



HAL
open science

Évaluation des facteurs de production et des paramètres d'élevage en circuit recirculé permettant d'obtenir une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) dont la qualité organoleptique et technologique répond à la demande du marché

Eugénie Tardieu

► To cite this version:

Eugénie Tardieu. Évaluation des facteurs de production et des paramètres d'élevage en circuit recirculé permettant d'obtenir une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) dont la qualité organoleptique et technologique répond à la demande du marché. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03566221

HAL Id: dumas-03566221

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03566221>

Submitted on 11 Feb 2022

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

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

<p>Année universitaire : 2020 - 2021</p> <p>Spécialité : Sciences Halieutiques et Aquacoles</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : Aquaculture</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
--	---

Evaluation des facteurs de production et des paramètres d'élevage en circuit recirculé permettant d'obtenir une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) dont la qualité organoleptique et technologique répond à la demande du marché

Par : Eugénie TARDIEU



Soutenu à Rennes le 14/09/2021

Devant le jury composé de :

Président : Catherine Guérin

Maître de stage : Gwenn Guillaumie

Enseignant référent : Hervé Le Bris

Autres membres du jury (Jérôme Bugeon, Jury extérieur)

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

Table des matières :

Introduction	p1
1. Contexte : Etat des lieux de la production de truites en Belgique et présentation de BIGH.....	p2
2. Chapitre Bibliographique p4	
2.1 Aperçu des différents critères de la qualité d'une truite et des conditions d'élevage impactant cette qualité	p4
2.2 L'origine de l'off-flavor, ses caractéristiques et les moyens de lutte en élevage.....	p5
2.3 La coloration de la chair de truite : procédés et enjeux.....	p6
2.4 Outils d'évaluation de la qualité organoleptique et technologique de la chair de truite appliqués à la mesure de l'off-flavor, à la coloration de la chair et à son taux de gras.....	p7
3. Matériel et Méthodes	p8
3.1 Enquête auprès du consommateur : regroupement des consommateurs ciblés en catégories, mise en application et diffusion du questionnaire.....	p8
3.2 Estimation de l'effet des paramètres de purging et d'élevage sur l'efficacité d'épuration de l'off-flavor des truites et conséquences du jeune sur leur poids moyen.....	p9
3.3 Etablissement d'un protocole de coloration des truites plus économe en pigment.....	p10
3.4 Evaluation du taux de gras des truites purgées et appréciation des résultats pour le fumage .	p11
4. Résultats et discussions.....	p12
4.1 Etude de l'attente du consommateur concernant les critères de qualité étudiés et ceux du prix et du format de vente de la truite	p12
4.1.1 Une population enquêtée représentative des potentiels clients de la truite produite par BIGH.....	p12
4.1.2 Critères d'achats, préférences et formats de vente de la truite.....	p14
4.1.3 Caractérisation des préférences du consommateur vis-à-vis de la couleur de chair, de la sensation de gras et du goût de vase afin de moduler les paramètres et les objectifs de production étudiés.....	p16
4.2 Des conditions de purging ayant un impact fort sur l'épuration de l'off-flavor et permettent de réaliser un itinéraire de purging.....	p18
4.2.1 Evaluation de l'effet du nombre de jours de purging, du pourcentage de renouvellement en eau et de la mise à jeun sur l'odeur et le goût de vase de la truite et établissement d'un protocole de purging.....	p18
4.2.2 Effet d'autres paramètres de purging et d'élevage sur l'efficacité d'épuration de l'off-flavor : importance du nettoyage des structures et de la propreté du système.....	p22
4.2.3 Estimation de la perte de poids en purging : des prévisions en fonction de sa durée bien que la température et le poids des truites l'influencent.....	p24
4.2.3.1 Les paramètres influençant la perte de poids en purging.....	p24
4.2.3.2 Etablissement d'un tableau prévisionnel de la perte de poids à partir de la durée de jeune uniquement	p26
4.3 Optimisation de l'utilisation d'aliment pigmenté	p28
4.3.1 Une couleur optimale atteinte après le doublement du poids moyen des truites, avec un aliment contenant 25ppm de pigments.....	p28
4.3.2 Etablissement d'un tableau prévisionnel de la perte de poids à partir de la durée de jeune uniquement	p30
4.4 Un taux de gras limité dans la chair des truites pour des poids moyen d'abattages modérés : conséquence sur la fumaison.....	p32
4.4.1 Le taux de gras est fortement dépendant du poids et de la longueur des truites, quel que soit les conditions de purging subies.....	p32
4.4.2 Des taux de gras adaptés à la fumaison pour des poids moyen d'abattage limités à 1kg.....	p32
Conclusion	p34
Bibliographie	p36
Sitographie	p39

Liste des illustrations :

Figure 1 : Schéma du RAS comportant 10 bassins de grossissement, 2 bassins de purging et 2 hybrides pouvant faire office de bassin de grossissement ou de purging. Les lignes jaunes correspondent à la circulation d'eau « sale » dans le système et les lignes bleues d'eau « propre ».	
Source : © BIGH, 20213.....	p3
Figure 2 : Proportions en pourcentages des enquêtés par tranches d'âges.....	p12
Figure 3 : Parts en pourcentages des enquêtés par réponses proposées à la question : Diriez-vous que l'impact sur l'environnement de votre manière de consommer vous préoccupe ?.....	p12
Tableau 1 : Parts en pourcentages des enquêtés consommant toujours, souvent, parfois, occasionnellement ou jamais de truite saumonée ou de saumon.....	p13
Figure 4 : Parts en pourcentages des enquêtés associées aux différentes formes sous lesquelles ils sont plus susceptibles d'acheter de la truite saumonée.....	p14
Figure 5 : Occurrence du choix des critères en tant que 1 ^{er} et 2 nd critère d'achat lors de leur classement par les enquêtés. Les critères sont indiqués par les lettres a : L'aspect de la chair : couleur et brillance ; b : Le prix ; c : Le caractère attrayant du packaging ; d : L'origine : élevage ou sauvage ; e : L'origine : où a-t-elle été élevée ou pêchée ? ; f : Les labels certifiants une pêche ou une aquaculture durable (ex :MSC, ASC) et g : Les labels biologiques. La moyenne d'occurrence en tant que premier et deuxième choix est indiquée pour chaque critère d'achat à droite des deux autres occurrences.	p14
Figure 6 : Effectif des enquêtés, pour chaque association de prix au kg de truite saumonée fumée, à un scénario d'argument de vente proposé.	p15
Figure 7 : Options de couleur de chair proposées aux personnes enquêtées afin de répondre à la question suivante : Laquelle de ces trois couleurs de chair de truite vous donne le plus envie ?.....	p16
Figure 8 : Part en pourcentage des personnes enquêtées ayant préféré chacune des options ou aucune d'entre elles. Chaque option étant indiquée en Figure 7.....	p16
Figure 9 : Boxplots exploratoires des notes moyennes d'odeur en haut et de goût en bas, attribuées à la chair de truites purgées (pop. restreinte), en fonction de la durée de purging (jours), du taux de renouvellement en eau (%) et de la mise à jeun avant le purging (jours) de gauche à droite.....	p18
Figure 10 : Notes d'off-flavor moyennes attribuées à chaque truite testée (pop. restreinte) en fonction du temps de purging (jours).....	p19
Tableau 2 (à gauche) : Estimation de l'effet des paramètres de purging et de leur importance sur la note moyenne d'odeur de vase des truites testées (pop. restreinte).....	p19
Tableau 3 (à droite) : Estimation de l'effet des paramètres de purging et de leur importance sur la note moyenne de goût de vase des truites testées (pop. restreinte).....	p19
Tableau 4 : Combinaisons des paramètres de purging estimés permettant d'obtenir une note de goût d'off-flavor et/ou une odeur d'off-flavor inférieures à 1 (pop. restreinte). Les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr ($\alpha=0.05$).....	p20
Tableau 5 (à gauche) : Estimation de l'importance de paramètres d'élevages et de purging additionnels sur la note moyenne d'odeur de vase des truites testées (pop. élargie).....	p23
Tableau 6 (à droite) : Estimation de l'importance de paramètres d'élevage et de purging additionnels sur la moyenne de goût de vase des truites purgées (pop. élargie).....	p23
Figure 11 (à gauche) : Evolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par les truites en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie).....	p24
Figure 12 (à droite) : Evolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par jour en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie).....	p24
Figure 13-a (en haut) et 13-b (en bas) : Gradients de température moyenne de purging en haut et du poids moyen initial en bas appliqués aux truites dont l'évolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par les truites est représenté en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie). Les températures sont exprimées en °C et les poids en grammes.....	p25

Tableau 7 : Estimation de l'importance relative de la température moyenne de purging, de la durée du jeune et du poids moyen initial de chaque groupe de truites purgées sur la part du poids moyen initial perdu lors de la période de jeune (pop. élargie).	p26
Tableau 8 : Estimation des paramètres de la régression linéaire entre le pourcentage du poids moyen initial des truites perdu durant le purging, et éventuellement le jeune pré-purging, en fonction de la durée de ce jeune (pop. élargie).	p27
Tableau 9 : Prédiction de la perte de poids des truites en fonction du nombre de jour de mise à jeun (pop. élargie). Les bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr ($\alpha=0.05$).	p27
Figure 14 : Evolution de la couleur des truites nourries avec de l'aliment pigmenté à 25ppm, à partir de poids moyens initiaux différents. Les équations des courbes de régressions sont indiquées sur le graphique, à côté d'elles, ainsi que leur R^2 associés	p28
Tableau 10 : Poids moyens (P_m) auxquels les truites, nourries à 25ppm ou 50ppm, atteignent une couleur finale désirée en fonction du poids moyen au départ de l'alimentation pigmentée. Les facteurs multiplicatifs permettant de passer d'un poids moyen initial à un poids moyen coloré sont indiqué par fm	p28
Figure 15 : Evolution de la couleur des truites nourries avec de l'aliment pigmenté à 25ppm ou 50ppm, à partir du même poids moyen initial de 475g. Les équations des courbes de régressions sont indiquées sur le graphique, à côté d'elles, ainsi que leur R^2 associé.....	p30
Tableau 11 : Estimation des économies réalisées (€/poisson et mg de pigment/ poisson) en distribuant un aliment doublement concentré en pigments (50ppm) plutôt qu'un aliment simplement concentré (25ppm). L'estimation est réalisée pour différents poids moyens finaux dont la coloration optimale est de 28. Les poids moyens initiaux propres à chaque concentration sont calculés à partir des fm précédemment déduits : 2 et 1.19. Source de l'équation de croissance théorique utilisée (Rasmussen et From, 1991).....	p31
Tableau 12 : Longueurs limites en dessous desquelles le taux de gras, prédit en fonction de la longueur des truites (cm) et de leur facteur de condition K (g/cm^3), dépasse 10%, pour des poids de vente potentiels. Les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr ($\alpha=0.05$).	p33
Figure 16 : Evolution de la longueur (cm) des truites testées (population élargie) en fonction de leur poids (g).....	p33

Liste des Annexes :

Annexe I : <i>Schéma de la quarantaine</i>	p1
Annexe II : <i>Questionnaire d'étude des préférences du consommateur vis-à-vis de la « Truite de Bruxelles » produite par BIGH, extrait de sa version numérique initiale sous GoogleForms</i>	p2
Annexe III : <i>Affiche utilisée pour la campagne de diffusion du questionnaire en Annexe II</i>	p23
Annexe IV : <i>Tableau représentant la répartition en % des enquêtés par moyen d'accès au questionnaire en Annexe II</i>	p24
Annexe V : <i>Extrait de la table de rationnement à 16°C utilisée pour les truites de la ferme, y compris celles des tests de purging, de coloration de chair et de teneur en gras musculaire</i>	p25
Annexe VI : <i>Photographie de l'outil de mesure utilisé pour réaliser l'évaluation de la coloration de chair des truites : le SalmoFanTM de DSM (Heerlen, Pays Bas)</i>	p26
Annexe VII : <i>Photographie de la version linéaire de l'outil de mesure utilisé pour réaliser l'évaluation de la coloration de chair des truites : le SalmoFanTM Lineal de DSM (Heerlen, Pays Bas)</i>	p27
Annexe VIII : <i>Guide d'utilisation du SalmoFanTM et SalmoFanTM Lineal de DSM (Heerlen, Pays Bas)</i>	p28
Annexe IX : <i>Prolongation du SalmoFanTM pour des couleurs de chair plus claires, comprises entre 16 et 20</i>	p29
Annexe X : <i>Evolution de la masse (g) d'échantillons préliminaires de chair de truite en fonction du temps (h) passé dans le déshydrateur Excalibur-9 Tray-4900220GB (Sacramento, US), à 74°C</i>	p30
Annexe XI : <i>Tableau du coût (€/kg) des aliments distribués à la ferme et lors des tests de coloration de chair, en fonction de leur concentration en astaxanthine (ppm) et du diamètre des pelés (mm)</i> ...	p31

Introduction :

Bien que la perception de l'aquaculture soit globalement positive en Europe, elle n'en reste pas moins entachée par les inquiétudes du consommateur concernant la santé et la sécurité des produits d'élevage, ainsi que par l'impact qu'elle pourrait avoir sur l'environnement et le bien-être des poissons élevés (Bacher, 2015). Et même si ces dernières sont souvent la conséquence de l'information médiatique de masse lors d'incidents sanitaires (Verbeke et al., 2005), une étude menée sur l'attitude des consommateurs européens a montré que le poisson d'élevage était perçu comme étant d'une moins bonne qualité qu'un poisson pêché dans la nature. Cette perception est sûrement due au manque de sensibilisation et de connaissances factuelles à propos de l'aquaculture et de ses méthodes modernes (Verbeke W. et al., 2007). Ainsi l'étude de la qualité du poisson d'élevage est d'autant plus importante qu'elle fait l'objet de méfiances et d'attentes particulières de la part du consommateur. Les principales qualités recherchées par les acteurs de la filière aquacole sont sanitaires, technologiques, nutritionnelles et sensorielles : le consommateur final étant principalement attaché au prix, à l'ensemble des conditions de production, à la facilité d'usage et aux bonnes qualités organoleptiques du poisson (Lefèvre et Bugeon, 2015). En plus d'améliorer l'image de l'aquaculture en développant des technologies misant sur l'économie de la ressource en eau et le recyclage des effluents (Foucard et Tocqueville, 2019), les RAS (Recirculating Aquaculture System) permettent de maîtriser une plus grande partie des paramètres d'élevage qui impactent ou garantissent la qualité du produit fini. BIGH (Building Integrated Greenhouse) est une ferme aquaponique urbaine : elle adjoint au circuit piscicole en recirculation à une culture de végétaux hors sol, à destination de la consommation humaine, sur les toits d'un marché couvert Bruxellois. L'entreprise a débuté la production de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) en fin d'année 2020, elle produisait jusqu'alors du bar rayé (*Morone saxatilis*). Ce dernier n'a pas su se faire une place dans le marché belge, en partie à cause de son goût de vase. Il existe en effet, chez les espèces élevées en RAS, un problème de qualité organoleptique éminent, appelé « off-flavor » qui impacte négativement l'acceptation des consommateurs de l'élevage, et entraîne des pertes financières et une réputation indésirable pour la pisciculture en général (Engle et al., 1995; Tucker, 2000). Il se caractérise par un goût et une odeur de vase dans la chair du poisson, causés par la présence de composés semi-volatils lipophiles : la Geosmine et le MIB ou 2-méthyl isoborneol (Lindholm-Lehto et al., 2020). Il s'élimine généralement grâce au purging qui peut avoir d'importantes répercussions financières, dues entre autres à l'utilisation d'eau neuve, d'espace, de main d'œuvre et à la perte de poids des truites mises à jeun lors de ce processus (Azaria et van Rijn, 2018). Il est donc primordial pour BIGH de parvenir à éliminer ce défaut de flaveur qui pourrait causer des pertes financières. La couleur de la chair de truite saumonée, surtout lorsqu'elle est vendue en filet, est également un paramètre de qualité qui conditionne le comportement d'achat du consommateur (Lefèvre et Bugeon, 2015). Dès son arrivée chez BIGH, la truite ayant une coloration initialement claire, reçoit une alimentation enrichie en pigments. Leur utilisation entraîne d'importantes répercussions économiques et éthiques, Il est donc nécessaire de les utiliser dans des quantités, et pendant des durées adaptées à un objectif de coloration défini, qu'il convient d'établir en fonction de la demande réelle du marché. Enfin les truites d'élevage doivent également répondre à des exigences de qualité technologiques qui dépendent des procédés de transformations qui leurs sont appliqués. La teneur en matière grasse de la chair de truite fait partie des inquiétudes principales de l'entreprise puisqu'en plus d'influencer l'efficacité du fumage (Knockaert, 2002), elle est un facteur d'intérêt pour le consommateur qui la considère comme plutôt pauvre en calories et riche en protéines (Denis, 1992; Rasmussen & From, 1991). Ainsi on essaiera de déterminer quels sont chez BIGH les facteurs de production et les paramètres d'élevage en circuit recirculé permettant d'obtenir une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) dont la qualité organoleptique et technologique

répond à la demande du marché. Quatre parties permettront de répondre à cette problématique. L'attente du marché bruxellois vis-à-vis des critères de qualité étudiés, ainsi que d'autres critères d'intérêt tels que le consentement à payer ou le format de vente, a été analysée grâce à un questionnaire, dans une première partie. Afin de déterminer quelles conditions de purging permettent d'éliminer le plus efficacement l'off-flavor de la chair de truite, des tests faisant varier les différents paramètres de cette étape finale de production sont réalisés dans une deuxième partie. Pour limiter les pertes financières liées à leur perte de poids, cette dernière sera estimée, dans cette même partie, grâce au calcul des pertes de poids moyen des lots de truites purgées lors des précédents tests. La couleur de la chair est quant à elle évaluée dans une troisième partie, en fonction de différentes concentrations de pigments dans l'aliment, et à différents stades de croissance, afin d'établir un protocole optimal d'alimentation, économique en pigments et financièrement. Enfin la dernière partie est dédiée à l'évaluation de la teneur en gras de la chair des truites produites, et de son impact sur une potentielle fumaison.

