisson	0: Faible 10: Elevé
	Cohésif	Propriété mécanique de texture liée à la cohésion et à la dureté ainsi qu'à la force nécessaire pour qu'un produit s'effrite ou se brise	Avec la fourchette, couper un morceau de poisson et juger de la facilité de la séparation du produit et/ou de sa cohésion	0: se délite 10: cohésif
Saveur	Acide	Saveur fondamentale (acide citrique, tartrique, ...)	Prendre une partie de l'échantillon en bouche, le faire tourner en bouche et juger de la présence et de l'intensité des saveurs fondamentales	0: Faible 10: Elevé
	Amer	Saveur fondamentale (solution de quinine ou de caféine)		0: Faible 10: Elevé
	Salé	Saveur fondamentale (chlorure de sodium,)		0: Faible 10: Elevé
Impression	Sec	Propriété de texture qualifiant la perception de la quantité d'eau libérée par un produit	Prendre une bouchée de l'échantillon et évaluer la sensation de présence d'eau et de matière grasse de l'échantillon	0: juteux 5: humide 10: sec
	Gras	Propriété de texture liée à la perception de la quantité ou de la qualité de la matière grasse présente sur la surface ou contenue dans le corps d'un produit		0: maigre 5: huileux 10: gras

Annexe Tableau 10 : Paramètres d'évaluation du test de dégustation de la chair des poissons (suite).

Arôme	Intensité Aromatique	Intensité globale de la totalité des arômes de l'échantillon	Mettre en bouche une cuillère d'échantillon, mastiquer et faire entrer de l'air en bouche afin de détecter les arômes par rétro-olfaction	0: Faible 10: Elevé
	Poisson	Arôme caractéristique du poisson		0: Faible 10: Elevé
	Fumé	Arôme lié au caractère fumé du poisson		0: Faible 10: Elevé
	Grillé	Arôme de grillé ou torréfié		0: Faible 10: Elevé
Texture en bouche	Fermeté	Propriété mécanique liée à la force nécessaire pour obtenir une déformation du poisson	Lors des 2/3 premières mastications, évaluer la force nécessaire pour déformer le produit	0: Fondant 5: Tendre 10: Ferme
	Filandreux	Lié à la perception de la dimension, de la forme et du nombre de particules filandreuses du produit	Lors des 2/3 premières mastications, évaluer la quantité de matière filandreuse et la taille de celle-ci	0: Faible 10: Elevé
	Moelleux	propriété mécanique de texture liée à la résistance à l'écoulement	Après 5 à 6 mastications, évaluer la fluidité du produit en bouche	0: épais 10 : moelleux
	Collant	Force nécessaire pour décoller la fraction de produit adhérent à l'intérieur de la cavité buccale ou au niveau des dents	Après 5 à 6 mastications, évaluer la force nécessaire pour décoller la fraction du produit adhérent au niveau des dents	0 : pâteux 5: adhérent 10: collant
	Cohésif	Propriété mécanique de texture liée à la cohésion et à la dureté ainsi qu'à la force nécessaire pour qu'un produit s'effrite ou se brise	Après 5 à 6 mastications, évaluer la friabilité ou la cohésion de l'échantillon (l'échantillon fait une "boule" ou est en morceaux)	0: se délite 10: cohésif



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 :