1. Contexte : Etat des lieux de la production de truites en Belgique et présentation de BIGH

En 2018, la truite représentait 14% de la production aquacole de l'UE, contre 23% pour le saumon par exemple, soit 187 858 tonnes, principalement de truite arc-en-ciel. Sa consommation reste constante depuis une dizaine d'années : aux alentours de 400g, équivalent poids vif, par habitant de l'UE et par an. La truite consommée en Europe provient à 97,95% de l'aquaculture et est essentiellement Européenne, permettant à l'UE de maintenir une moyenne de 91% d'autosuffisance au cours de la dernière décennie. Plus de la moitié de cette production de truites a lieu en Italie (18%), en France (18%) et au Danemark (15%) (EUMOFA, 2020). La Belgique est quand-à-elle un importateur net de poisson et de produits de la mer. 1% de sa production provenait de l'aquaculture en 2018 (OECD, 2021). La production aquacole Belge reste en effet modeste et s'élevait en 2009 à 576 tonnes, dont 46 tonnes de truite arc-en-ciel, soit 0,04% de la production aquacole de l'UE cette année-là (European Commission. Directorate General for Maritime Affairs and Fisheries, 2012). Elle ne suffit pas à fournir les belges qui consomment 350g de truite par habitant et par an, soit presque autant que la moyenne Européenne (Thomassen Benoit, 2021). Cela est perçu par le pays comme un potentiel de développement et l'enjeu pour la Belgique est de développer une pisciculture durable, satisfaisant les enjeux économiques, écologiques et sociaux de la période (European Commission. Directorate General for Maritime Affairs and Fisheries, 2012).

L'Aquaponie et les RAS de manière plus générale sont des systèmes de production qui répondent à ces enjeux. Depuis dix ans, des projets d'aquaponie d'envergures d'abord modestes puis à échelles commerciales fleurissent en Europe. Des projets de recherche collaboratifs, des programmes et des réseaux fédérateurs ont permis plus récemment de structurer cette activité (Foucard et Tocqueville, 2019). BIGH a été inauguré en avril 2018 et fondé par Steven Beckers, un architecte spécialisé en économie circulaire, qui répondait à un appel à projet de l'Europe et de la région Bruxelles. La ferme se trouve sur le toit de 4000 m² des halles du Foodmet, un marché alimentaire de Bruxelles. Ce dernier utilise un système collectif de refroidissement, pour alimenter ses réfrigérateurs, dont la chaleur produite est récupérée pour chauffer les serres et refroidir les bassins de la ferme. Une moitié du toit est dédiée à la culture extérieure de petits fruits et de légumes l'été. Le reste est dédié aux deux serres et à la pisciculture. L'une des deux serres produit des tomates, des aubergines et des piments hors sol, sur un substrat qui joue le rôle de support mécanique, alimenté en eau et nutriments au goutte à goutte. L'autre serre produit des herbes aromatiques en pots sur des tables irriguées. La partie pisciculture permet depuis récemment l'élevage de truites arc-en-

ciel, pour une capacité productive de 25 tonnes par an. La production a jusqu'à présent été vendue entière et vidée, voire filetée, à des restaurants bruxellois, mais l'objectif est de produire à terme de la truite saumonée fumée. La pisciculture se divise en 3 parties : la quarantaine qui accueille les poissons à leur arrivée pour 2 à 3 semaines, le système de grossissement qui permet aux truites d'atteindre la taille d'abattage et la salle de transformation attenante. L'organisation du RAS est synthétisée dans la Figure 1 : l'eau encrassée circule dans les tanks et rejoint les deux filtres à tambour via une gouttière située au centre. Ils éliminent les particules d'une taille supérieure à 85 microns avant que l'eau ne rejoigne le MBBR ou « Moving Bed Biofilm Reactor ». Ce biofiltre contient des bactéries *nitrosomonas sp* qui nitrifient l'ammonium produit par les truites, et des bactéries nitrifiantes *nitrobacter sp* qui transforment les nitrites en nitrates, assimilables par les plantes. 20% de l'eau est distribuée par jour aux plantes. Des lampes UV permettent de débarrasser l'eau de certaines bactéries pathogènes. Deux colonnes *Vaccum Airlift™* brevetées par Coldep filtrent les particules d'une taille comprise entre 1 et 10 microns et également certaines protéines. L'eau propre est dirigée vers les tours d'oxygénation avant de retourner dans les tanks. La température de l'eau, sa concentration en oxygène et son pH sont en permanence monitorés dans le RAS ainsi que dans la quarantaine, qui a une organisation semblable et schématisée en Annexe I.

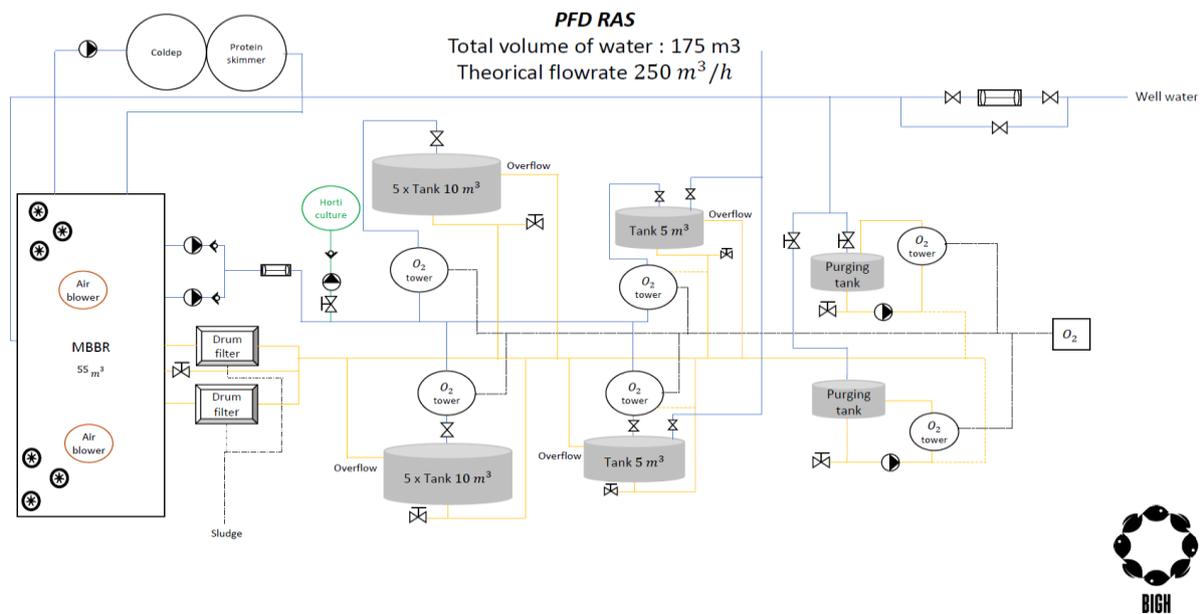


Figure 1: Schéma du RAS comportant 10 bassins de grossissement, 2 bassins de purging et 2 hybrides pouvant faire office de bassin de grossissement ou de purging. Les lignes jaunes correspondent à la circulation d'eau « sale » dans le système et les lignes bleues d'eau « propre ». Source : © BIGH, 2021

Un total de 10 à 15% de l'eau du système est renouvelé par de l'eau de forage qui est ajoutée au volume d'eau existant. Les pertes d'eau sont essentiellement liées au purging et sont à l'origine de pertes financières conséquentes. Mais leur rôle est primordial dans l'élimination l'off-flavor qui peut causer des réductions majeures dans la consommation du produit, comme ça a été le cas pour la production de bars rayés dans le passé et pouvant aller jusqu'à rendre le produit impropre à la vente. On comprend donc pourquoi les répercussions économiques peuvent être lourdes si aucune gestion de la qualité du produit n'est mise en œuvre rapidement. En plus de son goût de vase, le bar rayé n'a pas été favorablement reçu par le marché bruxellois, car trop peu connu par ses consommateurs. Déterminer quels sont chez BIGH les facteurs de production et les paramètres d'élevage en circuit recirculé qui permettront d'obtenir une truite arc-en-ciel dont la qualité organoleptique et technologique

répond à la demande du marché donnera à l'entreprise les leviers les plus efficaces pour contrôler le goût et la qualité de sa truite en sortie d'élevage, et d'en faire un produit plus adapté à la demande du marché bruxellois.

2. Chapitre Bibliographique

2.1 Aperçu des différents critères de la qualité d'une truite et des conditions d'élevage impactant cette qualité

La qualité d'un poisson d'élevage réside dans ses qualités sanitaires, technologiques, nutritionnelles et organoleptiques ou sensorielles (Lefèvre et Bugeon, 2015).

Les problèmes de qualité hygiénique et sanitaire concernent essentiellement les produits de la pêche (Fauconneau et al., 1993) et dans une moindre mesure les poissons d'élevage dont la fraîcheur est facilement contrôlable (Lefèvre et Bugeon, 2015). Leur qualité sanitaire n'en reste pas moins l'une des principales préoccupations du consommateur (Cheng et al., 2014) et fait donc l'objet de contrôles en Belgique par l'AFSCA (Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire). Elle examine, entre autre, l'état de fraîcheur des produits et ses conditions de réfrigération (AFSCA, 2020). Les problèmes de qualités posés par la production de truites arc-en-ciel reposent surtout sur les qualités nutritionnelles et organoleptiques de leur chair ainsi que sur leur aptitude à la transformation et donc sur leur qualité technologique (Fauconneau et al., 1993). La qualité nutritionnelle d'une truite se détermine, comme pour les autres espèces, par la quantité de protéines, de gras, de minéraux et de vitamines qu'elle contient (Bugeon et al., 2010). La composition en protéines, en eau et en glycogène varie peu d'une espèce à l'autre : la chair de poisson contient en moyenne 70 à 80% d'eau, 16 à 22% de protéines et moins d'1% de glycogène. La truite est un poisson intermédiaire dont la teneur en lipides musculaire est comprise entre 5 et 10% (Fontagné-Dicharry et Médale, 2010). Celle-ci varie en fonction de son âge et de sa taille (James Henderson et Tocher, 1987). La teneur en lipides dans la chair varie également dans un même filet puisque le muscle blanc contient moins de lipides que le muscle rouge, la partie ventrale du filet est généralement plus grasse que la partie dorsale et la partie antérieure est plus grasse que la partie postérieure (Katikou et al., 2001). La teneur en lipides dans la chair de truite varie également en fonction du stade de maturité de l'individu (Aksnes et al., 1986) et a un déterminisme génétique assez fort, utilisé en sélection (Fontagné-Dicharry et Médale, 2010). Mais l'alimentation est le paramètre d'élevage ayant l'impact le plus fort sur le taux lipidique de la truite : une alimentation riche en lipides impactera à la fois ses muscles et ses tissus adipeux péri viscéraux (James Henderson et Tocher, 1987). Les lipides recherchés par le consommateur lorsqu'ils consomment de la truite ou tout autre poisson sont les AGPI-LC de la série n-3 : EPA et DHA dont la teneur varie entre 15 et 36%. Ils sont considérés comme des acides gras indispensables et sont bénéfiques pour la santé humaine (Fontagné-Dicharry et Médale, 2010).

L'ensemble des qualités organoleptiques d'un poisson correspond à ce que l'on perçoit de lui : à la fois son aspect visuel, sa flaveur ; c'est-à-dire son odeur et son goût, ainsi que sa texture. La qualité visuelle d'une truite d'élevage réside dans son intégrité : absence de déformation, de blessure ou d'altération de nageoire (Lefèvre et Bugeon, 2015) lorsqu'elle est vendue entière. L'aspect est l'un des premiers critères d'évaluation d'un produit et c'est sur des critères d'apparence qu'il sera choisi ou non. Pour la truite, les caractéristiques principalement étudiées lorsqu'elle est vendue en filet sont la couleur de la chair et sa structure (Regost, 2001). Sa couleur dépendra de la quantité et de la localisation des pigments d'origine alimentaire fixés (Storebakken et No, 1992). La qualité de sa texture dépend des conditions d'élevage et principalement d'alimentation, d'abattage, de stockage et des procédés de transformation qui lui seront appliqués (Salifou et al., 2018). Chez la truite arc-

en-ciel, il a été démontré que la texture des filets crus est conditionnée par sa teneur en lipides qui diminue la résistance à la compression et leur donne une texture plus tendre (Fauconneau et al., 1993). L'un des principaux défauts de texture rencontré chez la truite est le « gaping », qui correspond à l'ouverture des feuilletts musculaire, causée par une rupture du tissu conjonctif qui le compose. Il est à l'origine d'une forte dépréciation du produit (Regost, 2001). Le goût et l'odeur d'un poisson sont des composantes déterminantes de l'acceptabilité de la chair de poisson par le consommateur et l'off-flavor est l'un des principaux défauts de flaveur en élevage de truites en circuit fermé.

La qualité technologique d'un poisson réside dans la capacité de sa carcasse à servir de matière première aux différentes étapes de transformation. Cela passe d'abord par le respect de la calibration pour la commercialisation, qui est permis par des tris réguliers. Elle dépend ensuite de son aptitude à minimiser les pertes lors des procédés de transformation que sont l'éviscération, le filetage, le parage, le pelage voire le tranchage en darnes ou en pavés (Lefèvre et Bugeon, 2008). Les rendements associés à ces étapes de découpe sont très variables d'un individu à l'autre chez la truite arc-en-ciel et sont déterminés par sa morphologie ainsi que par la répartition des tissus dans sa chair et leur composition, qui eux dépendent de nombreux paramètres comme son alimentation, la génétique ou la maturité sexuelle (Bugeon et al., 2010).

2.2 L'origine de l'off-flavor, ses caractéristiques et les moyens de lutte en élevage

L'off-flavor est un problème de qualité majeur chez les espèces d'eau douce, dont la chair acquiert une odeur et un goût caractéristiques, que l'on associe à ceux de la vase, de la terre ou encore du moisi (Pilote, 2013). De nombreux cas d'off-flavor ont été répertoriés en étang, puis en pisciculture chez des espèces d'intérêt comme la truite arc-en-ciel, la carpe commune, le saumon, le tilapia ou le poisson chat (Houle, 2008). Ce problème de goût n'affecterait pas les espèces élevées dans des eaux à salinité modérée à élevée, puisque l'eau salée n'est pas favorable au développement des microorganismes qui synthétisent les métabolites responsables de l'off-flavor (Tucker, 2000). Ce défaut de qualité est récurrent en système d'aquaculture en recirculation (Lindholm-Lehto et al., 2020) (Guttman et van Rijn, 2008) et est à l'origine d'investissements financiers conséquentes pour les élevages qui subissent des pertes de leurs ventes et qui tentent de s'en débarrasser. L'off-flavor est principalement due à l'absorption de la Géosmine (*trans-l, 10-diméthyl-trans-(9) -decalol*) et du MIB (*2-méthylisoboméol*) par le poisson. De nombreux autres composés volatiles ont été identifiés comme étant également responsables, mais leur effet sur le mauvais goût de la chair est beaucoup moins prononcé que celui de la Géosmine et du MIB (Smith et al., 2008). Ces deux molécules sont des alcools tertiaires bicycliques, qui ont une odeur caractéristique de vase et de terre en solution aqueuse et dans la chair de poisson, mais qui ne sont toxiques ni pour le poisson, ni pour l'homme qui le consomme (Robin et al., 2006) Ces molécules lipophiles sont principalement absorbées par les branchies des poissons (From et Hørlyck, 2011) et rejoignent ensuite rapidement la circulation sanguine pour finalement se concentrer dans leurs tissus riches en lipides, dont fait partie le muscle (Howgate, 2004). L'absorption de géosmine et de MIB dans la chair de poisson dépend de la concentration en molécules dans l'eau d'élevage et de sa température, du temps d'exposition du poisson à ces molécules et du taux de lipides dans la chair du poisson (Hathurusingha et Davey, 2014; Howgate, 2004; Johnsen et al., 1996). La vitesse de pénétration de ces molécules est considérée comme très rapide (quelques heures) contrairement à leur élimination qui est plus lente (plusieurs jours) (Persson, 1984). Géosmine et MIB sont produites par un grand nombre d'espèces de cyanobactéries et d'actinomycètes, qui se développent en milieu naturel, de préférence l'été, dans des eaux eutrophisées et au renouvellement d'eau limité (Robin et al., 2006). Il a été démontré, au sein d'élevages de truites arc-en-ciel, que le développement de ces microorganismes est favorisé

par l'augmentation de la quantité de solides en suspension, par la concentration d'azote et de phosphore et par l'augmentation de la température de l'eau d'élevage (Robertson et al., 2006; Robin et al., 2006). Les eaux de pisciculture, et en particulier celles des systèmes en recirculation sont en effet propices au développement de ces microorganismes qui s'organisent en biofilms sur les parois et le fond des bassins, à l'intérieur des tuyaux, sur les médias des biofiltres et dans les filtres mécaniques qui sont en permanence alimentés par les restes de nourriture et déjections des poissons, les corps morts et extraits minéralisés par les bactéries hétérotrophes (Davidson, Schrader, Good, et al., 2014; Filloux et Vallet, 2003). Des procédés techniques existent pour éliminer la géosmine et le MIB de l'eau d'élevage en RAS, mais leur application à l'échelle commerciale est limitée par leur prix, leur efficacité ou leur courte durée d'utilisation. On pourra par exemple citer les traitements chimiques à l'ozone ou au peroxyde, la filtration chimique par des granules ou de la poudre de charbon active, la filtration biologique, l'utilisation d'UV ou de photocatalyse (Lindholm-Lehto et al., 2020; Robertson et al., 2005).

Le purging reste la méthode la plus utilisée pour lutter contre la présence d'off-flavor dans la chair de truite : avant leur mise sur le marché, les poissons sont transférés et mis à jeun dans des bassins contenant de l'eau neuve et continuellement renouvelée (Lindholm-Lehto et Vielma, 2019). Ils y resteront plusieurs jours pendant lesquels la géosmine et le MIB seront éliminés par diffusion passive à travers les branchies ou la peau. La vitesse d'épuration a été étudiée et dépend de nombreux facteurs. Elle est notamment négativement corrélée à la concentration initiale de géosmine dans la chair de la truite (Robertson et al., 2005). Une température de l'eau plus chaude et un taux de gras moins élevé dans la chair des poissons permettent également d'éliminer l'off-flavor plus rapidement (Johnsen et al., 1996) (Johnsen et Lloyd, 1992). La qualité de l'eau de purging influence aussi son efficacité : des taux de renouvellement plus élevés (Iredale et York, 2011), la désinfection des structures avant leur utilisation et la limitation des surfaces de dépôt de biofilms au sein de ces dernières (Davidson et al., 2014) améliore l'élimination des composés odorants respectivement chez la truite et le saumon. Les conditions du purging doivent être étudiées afin de limiter sa durée et donc son impact économique pour les pisciculteurs. Cette étape de production représente un surcoût conséquent lié à l'équipement et à la consommation d'eau neuve nécessaires ainsi qu'au temps et à la main d'œuvre mobilisés. S'ajoutent la perte de poids des poissons en purging et le risque de modification de la qualité de leur chair (Engle et al., 1995). Mais ces efforts, accompagnés de tests de goût réguliers en sortie de pisciculture, doivent être réalisés pour éviter la commercialisation de truites dont le mauvais goût pourrait entacher l'image de l'activité auprès du consommateur (AFNOR, 2000; Lefèvre et Bugeon, 2015).

2.3 La coloration de la chair de truite : procédés et enjeux

L'un des critères de qualité sensorielle le plus important chez les salmonidés est la couleur rose-orangée de sa chair, qui influence éminemment la décision d'achat du consommateur (Sylvia et al., 1996). Les truites d'élevage, sauf truites portion, reçoivent une alimentation enrichie en pigments caroténoïdes : astaxanthine et cantaxanthine, qui n'affecte pas leur goût mais qui colore leur chair naturellement claire. Les poissons ne sont en effet pas capables de synthétiser les caroténoïdes de novo, leur coloration rouge est issue dans la nature d'une alimentation riche en invertébrés, dont le pigment dominant est l'astaxanthine. Ces pigments caroténoïdes, liposolubles, caractérisés par leur système de doubles liaisons conjuguées, colorent les téguments et essentiellement le muscle et les gonades des truites. Leur fixation dépend de la digestibilité du pigment ingéré et de la qualité et quantité du pigment dans l'aliment (Choubert, 1992). La fixation des caroténoïdes dans le muscle des truites est d'autant plus élevée que la quantité de pigments ingérée est importante. Au-delà d'un certain seuil l'ingestion n'a plus d'effet, ce qui donne à la courbe de rétention musculaire totale du

pigment par rapport à la quantité ingérée une allure parabolique (Choubert et al., 1982). Si on cesse d'apporter des pigments aux truites qui en recevaient jusqu'alors, leur pigmentation diminuera lentement (Choubert, 1985). Cependant, de nombreuses précautions doivent être prises lors de la fabrication des aliments pour éviter l'oxydation des pigments qui le composent. Cela explique que l'ajout de pigments de synthèse accroisse le coût de l'alimentation des truites (Torrissen, 1995). La capacité de fixation des pigments dépend de nombreux facteurs environnementaux ou liés à composition de l'aliment (Storebakken et No, 1992), mais aussi de l'âge, de la taille et du stade de maturation sexuelle de la truite : alors qu'une truite immature déposera préférentiellement les caroténoïdes dans ses muscles, une truite en maturation sexuelle aura une concentration plus importante de pigments dans les ovaires que dans les muscles (Choubert et Blanc, 1993). La diminution de concentration en caroténoïdes dans les muscles au moment de la maturation est visible chez les deux sexes (Choubert et Blanc, 1993). La ponte affecte éminemment la qualité de la chair de truite, c'est pourquoi les capacités de récupérations de la couleur après la ponte sont étudiées (Ahongo et al., 2020). Il convient donc en élevage de maîtriser les facteurs qui influençant l'homogénéité et l'intensité de la couleur pour être en mesure de l'adapter à la demande du consommateur et à un prix minimum (Forsberg et Guttormsen, 2006).

2.4 Outils d'évaluation de la qualité organoleptique et technologique de la chair de truite appliqués à la mesure de l'off-flavor, à la coloration de la chair et à son taux de gras

Des méthodes quantitatives permettent de mesurer avec précision la concentration en géosmine et en MIB de la chair de poisson (Grimm et al., 2000). Mais c'est l'évaluation sensorielle de l'off-flavor qui est préférée en élevage à ces méthodes (Van der Ploeg, 1991). Le contrôle sensoriel de l'absence d'off-flavor dans la chair de truites doit être réalisé régulièrement par les éleveurs (Tucker, 2000) (AFNOR, 2000). L'off-flavor en tant que flaveur est perçue par la bouche et en particulier par les papilles gustatives de la langue, mais également par les récepteurs olfactifs au sommet de nos cavités nasales qui en détectent les composés odorants volatiles. La flaveur de géosmine est associée à celle d'une terre fraîchement retournée et celle du MIB au moisi (Van der Ploeg, 1991). La géosmine et le MIB ont un seuil de détection très bas chez l'humain : 0.6 µg/kg g⁻¹ pour le MIB et 0.9 µg/kg pour la géosmine dans la truite arc-en-ciel, mais il est très variable d'un individu à l'autre (Robertson et al., 2005). Il est donc préférable de former un jury composé de personnes entraînées ou sélectionnées au préalable pour leur sensibilité accrue aux molécules. Ceci offre une marge de sécurité puisque la grande majorité des consommateurs sera moins sensible à l'off-flavor (Howgate, 2004; Robin et al., 2006) L'analyse sensorielle de l'off-flavor dans la chair de poisson peut être quantitative ou qualitative : une analyse qualitative décrira la flaveur à l'aide d'une terminologie standardisée, alors qu'une analyse quantitative permettra d'évaluer l'intensité perçue de l'off-flavor (Van der Ploeg, 1991).

La mesure de la couleur de chair peut être réalisée par dosage des caroténoïdes qu'elle contient : par extraction puis spectrophotométrie ou chromatographie (Sigurgisladottir et al., 1997). Mais la couleur de la chair de poisson est une notion plus complexe que cela : elle traduit une sensation physiologique qui résulte de la perception physique simultanée d'une teinte, d'une saturation et d'une luminance (Choubert, 1992). C'est pourquoi, la méthode physique de détermination lui est souvent préférée dans la littérature. Elle est basée sur la mesure de la réflectance de la chair par un colorimètre, provenant souvent du même fabricant *Minolta* (Sigurgisladottir et al., 1997). La mesure est réalisée en coordonnées rectangulaire L*, a* et b* où L* mesure la luminosité, a* la rougeur et b* le jaune de la chair (Yeşilayer, 2020). Au sein des entreprises piscicoles et des fabricants d'aliments pour salmonidés, la méthode la plus utilisée reste l'évaluation visuelle de la couleur à l'aide d'une

carte de couleur Roche ou de sa version plus récente ; le *SalmoFan*TM de DSM (Heerlen, Pays-Bas)(Forsberg et Guttormsen, 2006) . Ces cartes permettent d'associer une valeur numérique à une couleur de chair. Elles sont simples d'utilisation et facilitent les contrôles réguliers mais nécessitent tout de même une standardisation des conditions d'évaluation.

Le taux de gras dans la chair des poissons peut être mesuré de son vivant ou non. Le Torry Fish Fat Meter® (Scotland, UK) est par exemple couramment utilisé et exploite la technologie des micro-ondes. Il estime la teneur en gras de la chair grâce à la mesure de sa teneur en eau et la relation linéaire entre les deux. Cette relation permet aussi de mesurer, de manière moins précise, la teneur en gras dans la chair par évaporation de l'eau qui s'y trouve (Bernard, 2013). D'autres technologies comme les infra-rouges, les rayons X ou la RMN peuvent être utilisées mais elles sont moins courantes en laboratoire et nécessitent des calibrations à partir d'échantillons de chair, de farine ou d'huile (Durand, 1971; Sigurgisladottir et al., 1997).

3. Matériel et Méthodes

3.1 Enquête auprès du consommateur : regroupement des consommateurs ciblés en catégories, mise en application et diffusion du questionnaire

Un questionnaire est réalisé (Annexe II) afin de connaître l'attente du consommateur vis-à-vis de la truite saumonée fumée que BIGH souhaite commercialiser. Il est rédigé de manière à déterminer ou valider certains formats et arguments de vente et pour connaître les préférences du potentiel consommateur vis-à-vis de sa qualité. Il comprend une contextualisation qui présente l'entreprise, ses valeurs et ses objectifs de production pour la « Truite de Bruxelles » ainsi qu'une série d'une 30aine de questions regroupées en 3 thématiques : la signalétique, le format et le prix de vente associés à certains arguments et la qualité de la truite saumonée fumée concernant la couleur, la quantité de gras de la chair et son éventuel goût de vase. Le questionnaire est réalisé en format numérique en ligne grâce à l'outil *Google Forms*. Il prend une dizaine de minutes à être complété.

La population ciblée par l'enquête doit être représentative du consommateur potentiel de la truite produite par BIGH. Ils doivent donc être bruxellois ou belges et sont regroupés en plusieurs catégories afin de faciliter la diffusion du questionnaire. Sont ainsi concernés les consommateurs des autres produits de la ferme, c'est-à-dire les salariés de l'entreprise, les acheteurs en vente directe, les visiteurs des points de vente des produits de BIGH et potentiels points de vente des truites. Sont également concernées les personnes connaissant BIGH et qui ne sont pas des visiteurs du magasin : ceux qui visitent la ferme ou qui l'ont visitée, les abonnés aux réseaux sociaux de l'entreprise ou les visiteurs du site web. Les personnes qui ne connaissent pas BIGH mais qui ont un intérêt pour la consommation de produits locaux et l'agriculture durable sont également ciblées, ainsi que celles qui consomment de la truite saumonée ou du saumon.

La diffusion du questionnaire est donc réalisée de manière à atteindre chacune de ces catégories de potentiels acheteurs. Il est diffusé dans le contexte d'un concours qui donne une chance à ceux qui y répondent de remporter un panier des produits de BIGH, et accorde une réduction pour une visite de la ferme. Il est disponible en français, anglais et néerlandais sur le site de l'entreprise sur lequel il s'affiche en « pop-up » pendant toute la durée du concours, c'est-à-dire de début juin à fin août 2021. Le lien du site est partagé sur les réseaux sociaux de l'entreprise et via un QR code affiché dans la ferme (Annexe III). Trois magasins, dans lesquels les autres produits de la ferme sont vendus, sont visités pendant 3 demi-journées ; deux grandes surfaces : les hypermarchés Carrefour de Mont-Saint-Jean et d'Auderghem, qui sont des communes de Bruxelles, et une coopérative bruxelloise « Bees Coop » localisée à

Schaerbeek, commune de Bruxelles également. Le contact de visiteurs des magasins a été récupéré, entre la poissonnerie et les stands d'herbes aromatiques de BIGH, après une courte explication du projet. Le lien du questionnaire leur a été envoyé quelques heures après. Il a également été diffusé par les employés de la ferme dans leur entourage et au sein du réseau de vente directe « La ruche qui dit oui ! » dont fait partie BIGH. Les proportions d'enquêtés par moyen d'accès au questionnaire sont répertoriées en Annexe IV.

L'analyse des résultats est réalisée grâce au logiciel *Excel* et ses outils d'analyse graphique.

3.2 Estimation de l'effet des paramètres de purging et d'élevage sur l'efficacité d'épuration de l'off-flavor des truites et conséquences du jeun sur leur poids moyen

On place des groupes de 3 truites, dans différentes conditions de purging, qui sont représentatives des possibilités d'épuration de la pisciculture en termes de consommation d'eau. Trois paramètres sont modulés lors de ces tests : la durée du purging, le taux de renouvellement en eau neuve du bassin et la mise à jeun de deux jours ou non des truites avant le purging. La durée du purging sera d'environ 2, 4, 6, 8 ou 10 jours, le taux de renouvellement en eau neuve sera de 100%, 200% ou 300% par jour et la mise à jeun de 0 ou 2 jours avant le transfert dans les bassins de purging. Chaque combinaison réaliste des valeurs prises par ces trois paramètres correspond à une condition de purging particulière qui sera subie par les 3 truites en même temps. Les bassins de purging et toutes les surfaces mises en contact avec l'eau de purging sont nettoyés entre chaque test. 69 truites ont ainsi été testées et représentent la population restreinte (pop. restreinte).

Le taux de renouvellement en eau est mesuré manuellement au transfert des poissons à partir des débits d'eau neuve régulés à l'entrée de chaque bassin et du volume des bassins de purging. La durée de purging est calculée en heures à partir du transfert du bassin d'élevage vers le bassin de purging, jusqu'à l'abattage. La mise à jeun est réalisée en transférant 48h avant le purging les trois poissons testés, dans un bassin d'élevage inoccupé, dans lequel aucune forme d'alimentation n'a été distribuée. D'autres paramètres d'élevage ou de purging, non régulables, varient d'un test à l'autre, et peuvent avoir un effet sur l'efficacité du purging. On mesure donc chaque jour la température, la salinité, l'oxygénation et le pH de l'eau des bassins. Une moyenne est réalisée pour chacun de ces paramètres sur la durée du purging. On évalue également la densité (kg/m^3) du bassin d'origine de chaque truite purgée, ainsi que celle du système total, à la date du transfert des truites en purging. Le poids individuel en gramme de chaque poisson est mesuré *in vivo* avant et après le purging et des poids moyens avant et après le purging sont calculés. Une fois abattues, les truites sont saignées, vidées, nettoyées et un filet est découpé pour l'analyse sensorielle de l'off-flavor.

L'intensité de l'off-flavor des truites est mesurée par un jury composé de trois membres, préalablement entraînés à sa détection. L'évaluation est réalisée sur un filet, dont la peau n'est pas retirée, et cuit au micro-ondes pendant une durée variant de 15 à 45 secondes en fonction de sa taille, à 400W. La cuisson est réalisée de manière individuelle pour éviter les contaminations et aucun assaisonnement n'est ajouté. L'animal est abattu le plus tard possible avant le test et est réfrigéré à 4°C si besoin avant la cuisson. L'intensité de l'odeur de vase est évaluée à la sortie du micro-ondes par le jury, il évalue ensuite l'intensité du goût vase par dégustation. Les jurys dégustent deux morceaux au minimum : un à l'arrière du filet et un à l'avant du filet. Les deux notes attribuées pour le goût et l'odeur d'off-flavor de chaque truite sont comprise entre 0 et 4. Une note de 0 est attribuée à une chair pour laquelle aucun off-flavor n'est détecté, si l'off-flavor est tout juste perceptible, la note sera de 1, si l'odeur ou le goût est léger, la note est de 2, si l'odeur ou le goût est distinct, la note est de 3 et si l'odeur ou

le goût est fort, la note est de 4. Une distinction facilitant l'évaluation est réalisée entre l'intensité 3 et 4 du goût de vase. Si le goût d'off flavor est distinct, la truite est mangeable et la note attribuée sera 3 ; si le goût est fort, la truite n'est pas mangeable et la note sera de 4 (Van der Ploeg, 1991). Les notes sont attribuées sans concertation des membres du jury. Une note moyenne est ensuite calculée pour l'odeur et pour le goût, pour chaque truite testée. L'environnement du test est non odorant, les membres du jury ne mangent ni ne fument dans l'heure précédant le test.

On visualise puis on évalue l'effet des paramètres modulables du purging sur les notes d'odeur et de goûts de la population restreinte par un ajustement aux données d'un modèle de régression linéaire, en utilisant le logiciel *RStudio* ainsi que la fonction *lm* du package *FactoMineR*. Le modèle est utilisé afin de réaliser un tableau des combinaisons de paramètre de purging éliminant efficacement l'off-flavor dans lequel des intervalles de prédiction sont calculés grâce à la fonction *predict*. On évalue ensuite l'effet des paramètres additionnels non modulables de purging et d'élevage sur ces notes de la même manière. Une population élargie (pop. élagrie), de 88 truites, est cependant utilisée dans ce cas : il s'agit de la population restreinte à laquelle on ajoute des truites ayant subi des tests de purging préliminaires, durant lesquels les bassins de purging n'étaient pas entièrement vidangés et nettoyés entre chaque test, mais pour lesquels toutes les mesures sont réalisés de manière identique à celles de la population restreinte. Leur ajout permet d'évaluer l'effet de la vidange et du nettoyage des bassins entre chaque test. L'effet de la durée du jeune, de la température de l'eau et du poids moyen initial sur la perte de poids moyenne en purging des truites est visualisé et mesurée grâce à *Rstudio* et à la fonction *lm*. Les paramètres du modèle de régression linéaire de l'effet de la durée du purging sur la perte de poids moyenne des truites sont extraits et utilisés dans un tableau prédictif de la perte de poids utilisant également la fonction *predict*.

3.3 Etablissement d'un protocole de coloration des truites plus économe en pigment

On distribue un même aliment, ayant une concentration de 25ppm d'astaxanthine, à partir de trois poids moyens différents, aux truites de trois bassins d'élevages. L'un recevra l'aliment à partir d'un poids moyen de 200g, le deuxième à partir de 300g et le dernier à partir de 475g. On distribue à un quatrième bassin, à partir de 475g, un aliment ayant la même composition que ce dernier mais ayant une concentration en astaxanthine deux fois plus élevée (50ppm). On distribue à chacun de ces 4 bassins des rations correspondantes à la table des rations du fournisseur d'aliment, dont un extrait à 16°C est indiqué en Annexe V : le taux de rationnement diminue avec le poids moyen des bassins et le diamètre de l'aliment distribué passe de 5.5mm à 7.5mm lorsque ce poids moyen dépasse 400g. On considère que le respect de la table de rationnement permet aux truites d'être nourries à satiété à chaque distribution. Afin de limiter les pertes occasionnées par ces tests de coloration de chair, les truites étant nourries à partir de 475g avec de l'aliment concentré à 25ppm en pigment sont aussi les truites des tests de purging.

Deux poissons sont abattus par semaine, dans chacun des bassins concernés, afin de pouvoir évaluer la couleur de leur chair. Ce n'est pas le cas des truites également purgées dont la couleur a été évaluée avant chaque test d'off-flavor. Toutes les truites sont pesées à la sortie du bassin d'élevage, abattues, vidées et nettoyées avant d'en extraire un filet afin d'en évaluer sa couleur. L'évaluation de la couleur de la chair des truites est sensorielle et réalisée avec un *SalmoFanTM* de DSM ou sa version linéaire (Annexes VI et VII) en respectant les conditions d'utilisation indiquées par le fabricant (Annexe VIII). Un seul jury évalue la couleur de chaque truite et lui attribue une note correspondant à sa couleur. Les notes du *SalmoFanTM* vont de 20 à 34 : 20 est la note de couleur la plus pâle et rosée et 34 la plus orangée et sombre. Puisque certaines truites ont une couleur plus claire que la couleur n°20 du *SalmoFanTM*, une

extension de ce dernier est réalisée pour des notes allant de 16 à 20 (Annexe IX). L'évaluation de la couleur est toujours réalisée sur la partie dorso-médiane du filet cru.

Les évolutions de la couleur de la chair des truites nourries avec de l'aliment pigmenté à 25ppm à partir des trois poids moyens différents en fonction de leur poids (g) sont comparées graphiquement à l'aide d'Excel. Il en est de même pour les évolutions de la couleur des truites nourries à partir du même poids moyen de 475g mais pour des concentrations en pigments simples (25ppm) ou doubles (50ppm). Les facteurs multiplicatifs permettant de passer d'un poids moyen initial non coloré à un poids final d'une couleur optimale de 28 sont extraits, pour 25 et 50ppm, des régressions logarithmiques ajustées aux résultats et calculées par Excel. Ils sont utilisés pour réaliser un tableau comparatif indicatif des coûts de l'alimentation pigmentée avec 25ppm ou 50ppm d'astaxanthine et de leur consommation respective en pigments. Ce tableau utilise l'équation du modèle de croissance des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) de (Rasmussen et From, 1991) à 16°C et pour $f=1$, c'est-à-dire pour une truite qui mange à satiété à chaque distribution d'aliment.

3.4 Evaluation du taux de gras des truites purgées et appréciation des résultats pour le fumage

On mesure la longueur (cm) de la population élargie des truites purgées, en plus de leur masse in vivo, déjà mesurée après le purging (g), afin de calculer leur indice ou coefficient de condition individuel de Fulton, selon la formule suivante : $K = \frac{\text{Poids (g)}}{\text{Longueur (cm)}^3}$ (Fulton, 1911)

Après l'abattage, la saignée, le vidage et le nettoyage des truites, on mesure le taux de gras de leur chair à partir d'un filet. Le filet est paré, la peau est retirée mais le muscle brun est conservé, il est ensuite entièrement broyé à l'aide d'un mixeur plongeur. Les masses m_{i1} et m_{i2} de deux échantillons de broyat de 20 ± 1 g, représentatifs de la composition globale de la chair du filet vendu, sont mesurées avec une précision de 10^{-2} g avant d'être immédiatement placés dans un déshydrateur alimentaire *Excalibur-9 Tray-4900220GB* (Sacramento, US) pendant exactement 24h à 74°C, afin d'en retirer toute l'eau. Les masses m_{f1} et m_{f2} des échantillons déshydratés sont mesurées à la sortie du déshydrateur. Le taux de gras dans le filet est calculé comme la moyenne des taux de gras des deux échantillons et sa formule s'écrit :

$$\text{Taux de lipides moyen} = \frac{3}{20} \left(2 - \frac{m_{i1} - m_{f1}}{m_{i1}} - \frac{m_{i2} - m_{f2}}{m_{i2}} \right)$$

Des tests préliminaires en Annexe X permettent de considérer qu'à une température de 74°C (maximum possible pour le déshydrateur) et pendant une durée de 24h, toute l'eau contenue dans la chair s'est évaporée et qu'aucune graisse ne s'est oxydée. Ainsi le taux de matière sèche contenu dans un échantillon peut s'écrire : $\text{taux ms d'un échantillon} = 1 - \frac{m_i - m_f}{m_i}$

Puisque les taux de protéines, de glucides et de minéraux sont stables d'une truite à l'autre, pour des stades commerciaux proches (Nutraqua, s. d.) on peut considérer qu'il existe une relation inverse entre la teneur en eau et la teneur en lipides du muscle (Bernard 2013; Bugeon, courriel, 26 février 2021).

$$\text{Taux de lipides} = \text{taux de matière sèche} - (\text{taux de protéines} + \text{taux de glucides et minéraux})$$

En estimant le taux de protéines à en moyenne 2/3 du taux de matière sèche et le taux de glucides et minéraux à en moyenne 1/30 du taux de matières sèches (Nutraqua, s. d.) on obtient : $\text{Taux de lipides d'un échantillon} = \frac{3}{10} \left(1 - \frac{m_i - m_f}{m_i} \right)$. Le taux de lipide moyen correspond à la moyenne des taux de lipides des deux échantillons de chair du même filet.

Un premier modèle linéaire est réalisé à l'aide de la fonction *lm* de *RStudio* afin d'évaluer l'importance des paramètres de purging et des facteurs morphologiques externes sur la teneur en gras de la chair des truites de la population élargie. La fonction *RegBest* du package *FactoMineR* est utilisée afin de choisir le meilleur modèle prédictif du taux de gras à partir des mêmes variables. Un tableau prédictif du taux de gras est réalisé à partir de ce modèle ; les intervalles de prédiction associées sont calculés grâce à la fonction *predict*.

4. Résultats et discussions

4.1 Etude de l'attente du consommateur concernant les critères de qualité étudiés et ceux du prix et du format de vente de la truite

4.1.1 Une population enquêtée représentative des potentiels clients de la truite produite par BIGH

Résultats :

169 personnes ont répondu au questionnaire en ligne. Toutes les personnes enquêtées habitent en Belgique, dont 75.15% à Bruxelles. Une grande majorité (61.54%) a entre 21 et 40 ans et une part importante du reste (27.81%) a entre 51 et 60 ans (Figure 2). La catégorie socio-professionnelle à laquelle appartient les enquêtés nous renseigne sur leur activité : plus de la moitié sont des employés (55.62%), viennent ensuite les cadres qui sont 11.83% et enfin les artisans, commerçants ou chefs d'entreprises qui sont 7.10%.

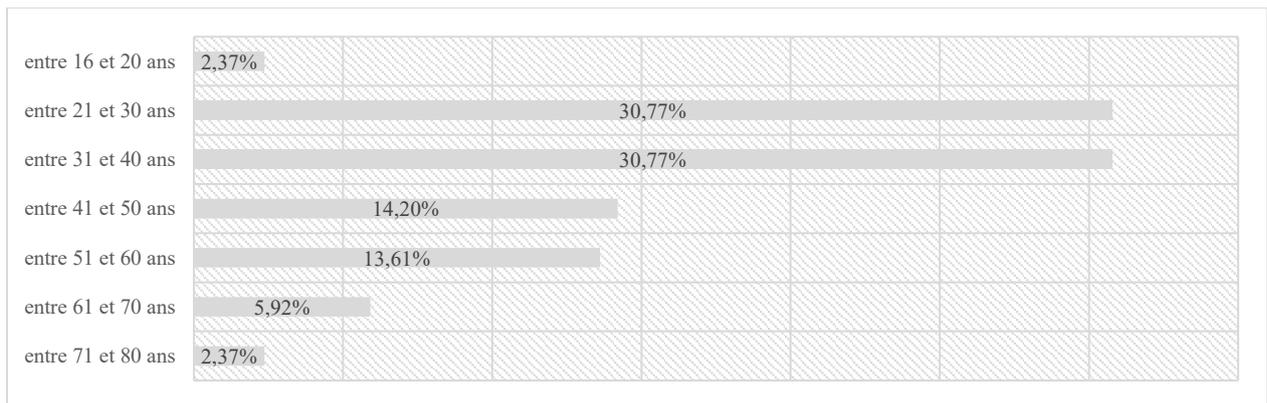


Figure 2: Proportions en pourcentages des enquêtés par tranches d'âges.

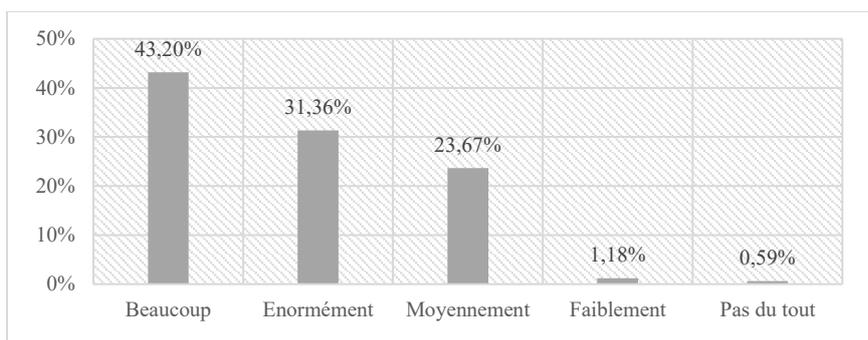


Figure 3: Parts en pourcentages des enquêtés par réponses proposées à la question : Diriez-vous que l'impact sur l'environnement de votre manière de consommer vous préoccupe ?

De plus, une part importante des personnes ayant répondu au questionnaire se considèrent comme soucieuses de l'impact environnemental de leur façon de consommer (Figure3) : 74.56% d'entre elles s'en préoccupent beaucoup ou énormément. Au contraire, seule une petite part d'entre elles (1.77%) ne s'en soucie que faiblement voire pas du tout.

Tableau 1 : Parts en pourcentages des enquêtés consommant toujours, souvent, parfois, occasionnellement ou jamais de truite saumonée ou de saumon.

	Truite saumonée	Saumon
Toujours (une à plusieurs fois par semaine)	0,59%	4,14%
Souvent (une à plusieurs fois par mois)	7,10%	33,73%
Parfois (plusieurs fois par an mais moins d'une fois par mois)	23,67%	43,20%
Occasionnellement (une à deux fois par an)	44,97%	12,43%
Jamais	23,67%	6,51%

La fréquence de la consommation en truite de la population enquêtée semble assez faible : 68.64% en consomment quelques fois par an et 23.67% n'en consomment jamais (Tableau 1). Seule une très petite part de cette population en consomme régulièrement (7.69%). La consommation de saumon de la population étudiée est plus fréquente que la truite : 33.73% des enquêtés en consomment souvent alors que seulement 7.10% consomment souvent de la truite. Cependant, le saumon reste, au même titre que la truite, un produit qui est globalement consommé exceptionnellement puisque 43,20% de la population enquêtée n'en consomme que plusieurs fois par an mais moins d'une fois par mois.

Plus de la moitié des personnes qui ne consomment jamais de truites n'y pensent simplement pas (23 sur 41) ou ne savent pas comment la cuisiner (1 sur 41). Ces personnes sont tout de même considérées comme de potentiels clients de la truite saumonée fumée que proposera BIGH, contrairement aux 18 autres qui n'en mangent pas parce que leur régime alimentaire ne le leur permet pas, parce qu'ils n'aiment pas le poisson ou la truite en particulier, parce qu'ils trouvent cela trop cher ou pour d'autres raisons non justifiées. Ces dernières sont retirées de la population enquêtée qui compte ainsi 151 personnes.

Discussion :

La tranche d'âge et la catégorie socioprofessionnelle enquêtée représentent assez bien la population cible de BIGH qui doit être préférentiellement active : la tranche d'âge des 31 à 50 ans est bien représentée parmi les enquêtés et 79,5% des belges entre 25 et 49 ans ont un emploi (OCDE, 2019). Les employés, les cadres et les chefs d'entreprise représentent une part conséquente des personnes enquêtées, et ont probablement un revenu et un pouvoir d'achat leur permettant théoriquement d'accéder à un produit comme la truite produite par BIGH, qui a des coûts de production plus élevés qu'en élevage traditionnel. Le fait qu'une part élevée de personnes plus jeunes, c'est-à-dire entre 21 et 30 ans ait également répondu au questionnaire est souhaité. En effet, les populations Bruxelloises les plus jeunes, ayant entre 16 et 35 ans sont celles qui sont particulièrement impactées par les effets de leur consommation sur l'environnement (Bruxelles Environnement, 2021). BIGH réalise auprès d'eux une forte sensibilisation et ils sont de potentiels clients en tant que visiteurs de la ferme et ou des réseaux sociaux de l'entreprise. De manière générale, les enquêtés sont très soucieux de leur mode de consommation et c'est le cas également de la plupart des consommateurs actuels de BIGH, qui fournit entre autres des magasins spécialisés et/ou des réseaux de vente qui promeuvent une consommation dont l'impact est plus limité sur l'environnement. La consommation de truite reste cependant très peu fréquente dans la population étudiée mais c'est également le cas en Europe puisque seulement 0.42kg sont consommés en 2018 par habitant en 2018, contre 2.24kg de saumon par exemple, et que cette consommation stagne (Direction générale des affaires maritimes et de la pêche, 2020). Le fait que la grande majorité des personnes enquêtées soit bruxelloises est également un choix puisque les produits de BIGH sont préférentiellement vendus dans leur ville de production, pour favoriser une économie circulaire.

4.1.2 Critères d'achats, préférences et formats de vente de la truite

Résultats :

Les consommateurs ou potentiels consommateurs de truites questionnés consomment ou consommeraient à 53% de la truite essentiellement pour son goût, et dans une moindre mesure pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur leur santé. 15% en consomment principalement pour ses bienfaits et dans une moindre mesure pour leur goût. Seuls 11 et 4% d'entre eux en consomment respectivement uniquement pour leur goût ou pour leurs bienfaits. Les 17% restants sont des consommateurs opportunistes qui n'en consomment pas volontairement mais qui en mangent lorsqu'on leur en propose.

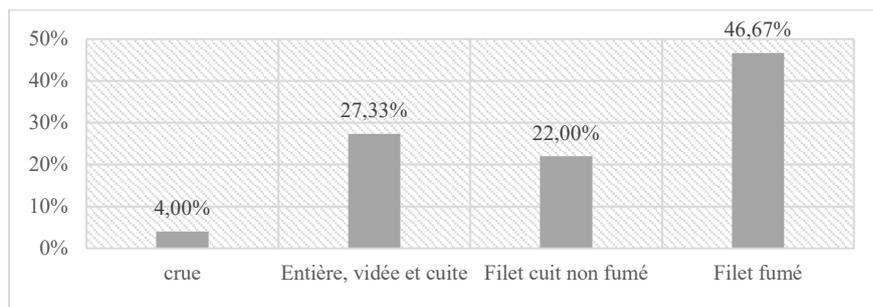


Figure 4: Parts en pourcentages des enquêtés associées aux différentes formes sous lesquelles ils sont plus susceptibles d'acheter de la truite saumonée.

La truite saumonée est préférentiellement consommée ou potentiellement consommée par la population enquêtée sous forme de filet fumé : 46,67% d'entre eux préfèrent ce mode de consommation à la truite entière, vidée cuite ou au filet cuit non fumé (Figure 4). La consommation crue est la moins rependue parmi les enquêtés qui ne sont que 4% à la choisir. De plus, ils l'achèteraient préférentiellement en grande surface ou en superette à 41%, chez le poissonnier à 27%, en magasin spécialisé à 23% et chez le producteur à 9%.

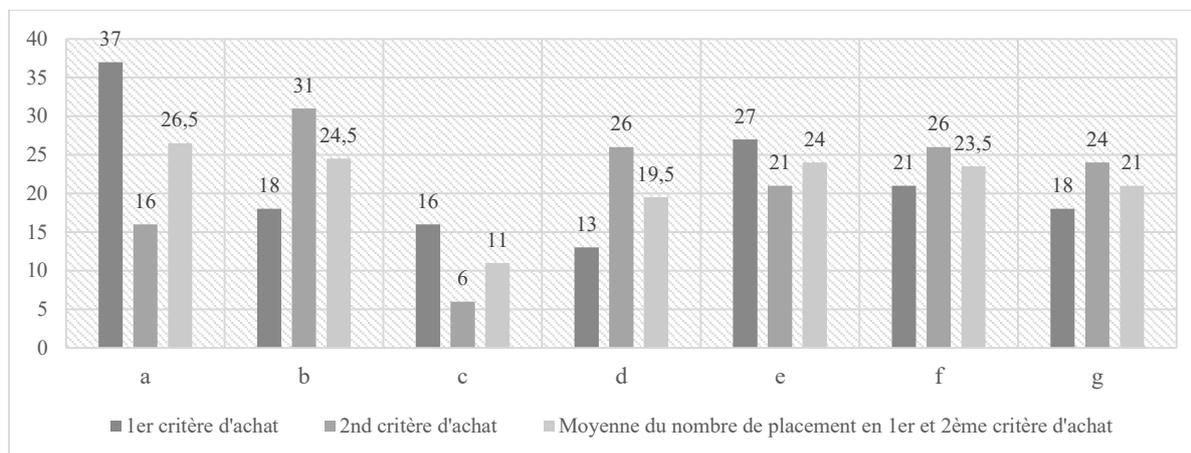


Figure 5: Occurrence du choix des critères en tant que 1^{er} et 2nd critère d'achat lors de leur classement par les enquêtés. Les critères sont indiqués par les lettres a : L'aspect de la chair : couleur et brillance ; b : Le prix ; c : Le caractère attrayant du packaging ; d : L'origine : élevage ou sauvage ; e : L'origine : où a-t-elle été élevée ou pêchée ? ; f : Les labels certifiants une pêche ou une aquaculture durable (ex :MSC, ASC) et g : Les labels biologiques. La moyenne d'occurrence en tant que premier et deuxième choix est indiquée pour chaque critère d'achat à droite des deux autres occurrences.

Lors de l'achat d'une truite saumonée fumée, les enquêtés ont des critères de choix principaux qui sont variés (Figure 5). L'aspect de la chair a cependant été donné le plus de fois en tant que premier critère (37 fois), suivi par la provenance de la truite, c'est-à-dire son lieu

d'élevage ou de pêche, suivi par les labels certifiants une pêche ou une aquaculture durable. Le critère le plus cité en 2nd critère d'achat principal est le prix de la truite (31 fois), suivi par l'origine (élevage ou sauvage) et les mêmes labels. Les moyennes des deux occurrences nous indiquent que le critère le plus regardé lors de l'achat d'une truite par les enquêtés reste l'aspect de la chair : sa couleur et sa brillance, puis son prix et enfin sa provenance. Le critère le moins cité en premier ou deuxième est le caractère attrayant du packaging. Les autres critères ont des moyennes d'occurrences en première et deuxième place assez proches les unes des autres.

Aucun format de vente pour la truite saumonée fumée n'a été préféré entre une plus grande quantité pour un prix au kg moins élevé mais un prix unitaire plus élevé et une plus petite quantité pour un prix unitaire moins élevé mais un prix au kg plus élevé. Cependant, le format de vente choisi par BIGH sous forme de filet fumé avec la peau et non tranché semble plaire à ceux qui ont répondu au questionnaire puisque la majorité d'entre eux (52%) le trouvent authentique plutôt que peu attrayant (6.66%). 24% pensent néanmoins que ce format de vente rend la truite moins facile à consommer, mais la grande majorité de ceux qui le trouvent moins pratique (83%) n'ont jamais expérimenté la consommation d'un filet de truite préparé de la sorte.

Enfin le consentement à payer des potentiels consommateurs, pour une truite saumonée fumée, élevée avec de l'aliment bio dans un système durable et local, en aquaponie à Bruxelles (scénario « BIGH », Figure 6) est en moyenne 4.77€/kg plus élevé que leur consentement à payer pour une truite saumonée fumée qui serait élevée de manière traditionnelle en Belgique (scénario « élevage traditionnel », Figure 6). Après leur avoir donné une définition du label ASC, ils seraient prêts à payer en moyenne 2.27€/kg de plus (scénario « BIGH + ASC », Figure 6).

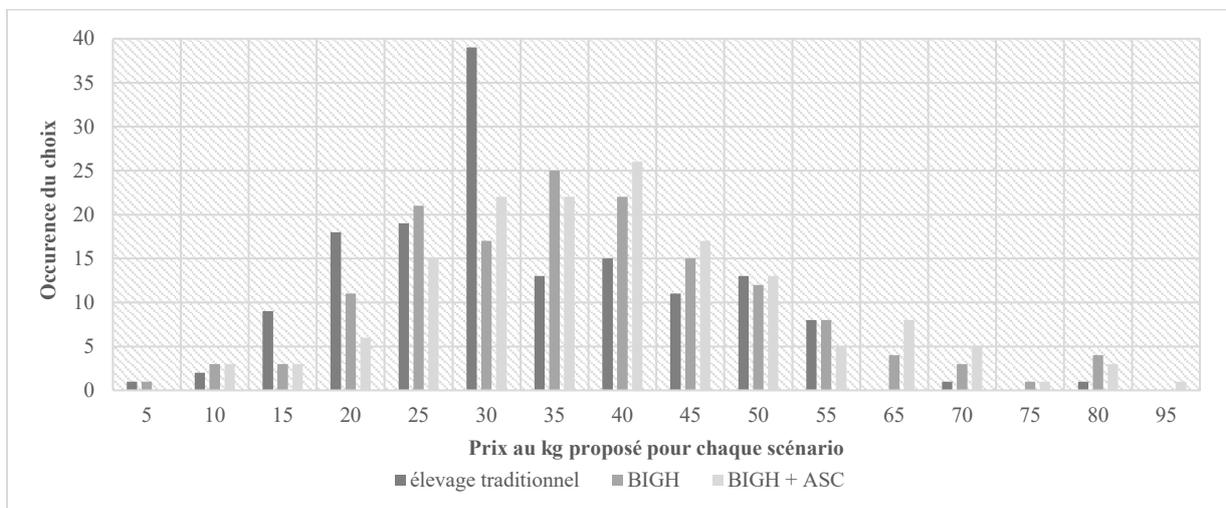


Figure 6: Effectif des enquêtés, pour chaque association de prix au kg de truite saumonée fumée, à un scénario d'argument de vente proposé.

En effet, les consentements à payer moyens sont de 33,03€ pour le scénario de l'élevage traditionnel, 37,80€ pour le scénario de BIGH et 40,07€ pour le scénario de BIGH et ASC. Cependant ces valeurs moyennes sont à relativiser par le fait que le choix des prix semble avoir été fait de manière aléatoire : les prix choisis sont le plus souvent moyens, et le moins souvent extrêmes (Figure 6). Cela traduit potentiellement un choix aléatoire des prix par les enquêtés et donc une éventuelle méconnaissance des prix de la truite. Les consentements à payer supplémentaires d'un scénario à l'autre restent interprétables puisqu'il s'agit d'une différence de prix.

Discussion :

Ainsi le format du filet fumé semble être le plus apprécié par les potentiels consommateurs et donc être celui à privilégier pour la vente de la truite chez BIGH. Il serait de plus préférable pour l'entreprise de vendre cette truite dans des supermarché ou le public cible semble préférentiellement acheter de la truite saumonée fumée et où plus de 70% des belges l'achètent (UBIFRANCE et FranceAgriMer, 2009). Les critères d'aspect, de prix et d'origine sont les critères d'achats les plus importants pour les enquêtés. Le critère de prix et d'origine sont également placés en critères d'achat principaux des produits de la mer frais en France, derrière la fraîcheur des produits (Fournis et al., 2009). Et bien que le critère du prix soit déterminant, les personnes enquêtées n'ont pas émis de choix tranché pour le format le plus économique proposé. Le format de vente avec la peau et non tranché ne semble pas freiner le consommateur, mais plutôt le rassurer. Enfin le consommateur enquêté semble connaître les prix usuellement appliqués pour de la truite saumonée fumée produite en aquaculture, qui sont en moyenne en France de 28€ HT le kg (RNM FranceAgriMer, 2021) et qu'il estime en moyenne à 33€/kg, même si ce résultat est potentiellement aléatoire. Il est prêt à déboursier en moyenne 4.77€/kg de plus pour déguster une truite élevée chez BIGH par rapport à un élevage traditionnel et 2.27€/kg de plus si le label ASC lui est appliqué. Ceci est à relativiser par le fait que 60% des personnes enquêtées connaissaient l'entreprise avant de faire le questionnaire, ce qui représente un biais conséquent à l'extrapolation des résultats à tous les consommateurs potentiels de la truite de BIGH.

4.1.3 Caractérisation des préférences du consommateur vis-à-vis de la couleur de chair, de la sensation de gras et du goût de vase afin de moduler les paramètres et les objectifs de production étudiés

Parmi les 3 choix de couleurs présentés en Figure 7, qui est un extrait du questionnaire, la couleur qui semble avoir été préférée est la couleur de chair intermédiaire et ce dans 49,33% des cas (Figure8). Les deux autres couleurs de chair ont toutes les deux été préférés dans 23% des cas. Sur l'échelle du *SalmoFan*TM, l'option 3 a une note de 20, l'option 2 une note de 24 et l'option 3 une note de 28 environ.

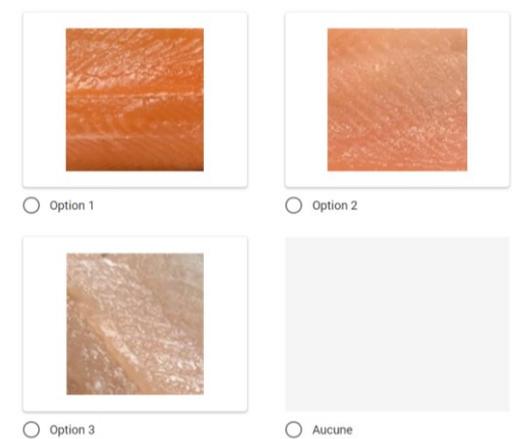


Figure 7 : Options de couleur de chair proposées aux personnes enquêtées afin de répondre à la question suivante : Laquelle de ces trois couleurs de chair de truite vous donne le plus envie ?

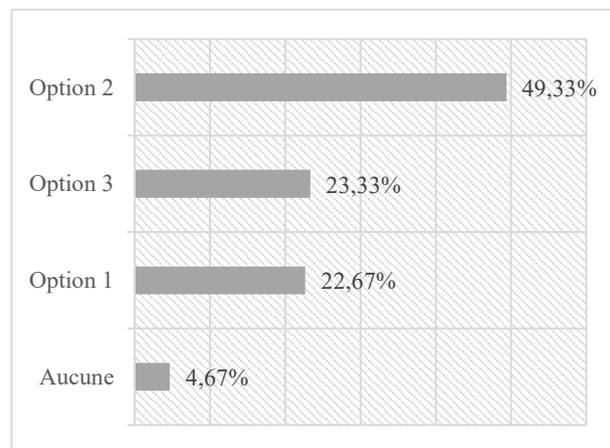


Figure 8 : Part en pourcentage des personnes enquêtées ayant préféré chacune des options ou aucune d'entre elles. Chaque Option étant indiquée en Figure 7.

L'énoncé d'une sensation de gras plus faible en bouche, lors de la consommation d'une truite saumonée fumée, a été préférée à celle d'une sensation de gras plus forte dans 75.33% des cas. Ces résultats, mis en relation avec leurs motivations d'achat, mettent en évidence que

quel que soit la sensation en bouche préférée, la raison principale de l'achat reste à 54,87% le goût apprécié de la truite et dans une moindre mesure celui de l'effet sur la santé. Parmi les personnes préférant une truite plus grasse en bouche, aucune n'a cependant répondu qu'elle consomme de la truite uniquement pour ses bienfaits. En effet, toutes les personnes enquêtées consommant la truite uniquement pour ses bienfaits préfèrent qu'elle soit faiblement grasse en bouche, soit 4% d'entre eux.

Enfin, parmi les personnes enquêtées, 21 personnes sur 151 ont déjà ressenti un goût ou une odeur de vase ou de terre lors de la dégustation d'une truite saumonée. Parmi celles-là, 11 l'ont simplement détectée sans que cela n'affecte leur dégustation, 8 ont été dérangées sans que cela ne les empêche de manger mais aucune n'a été fortement affecté par l'off-flavor au point de ne pas manger la truite pour cette raison. 2 d'entre eux ont même apprécié le goût de vase. Une grande majorité des personnes enquêtées n'ont cependant jamais ressenti l'off-flavor (86%) et 74,74% d'entre elles affirment même qu'elles apprécieraient ce goût si elles en faisaient l'expérience. Cependant, la majorité des personnes questionnées ne rachèteraient pas une truite saumonée ayant le goût ou l'odeur de vase (74,67%) et parmi ceux qui en rachèteraient, seuls 15,79% ont déjà expérimenté ce goût et ils représentent 4% du total des personnes enquêtées.

Discussion :

La couleur préférée de chair crue est une couleur dont l'intensité de l'orange est moyenne. Ce résultat ne peut pas être considéré comme un objectif de production car il peut avoir été choisi en tant que couleur intermédiaire par rapport aux deux autres. Le fait qu'une proportion quasi égale des enquêtés ait choisi l'une des deux autres couleurs confirme qu'il est possible que le choix ait été effectivement influencé par le hasard, plutôt que selon une véritable préférence. Il a été démontré aux Etats Unis que la couleur de chair rouge-orangée des salmonidés est le premier trait que le consommateur observe lors de l'achat, et qu'ils associent par ailleurs à un produit de meilleure qualité, fraîcheur et goût (Anderson, 2000). Ainsi, la commercialisation d'une truite à la couleur plus pâle que celle du marché pourrait conduire à une mauvaise réception du produit par le consommateur et donc à de mauvaises ventes. Cela a été le cas en Turquie, où la demande du client a été étudiée à la suite de problèmes de commercialisation de truites arc-en-ciel à la couleur pâle : les données ont suggéré que le score du *SalmoFan*TM de DSM de leur chair devait être au minimum de 27 pour répondre à la demande des clients et de l'industrie de transformation. (Yeşilayer, 2020). Une couleur de chair comprise entre 28 et 30 est choisie par l'entreprise, qui souhaite satisfaire la demande de futurs clients, désirant que le produit s'adapte au marché existant.

Les personnes enquêtées semblent préférer une sensation de gras plutôt faible que forte lors de la dégustation d'une truite saumonée fumée. La teneur en gras de la truite d'élevage étant effectivement plus faible que celle du saumon d'élevage par exemple, même après le fumage (Vallet, s. d.). On considère donc, pour ces raisons et d'autres qui seront évoquées plus tard, préférable pour BIGH de limiter le taux de gras des truites produites.

Enfin l'off-flavor n'est globalement pas très connu par les enquêtés qui ne l'ont pour la plupart jamais expérimenté. Une grande majorité des enquêtés reconnaissent pourtant qu'ils n'en rachèteraient pas s'ils en faisaient l'expérience. Cela reflète l'enjeu que représente ce défaut de qualité pour les piscicultures de truites en RAS et est à l'image de la réception négative, par le consommateur bruxellois, du bar au fort goût de vase. L'objectif est donc évidemment pour l'entreprise d'éliminer le plus possible cette flaveur des truites produites.

4.2 Des conditions de purging ayant un impact fort sur l'épuration de l'off-flavor et permettent de réaliser un itinéraire de purging

4.2.1 Evaluation de l'effet du nombre de jours de purging, du pourcentage de renouvellement en eau et de la mise à jeun sur l'odeur et le goût de vase de la truite et établissement d'un protocole de purging

Résultats :

Les notes moyennes d'odeur et de goût de la population restreinte sont représentées sur la Figure 9 en fonction des trois paramètres de purging qui sont ici considérés comme des facteurs pour simplifier l'observation. Les valeurs prises par ces paramètres sont déterminées par les conditions d'élevage. Les pourcentages de renouvellement testés correspondent à des consommations en eau acceptables pour le système. Des renouvellements trop forts risquent de diluer le MBBR où l'eau de purge est évacuée, et occasionnent des pertes d'eau qu'il convient d'éviter en RAS. La durée est quant à elle basée sur celle existant entre deux commandes qui est de plus ou moins une semaine et sur la littérature : entre 2 à 10 jours, parfois beaucoup plus longue selon les espèces ou les situations (Davidson, Schrader, Ruan, et al., 2014; Howgate, 2004; Robertson et al., 2005). Un jeûne de 2 jours permet aux truites de vider entièrement leur tube digestif avant d'être purgées (Olsson, 1998) afin de limiter l'encrassement des bassins de purging.

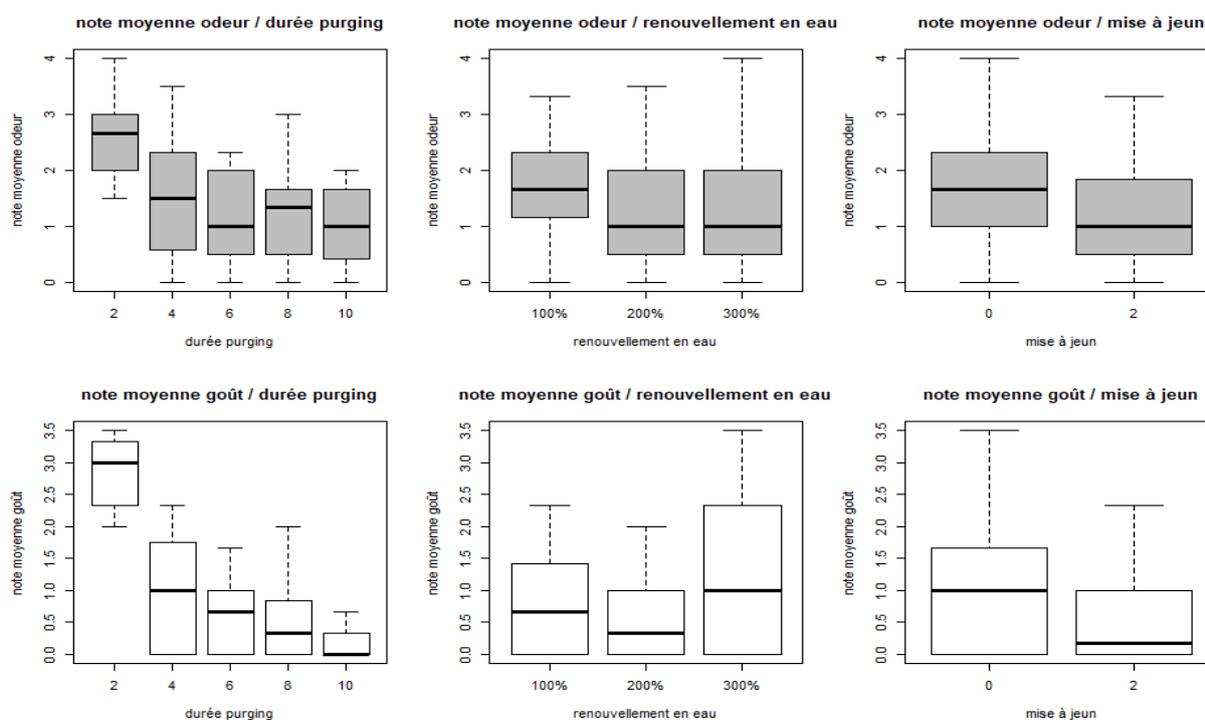


Figure 9 : Boxplots exploratoires des notes moyennes d'odeur en haut et de goût en bas, attribuées à la chair de truites purgées (pop. restreinte), en fonction de la durée de purging (jours), du taux de renouvellement en eau (%) et de la mise à jeun avant le purging (jours) de gauche à droite.

Les Figures 9 et 10 mettent en évidence l'existence d'un effet de ces trois paramètres sur les notes moyennes d'odeur et de goût de vase des truites testées. Les notes diminuent avec le temps d'épuration et cette diminution semble moins franche pour l'odeur que pour le goût dont la moyenne passe de 3 en 2 jours à presque 0 en 10 jours (Figure 9). L'augmentation du pourcentage de renouvellement en eau de 100 à 300% diminue également les notes moyennes de goût et d'odeur de vase, mais cette diminution est moins distincte entre 200 et 300% et en particulier pour le goût (Figure 9). Cela est certainement dû à la nature des tests réalisés : ils n'ont été réalisés à 300% de renouvellement d'eau par jour que sur des durées de 2, 4 et 6

jours alors qu'ils ont été réalisés sur des durées de 4, 6, 8 et 10 jours à des renouvellement de 100 et 200%. Donc les notes moyennes à 300% de renouvellement en eau sont calculées sur des durées plus faibles que celles à 100 et 200% et cela explique certainement qu'elles ne soient pas forcément plus faibles qu'à 100 et 200%. De même, les notes moyennes sur 8 et 10 jours sont calculées à partir des résultats obtenus à des renouvellement de 100 et 200% et celles sur 2 jours, uniquement à partir des résultats obtenus à un renouvellement de 300%, ce qui peut expliquer que la moyenne d'odeur soit à ce point plus élevée à 8 et 10 jours de purging qu'à 6 par exemple. Enfin la mise à jeun des truites pendant 2 jours avant le purging améliore également l'épuration de l'off-flavor (Figure 9).

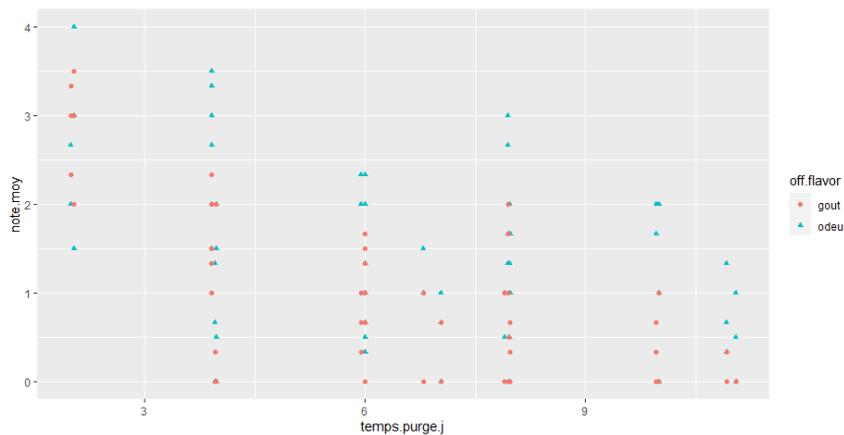


Figure 10: Notes d'off-flavor moyennes attribuées à chaque truite testée (pop. restreinte) en fonction du temps de purging (jours).

On remarque également sur la Figure 9 que les notes moyennes d'odeur semblent toujours plus fortes que celles du goût mais la Figure 10, qui représente le goût et l'odeur de vase des truites en fonction de la durée de purging, permet une meilleure visualisation de ce phénomène. On s'intéresse donc à l'évaluation de l'effet de ces paramètres sur l'efficacité du purging grâce à l'ajustement de modèles de l'effet de ces paramètres de purging sur la note moyenne d'odeur et de goût (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2 (à gauche) : Estimation de l'effet des paramètres de purging et de leur importance sur la note moyenne d'odeur de vase des truites testées (pop. restreinte).

Tableau 3 (à droite) : Estimation de l'effet des paramètres de purging et de leur importance sur la note moyenne de goût de vase des truites testées (pop. restreinte).

```
Call:
lm(formula = note.odeur.moy ~ ., data = datapreliod)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.70789 -0.60458 -0.07461  0.48850  1.86186

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.154268   0.447410   9.285 1.56e-13 ***
taux.renouvellement.eau -0.005580   0.001278  -4.367 4.62e-05 ***
temps.purge  -0.009119   0.001658  -5.501 6.84e-07 ***
jeune.pre.purge -0.258222   0.093576  -2.760 0.00751 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7727 on 65 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3891, Adjusted R-squared:  0.3609
F-statistic: 13.8 on 3 and 65 DF, p-value: 4.604e-07
```

```
Call:
lm(formula = note.gout.moy ~ ., data = datapreliod)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.2396 -0.5619 -0.0522  0.4137  1.8630

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.123759   0.406630   7.682 1.07e-10 ***
taux.renouvellement.eau -0.002544   0.001161  -2.190 0.0321 *
temps.purge  -0.010721   0.001507  -7.116 1.08e-09 ***
jeune.pre.purge -0.190396   0.085046  -2.239 0.0286 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7023 on 65 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4532, Adjusted R-squared:  0.4279
F-statistic: 17.96 on 3 and 65 DF, p-value: 1.347e-08
```

L'odeur de vase est fortement influencée par le taux de renouvellement en eau et par la durée du purging mais moins par la période de jeune pré-purging, même si l'effet sur l'odeur de ces trois paramètres est bien significatif (Tableau 2). L'effet sur le goût des trois paramètres est également significatif mais le jeune et le taux de renouvellement ont moins d'impact sur la note moyenne de goût que le temps de purging, dont la p-value du t-test est largement

inférieure à celles des autres paramètres (Tableau 2). Un jeune de deux jours avant le purging a donc moins d'influence sur la note moyenne d'odeur et de goût que les autres paramètres, ce qui confirme les résultats de la Figure 9. De plus, le taux de renouvellement a un impact plus significatif sur l'odeur que sur le goût d'off-flavor, par rapport à l'impact respectif des autres paramètres de chaque modèle, comme observé en Figure 9, même s'il reste moins significatif que le temps de purge sur l'odeur.

Les paramètres estimés dans les Tableaux 2 et 3 permettent d'écrire les équations de prédiction des deux modèles suivants et sont utilisées pour construire le Tableau 4 qui servira de base aux protocoles de purging. Ces deux équations confirment qu'une même durée de purging diminue plus la note de goût moyenne que celle de l'odeur alors qu'un même taux de renouvellement et une même durée de jeune font moins diminuer la moyenne de goût que celle de l'odeur.

$$\text{Note odeur} = 4.154 - 5.58e^{-3} \times \text{taux renouvellement en eau (\%)} - 9.12e^{-3} \times \text{durée purge (h)} - 0.258 \times \text{durée jeune (j)}$$

$$\text{Note goût} = 3.124 - 2.54e^{-3} \times \text{taux renouvellement en eau (\%)} - 1.07e^{-2} \times \text{durée purge (h)} - 0.190 \times \text{durée jeune (j)}$$

Le Tableau 4 présente les combinaisons des paramètres de purging permettant d'obtenir une note de goût et/ou d'odeur de vase inférieure ou égale à 1. Une truite commercialisable est considérée comme une truite n'ayant pas du tout voire très peu d'odeur et de goût de vase. Ainsi, seules les combinaisons de paramètres de purging aboutissant à une note inférieure à 1 pour l'odeur et le goût doivent être utilisées sur le Tableau 4. Une note négative sera considérée comme l'absence totale d'off-flavor mais sa valeur nous renseigne tout de même sur l'efficacité de la combinaison de paramètres. On remarque tout d'abord que les notes d'odeurs sont souvent plus limitantes (sup. 1) que les notes de goût, même pour des durées de purging très élevées (10 jours). Cela est dû au fait que les taux de renouvellements impactent beaucoup l'odeur de la truite et moins son goût, comme démontré précédemment. Une mise à jeun permet cependant de réduire l'odeur des truites à de plus faibles taux de renouvellement, même si elle réduit moins efficacement l'odeur que le goût de vase. La note de goût est elle aussi limitante lorsque la durée de purging est très faible : 1 ou 2 jours. En effet le goût de vase est surtout très fortement réduit par la durée de purging, et des taux de renouvellement élevés ne suffisent pas à la réduire dans ce cas. Mais sa valeur diminue efficacement avec le nombre de jours de purging.

Tableau 4: Combinaisons des paramètres de purging estimés permettant d'obtenir une note de goût d'off-flavor et/ou une odeur d'off-flavor inférieures à 1 (pop. restreinte). Les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr ($\alpha=0.05$).

Durée purging (j)	Durée jeune (j)	Taux renouvellement (% par jour)	Note odeur	lwr	upr	Note goût	lwr	upr
1	2	500	0,629	-1,099	2,357	sup.1		
2	0	500	0,927	-0,795	2,648	sup.1		
2	2	400	0,968	-0,677	2,614	sup.1		
2	2	500	0,410	-1,314	2,134	0,957	-0,610	2,524
3	0	500	0,708	-1,012	2,428	sup. 1		
3	2	400	0,749	-0,892	2,390	0,954	-0,538	2,445
3	2	500	0,191	-1,533	1,916	0,699	-0,868	2,266
4	0	500	0,489	-1,233	2,211	0,823	-0,743	2,388
4	2	400	0,531	-1,110	2,171	0,696	-0,794	2,187
4	2	500	-0,027	-1,756	1,701	0,442	-1,129	2,013
5	0	400	0,828	-0,810	2,466	0,820	-0,669	2,308
5	0	500	0,270	-1,458	1,999	0,565	-1,006	2,136
5	2	200	sup.1			0,948	-0,479	2,375
5	2	300	0,870	-0,717	2,456	0,693	-0,749	2,135
5	2	400	0,312	-1,332	1,955	0,439	-1,054	1,932
5	2	500	-0,246	-1,982	1,489	0,185	-1,393	1,762
6	0	300	sup.1			0,817	-0,623	2,256

6	0	400		0,609	-1,034	2,253	0,562	-0,931	2,056
6	0	500		0,051	-1,687	1,790	0,308	-1,272	1,888
6	2	100	<i>sup.1</i>				0,945	-0,498	2,387
6	2	200	<i>sup.1</i>				0,690	-0,734	2,115
6	2	300		0,651	-0,938	2,240	0,436	-1,008	1,880
6	2	400		0,093	-1,557	1,743	0,182	-1,318	1,681
6	2	500		-0,465	-2,212	1,282	-0,073	-1,660	1,515
7	0	200	<i>sup.1</i>				0,814	-0,608	2,236
7	0	300		0,948	-0,640	2,537	0,559	-0,884	2,003
7	0	400		0,390	-1,262	2,043	0,305	-1,197	1,807
7	0	500		-0,168	-1,919	1,584	0,051	-1,541	1,643
7	2	100	<i>sup.1</i>				0,687	-0,751	2,126
7	2	200		0,990	-0,579	2,558	0,433	-0,992	1,859
7	2	300		0,432	-1,163	2,027	0,179	-1,271	1,628
7	2	400		-0,126	-1,787	1,535	-0,076	-1,585	1,434
7	2	500		-0,684	-2,445	1,077	-0,330	-1,931	1,271
8	0	100	<i>sup.1</i>				0,811	-0,625	2,247
8	0	200	<i>sup.1</i>				0,557	-0,869	1,982
8	0	300		0,730	-0,868	2,327	0,302	-1,149	1,754
8	0	400		0,172	-1,494	1,837	0,048	-1,466	1,562
8	0	500		-0,386	-2,155	1,382	-0,207	-1,814	1,401
8	2	100	<i>sup.1</i>				0,430	-1,009	1,869
8	2	200		0,771	-0,803	2,345	0,176	-1,254	1,606
8	2	300		0,213	-1,392	1,818	-0,079	-1,537	1,380
8	2	400		-0,345	-2,020	1,330	-0,333	-1,855	1,189
8	2	500		-0,903	-2,682	0,876	-0,587	-2,204	1,030
9	0	100	<i>sup.1</i>				0,554	-0,885	1,992
9	0	200	<i>sup.1</i>				0,299	-1,133	1,731
9	0	300		0,511	-1,099	2,120	0,045	-1,418	1,508
9	0	400		-0,047	-1,730	1,635	-0,209	-1,738	1,319
9	0	500		-0,605	-2,394	1,183	-0,464	-2,089	1,162
9	2	100	<i>sup.1</i>				0,173	-1,270	1,615
9	2	200		0,552	-1,031	2,135	-0,082	-1,520	1,357
9	2	300		-0,006	-1,625	1,613	-0,336	-1,807	1,135
9	2	400		-0,564	-2,257	1,129	-0,590	-2,129	0,948
9	2	500		-1,122	-2,922	0,679	-0,845	-2,481	0,792
10	0	100	<i>sup.1</i>				0,296	-1,148	1,741
10	0	200		0,850	-0,737	2,437	0,042	-1,401	1,484
10	0	300		0,292	-1,334	1,918	-0,212	-1,690	1,265
10	0	400		-0,266	-1,969	1,436	-0,467	-2,014	1,080
10	0	500		-0,824	-2,636	0,988	-0,721	-2,368	0,926
10	2	100		0,891	-0,704	2,487	-0,085	-1,535	1,365
10	2	200		0,333	-1,262	1,929	-0,339	-1,789	1,111
10	2	300		-0,225	-1,861	1,412	-0,593	-2,081	0,894
10	2	400		-0,783	-2,497	0,932	-0,848	-2,406	0,711
10	2	500		-1,341	-3,166	0,485	-1,102	-2,761	0,557

Le Tableau 4 est un outil permettant de faciliter la prise de décision en pisciculture. Connaissant le nombre de jours dont on dispose avant la prochaine commande, par exemple 7, il sera possible de savoir quel pourcentage de renouvellement en eau appliquer au bassin afin d'être certain que la chair de truite en sortie d'élevage soit exempte d'off-flavor : 300 à 400% suffisent dans ce cas. Si un bassin de purging n'est pas disponible dès la prise en connaissance d'une commande, ou que la main d'œuvre ou le matériel nécessaire au transfert ne sont pas disponibles le jour même, la mise à jeun en attendant permet de limiter la consommation en eau en diminuant le % de renouvellement à appliquer lors du purging : on disposera de 5 jours dans notre cas, toujours à 300 ou 400%, contre 5 jours à 400 ou 500% sans mise à jeun. Cependant les intervalles de prédiction au niveau de 95%, associées à chaque estimation de note dans le Tableau 4, sont indicatrices de la forte incertitude des résultats obtenus. En effet, la moyenne de l'incertitude associée à la prédiction de l'odeur est de +/-1,50 et celle du goût est de +/-1.67. Il est donc préférable de choisir des combinaisons pour lesquelles les notes finales obtenues sont les plus faibles possibles.

Discussion :

L'analyse des effets de ces trois paramètres sur l'évaluation de l'intensité de l'off-flavor dans la chair des truites purgées permet de conclure sur leur efficacité respective et ainsi de limiter l'impact de ce processus coûteux en eau et en énergie sur l'élevage. La note d'odeur est très rarement perçue en dessous de 1 pour des taux de renouvellement faibles, ce qui limite l'économie en eau possible. La durée du purging peut être considérée comme le facteur ayant le plus d'impact sur l'efficacité d'épuration. Cela explique par ailleurs pourquoi les taux de renouvellements en eau des systèmes de purging sont rarement explicités lors des travaux de recherches visant à évaluer la rapidité d'épuration de l'off-flavor. Bien que le rôle spécifique du taux de renouvellement soit inconnu, il tout de même admis que l'utilisation d'eau continuellement renouvelée et oxygénée facilite l'élimination du goût de vase en comparaison avec une eau statique et contenant potentiellement des algues et autres flores aquatiques, même en faible quantité (Iredale et York, 2011). L'impact du jeune est limité par rapport aux autres paramètres mais il améliore de la même manière la qualité d'eau et donc la vitesse d'épuration et évite le développement de bactéries dans les structures de purging qui risqueraient de recontaminer les truites pour des durées d'épuration plus longues ou entre deux purges si les structures sont mal nettoyées (Davidson et al., 2014).

Les incertitudes de prédiction liées aux modèles sont conséquentes, mais elles peuvent être relativisées par le faible seuil de détection de l'off-flavor des membres du jury, entraînés à le reconnaître. Ces résultats ne sont pas généralisables à d'autres structures puisque d'autres variables ont pu entrer en jeu dans l'efficacité d'épuration. La température du purging a fluctué d'un test à l'autre, car elle dépendait de celle de l'eau de forage utilisée, qui n'est pas régulable. Or une augmentation de température accélère la vitesse d'épuration (Johnsen et al., 1996). De plus, les conditions d'élevage impactent la concentration en molécules d'off-flavor des truites et donc l'efficacité du purging sur leur épuration : plus la concentration en MIB et en géosmine dans leur chair est forte, plus la durée de purging devra être longue (Johnsen et al., 1996). Les truites testées provenaient de deux bassins d'élevage différents dont les concentrations de géosmine et de MIB sont possiblement différentes, ce qui a pu influencer les résultats. Enfin la concentration de ces molécules lipophiles dans la chair de truite dépend de la quantité de gras qui s'y trouve (Johnsen et Lloyd, 1992). Or les truites ont été purgées à des âges différents et donc à des concentrations de gras dans la chair différentes (James Henderson et Tocher, 1987) et qui sont méconnues avant le purging. Enfin les densités de purging, même si elles ne varient pas ou très peu, sont très faibles et ne représentent pas les densités de purging commerciale, ce qui représente une limite à l'exploitation des résultats.

4.2.2 Effet d'autres paramètres de purging et d'élevage sur l'efficacité d'épuration de l'off-flavor : importance du nettoyage des structures et de la propreté du système

Résultats :

Les modèles de régression linéaire suivants (Tableaux 5 et 6) permettent d'évaluer les effets de paramètres d'élevage et de purging additionnels, connus sur l'efficacité de ce dernier. Ces paramètres sont difficilement ou pas modulables dans le système de BIGH, c'est pourquoi ils n'ont pas été intégrés aux modèles prévisionnels de la partie précédente. Les ajustements ont été réalisés sur la base de données élargie afin d'évaluer l'effet de la quantité d'eau vidangée et du nettoyage des bassins de purging entre chaque test. La densité du bassin de purging varie dans la population élargie.

Tableau 5 (à gauche) : Estimation de l'importance de paramètres d'élevages et de purging additionnels sur la note moyenne d'odeur de vase des truites testées (pop. élargie). Tableau 6 (à droite) : Estimation de l'importance de paramètres d'élevage et de purging additionnels sur la moyenne de goût de vase des truites purgées (pop. élargie).

```

call:
lm(formula = note.odeur.moy ~ ., data = dataod)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.39866 -0.48156  0.03875  0.42853  1.81566

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  9.6130834  2.7755593   3.463 0.000864 ***
densite.bassin.zero -0.0365753  0.0125764  -2.908 0.004717 **
densite.systeme  0.0339001  0.0225184   1.505 0.136199
densite.bassin.purge  0.0001508  0.0001982   0.761 0.449063
taux.renouvellement.eau -0.0043279  0.0015275  -2.833 0.005843 **
temps.purge -0.0056586  0.0016034  -3.529 0.000699 ***
vidange.nettoyage -0.0090612  0.0034801  -2.604 0.011013 *
temperature.moy -0.3138508  0.1719346  -1.825 0.071719 .
jeune.pre.purge -0.3614868  0.0984156  -3.673 0.000434 ***

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7221 on 79 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4925,    Adjusted R-squared:  0.4411
F-statistic: 9.583 on 8 and 79 DF,  p-value: 3.557e-09

call:
lm(formula = note.gout.moy ~ ., data = datago)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.19693 -0.50830 -0.03408  0.40978  1.76251

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.8255808  2.5738004   1.486 0.14117
densite.bassin.zero -0.0323655  0.0116622  -2.775 0.00688 **
densite.systeme  0.0342174  0.0208815   1.639 0.10326
densite.bassin.purge  0.0001470  0.0001838   0.800 0.42626
taux.renouvellement.eau -0.0006871  0.0014164  -0.485 0.62895
temps.purge -0.0070704  0.0014869  -4.755 8.77e-06 ***
vidange.nettoyage -0.0076319  0.0032272  -2.365 0.02049 *
temperature.moy -0.0428094  0.1594364  -0.269 0.78901
jeune.pre.purge -0.2402746  0.0912616  -2.633 0.01018 *

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6696 on 79 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4704,    Adjusted R-squared:  0.4168
F-statistic: 8.772 on 8 and 79 DF,  p-value: 1.68e-08

```

La durée du purging, le taux de renouvellement en eau et le jeune avant le purging expliquent toujours, malgré l'ajout de paramètres, une part significative de la variabilité de la note d'odeur de vase (Tableau 5). La durée de purging et la mise à jeun expliquent toujours également une part significative de la variabilité de la note de goût de vase, mais le taux de renouvellement en eau n'a plus d'effet significatif sur ce dernier (Tableau 6). La densité du bassin duquel proviennent les truites ainsi que le pourcentage de vidange et le nettoyage des bassins de purging entre chaque test (lorsque la vidange est de 100%) ont un effet significatif respectivement positif et négatif sur la note d'odeur et de goût de vase (Tableaux 5 et 6). La densité du système au transfert dans le bassin de purge, la densité du bassin de purge et la température moyenne n'ont pas d'effet significatif au seuil de 0.05 sur la variabilité des notes moyennes. Mais on note tout de même un effet positif et un effet négatif de la température moyenne, de la densité du système et du bassin de purge sur les notes. La température a pourtant fortement varié lors des tests (Mean=16.15, SD=0.802, Min =14.78, Max=17.78).

Discussion :

La densité du bassin duquel proviennent les truites, et celle du système le jour du transfert vers le purging, sont utilisées dans le modèle comme des indicateurs de l'encrassement des structures d'élevage, et donc d'une contamination plus importante en MIB et Géosmine des truites. En effet, la concentration en molécules odorantes dans la chair dépend de la quantité de MIB et de géosmine dans l'eau d'élevage, et du temps de contact des truites avec elles (Johnsen et al., 1996). Ces quantités dépendent du nombre et de l'activité des bactéries qui les produisent, qui varie avec l'encrassement des bassins d'élevage et du système (Robertson et al., 2006; Robin et al., 2006). Cela explique les notes plus élevées des truites sorties du système lorsque sa densité est plus forte, mais également les notes plus élevées attribuées à celles issues d'un bassin d'élevage moins dense. En effet, les truites proviennent en réalité de deux bassins d'élevage ; un encrassement bien plus rapide après chaque nettoyage a été constaté dans le premier, qui a une plus faible densité que le second. La mise en mouvement de l'eau et des particules solides dans le fond des tanks de 10m³ de type « Cornell » dont est équipé la pisciculture, est en effet largement facilitée par la densité de poissons qu'il contient (Davidson et Summerfelt, 2004). Pour limiter ce phénomène, la fréquence de nettoyage des bassins dont l'encrassement est le plus fort peut être augmentée et la densité globale du système surveillée.

Les résultats montrent également que la vidange et le nettoyage des structures de purging entre chaque utilisation sont impératifs. Ces structures, au même titre que celles d'élevage

s'encrassent au contact des truites. Elles sont équipées de colonnes d'oxygénation, contenant des boules en plastique, dont le rôle est d'augmenter la surface de contact entre l'oxygène inséré et l'eau. Mais elles représentent aussi une surface préférentielle de dépôt de biofilm (Davidson, Schrader, Ruan, et al., 2014; Filloux & Vallet, 2003) qui est nettoyée entre chaque purging, mais il qu'il convient de supprimer. La densité du purging va également dans ce sens, mais les très faibles densités testées, ainsi que leur faible variabilité d'un test à l'autre, sont certainement responsables de la non-significativité de l'effet de ce paramètre dans le modèle. Il représente ainsi une potentielle limite des tests effectués.

Il serait intéressant de réaliser de nouvelles analyses sensorielles, lors de prochaines purges réalisées à des densités commerciales, afin d'évaluer l'importance de ce paramètre. Enfin l'effet d'une température plus élevée sur l'efficacité du purging est vérifiée mais sa non-significativité s'explique certainement par l'effet modéré qu'elle peut avoir vis-à-vis des autres paramètres de purging du modèle. Il serait intéressant d'être capable de la réguler chez BIGH afin de limiter la consommation d'eau.

4.2.3 Estimation de la perte de poids en purging : des prévisions en fonction de sa durée bien que la température et le poids des truites l'influencent

4.2.3.1 Les paramètres influençant la perte de poids en purging

Résultats :

Les résultats sont basés sur le jeu de données élargi. Les pertes de poids sont calculées à partir des moyennes des poids initiaux (avant le purging ou le jeune pré-purging s'il a eu lieu) et post-purging des lots testés car il était impossible d'identifier individuellement les truites dont les poids étaient proches. Le jeune correspond au jeune pré-purging et au jeune lors du purging.

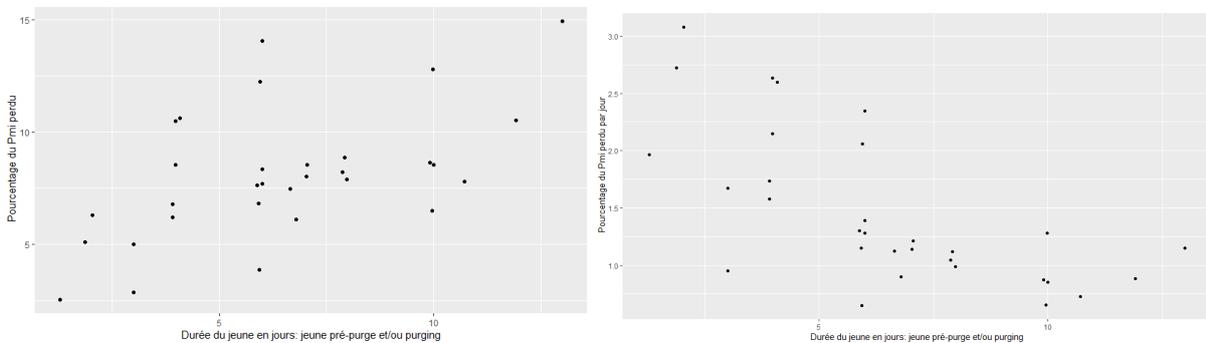


Figure 11 (à gauche) : Evolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par les truites en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie).

Figure 12 (à droite) : Evolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par jour en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie).

La part du poids moyen initial perdue par les truites lors du jeune augmente en fonction du temps mais l'augmentation n'est pas linéaire : elle semble être plus franche au début du jeune, entre 1 et 4 jours, qu'après 5 jours (Figure 11). Cela est confirmé par la représentation du pourcentage du poids moyen initial perdu par jour en fonction de la durée de jeune (Figure 12) : les truites perdent une part de leur poids plus importante lors des premiers jours de jeune. Cette part diminue jusque 7 jours et stagne ensuite jusqu'environ 13 jours. Les pertes de poids semblent cependant très variables pour une même durée de jeune (Figure 11).

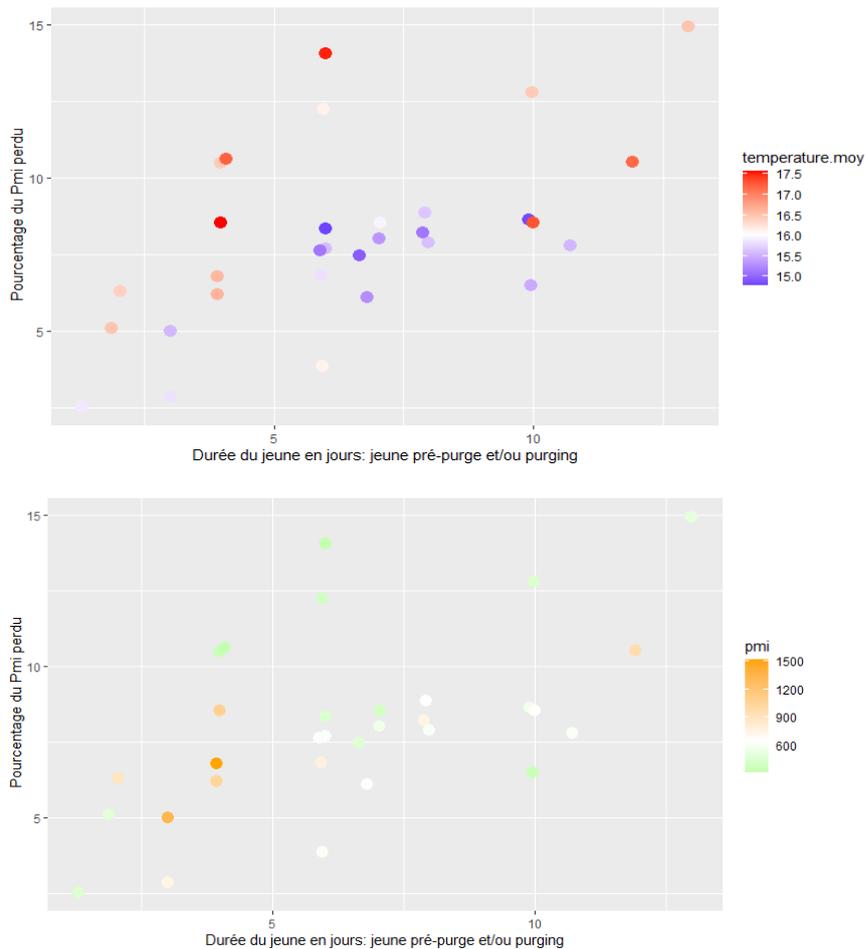


Figure 13-a (en haut) et 13-b (en bas) : Gradients de température moyenne de purging en haut et du poids moyen initial en bas appliqués aux truites dont l'évolution du pourcentage du poids moyen initial perdu par les truites est représenté en fonction du nombre de jour de jeune pendant le purging et/ou jeune pré-purging (pop. élargie). Les températures sont exprimées en °C et les poids en grammes.

La Figure 13-a met en évidence la température moyenne de l'eau de purging pour chaque groupe de truites purgées : les températures les plus chaudes sont rouges, les plus froides bleues et celles qui sont proches de la moyenne des températures sont blanches. Les températures de purging les plus chaudes, comprises entre 16,5°C et 17,57°C, correspondent plutôt aux groupes purgés dont les pourcentages de poids moyens initiaux perdus sont les plus élevés, et les groupes dont les températures de purging sont plus froides, entre 14,78°C et 15,5°C ont souvent un pourcentage de poids moyen initial perdu plus faible qu'eux, pour une durée de jeune identique (Figure 13-a). La Figure 13-b met elle en évidence les poids moyens initiaux de chaque groupe de truites purgés : les poids moyens des groupes de truites testés les plus élevés sont oranges, les plus faibles verts et les poids moyens initiaux moyens sont blancs. On remarque également que les poids moyens ne sont pas répartis de manière aléatoire lors des tests : les plus forts, entre 900g et 1.510kg, correspondent en général à des parts de poids moyen initial perdues plus faibles que les poids moyens les plus faibles, qui sont initialement entre 320g et 600g.

Des températures plus élevées semblent donc faire perdre plus de poids aux truites que des températures plus faibles et les truites dont le poids moyen est le plus élevé avant le jeune semblent avoir perdu une part de leur poids initial moins importante que les truites les plus légères. L'estimation de l'effet de ces deux paramètres, ainsi que de la durée du jeune, sur la part de poids moyen perdue (Tableau 7) confirme les observations graphiques précédentes.

Les trois paramètres ont un effet significatif sur la moyenne des parts de Pmi perdues durant le jeune puisque les p-values des t-tests sont toutes inférieures à 0.05 (Tableau 7). La durée de jeune, qui diminue le poids perdu par les groupes de truites, est le paramètre faisant le plus varier la moyenne dans ce modèle, suivie de la température qui l'augmente aussi, puis du poids moyen initial qui la diminue.

Tableau 7: Estimation de l'importance relative de la température moyenne de purging, de la durée du jeune et du poids moyen initial de chaque groupe de truites purgées sur la part du poids moyen initial perdu lors de la période de jeune (pop. élargie).

```
lm(formula = pourcentage.pmi.perdu ~ duree.jeune + pmi + temperature.moy,
    data = dataregime)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.0169 -1.1061  0.5192  1.3804  3.4571

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -19.447487   7.726403  -2.517  0.018078 *
duree.jeune    0.509586   0.128620   3.962  0.000489 ***
pmi            -0.002999   0.001357  -2.210  0.035775 *
temperature.moy 1.635251   0.478086   3.420  0.002003 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.056 on 27 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5497,    Adjusted R-squared:  0.4997
F-statistic: 10.99 on 3 and 27 DF,  p-value: 6.815e-05
```

Discussion :

La perte de poids des truites testées est plus rapide lors des premiers jours de jeune, et ralentie ensuite. Cela peut-être dû d'une part, et dans un premier temps, à la vidange de leur contenu gastrique lors des premiers jours de jeune (Olsson, 1998) et d'autre part à la cinétique de perte de poids effective des poissons qui, lors des périodes de jeune prolongées, consomment une part accrue de leurs réserves glucidiques et lipidiques voire musculaire, dès les premiers jours de jeune (Leger, 1981).

La perte de poids liée à la vidange gastrique fait sûrement partie de la perte de poids mesurée dans les premiers jours, car la vidange gastrique d'une truite est de l'ordre de 48h après le dernier repas (Olsson et al., 1998). Puisque le dernier repas est distribué aux truites testées au maximum une heure avant la pesée qui précède le transfert vers les bassins de mise à jeun ou de purging, on peut négliger cette durée. La digestibilité, pour un aliment de composition identique, varie d'un individu à l'autre et selon de nombreux facteurs dont la température et la quantité d'aliment ingéré font partie (Hilton et Singer, 1985). Ainsi, des températures plus élevées ont pu améliorer la digestibilité de l'aliment, et puisque les truites de plus petites tailles reçoivent une quantité d'aliment plus importante que les plus grandes par rapport à leur taille, elles ont pu perdre une part plus importante de leur poids initial en éliminant l'aliment digéré (Hilton et Singer, 1985) (Annexe V). De plus, bien qu'il y ai une grande diversité de modes de réponse au jeune chez les poissons, en partie liés à son activité, ses dépenses énergétiques ou encore à son mode de vie, il existe une forte influence de la température de l'eau et des réserves lipidiques de l'animal sur sa perte de poids (Leger, 1981). Le fait que l'impact de la température sur la part de poids initial perdue soit plus important dans le modèle que celui du poids moyen initial est donc probablement en partie dû au fait qu'un poids moyen initial élevé ne traduise pas forcément des réserves lipidiques importantes.

4.2.3.2 Etablissement d'un tableau prévisionnel de la perte de poids à partir de la durée de jeune uniquement

Résultats :

La prévision de la perte de poids ne peut pas être réalisée grâce au modèle précédent car la température du purging n'est pas modulable chez BIGH. De plus, l'effet du poids moyen

initial perdu sur le pourcentage du poids moyen initial perdu n'est pas significatif dans un modèle où il serait le seul paramètre explicatif, en plus de la durée du jeune (p-value du t-test = 0,142 > 0.05). Or, une régression linéaire ne se prête pas aux données de perte de poids en fonction du temps puisque son évolution n'est pas linéaire (Figure 11). C'est pourquoi celle-ci est réalisée sur le logarithme népérien des pourcentages de Pmi perdus en fonction du temps (Tableau 8).

Tableau 8: Estimation des paramètres de la régression linéaire entre le pourcentage du poids moyen initial des truites perdu durant le purging, et éventuellement le jeune pré-purging, en fonction de la durée de ce jeune (pop. élargie).

```
call:
lm(formula = ln.pourcentage.pmi.perdu ~ duree.jeune, data = dataregimeln)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.70578 -0.13383  0.00035  0.14900  0.66164

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.52255     0.14509   10.49 2.19e-11 ***
duree.jeune  0.07663     0.02049    3.74 0.000806 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3371 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3254,    Adjusted R-squared:  0.3021
F-statistic: 13.99 on 1 and 29 DF,  p-value: 0.0008065
```

L'ajustement des données au modèle reste très modéré et son caractère prévisionnel plutôt mauvais (p-value du F-test = 0.0008065 ; R² = 0.3021). La part du Pmi perdue par les truites lors du jeune est tout de même prédite à partir de l'équation suivante, déduite du Tableau 8 :

$$\ln(\%Pmi\ perdu) = 1.523 - 7.663 \cdot 10^{-2} \times (\text{durée purging} + \text{jeune pré.purging})(\text{jours})$$

Tableau 9: Prédiction de la perte de poids des truites en fonction du nombre de jour de mise à jeun (pop. élargie). Les bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr (α=0.05).

Durée du jeune : pré-purge et purge (j)	Part du Pmi perdu (%)	lwr	upr
1	4,949	2,860	7,038
2	5,343	3,279	7,407
3	5,769	3,724	7,813
4	6,228	4,199	8,258
5	6,724	4,704	8,744
6	7,260	5,245	9,275
7	7,838	5,822	9,853
8	8,462	6,441	10,483
9	9,136	7,105	11,167
10	9,864	7,817	11,910
11	10,649	8,582	12,716
12	11,497	9,405	13,590
13	12,413	10,291	14,535

Il traduit effectivement une perte croissante de la part du poids moyen initial des truites avec la durée du jeune, mais la prédiction est de mauvaise qualité, au vu de l'intervalle de prédiction associée aux valeurs de parts de Pmi. En effet, la perte de poids pourra être connue avec une incertitude moyenne de plus ou moins 2.06% en moyenne (Tableau 9).

Discussion :

La simplification de l'explication de la variabilité de la perte de poids par une seule variable ne permet pas d'obtenir un résultat d'une bonne précision, mais permettent simplement d'avoir une idée de la perte de poids occasionnée par le processus de purging. Ce tableau pourra être utilisé tout en sachant que les poissons les plus lourds et les plus gras auront

tendance à perdre une part plus importante de leurs poids moyen initial en purging et que des températures plus importantes leur feront également perdre plus de poids.

4.3 Optimisation de l'utilisation d'aliment pigmenté

4.3.1 Une couleur optimale atteinte après le doublement du poids moyen des truites, avec un aliment contenant 25ppm de pigments

Résultats :

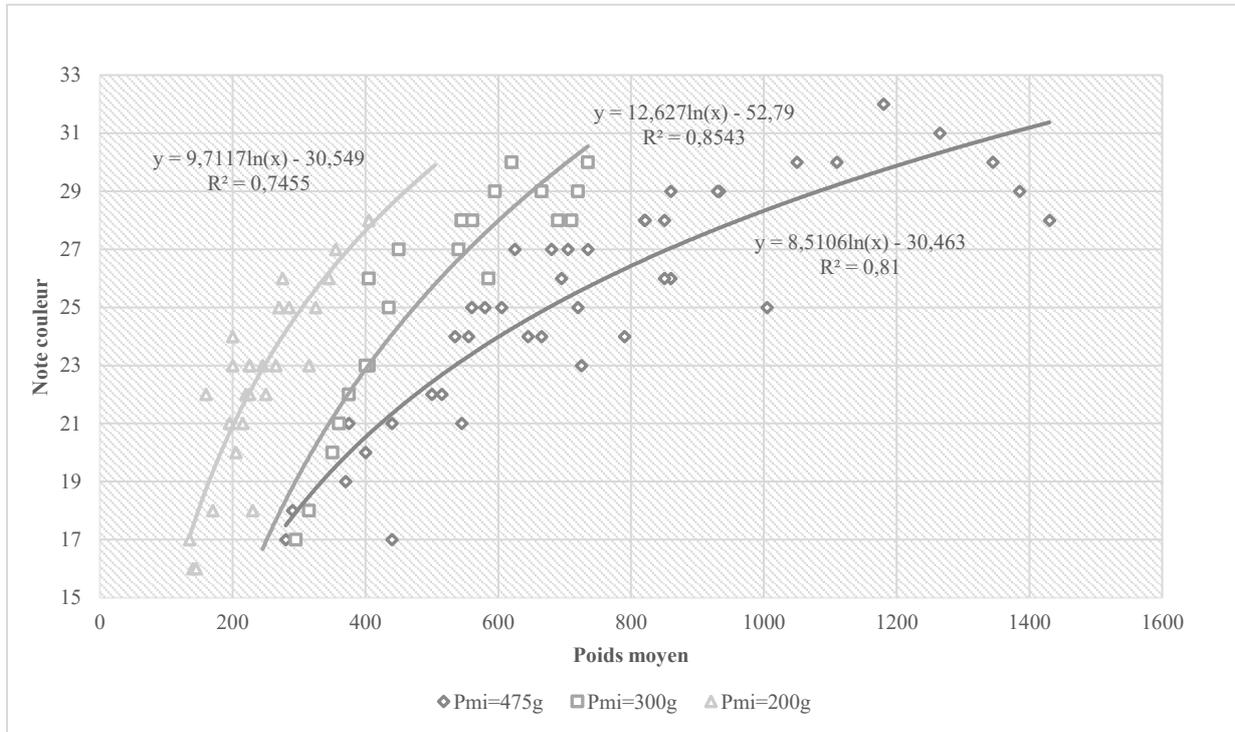


Figure 14 : Evolution de la couleur des truites nourries avec de l'aliment pigmenté à 25ppm, à partir de poids moyens initiaux différents. Les équations des courbes de régressions sont indiquées sur le graphique, à côté d'elles, ainsi que leur R² associés.

Tableau 10: Poids moyens (Pm) auxquels les truites, nourries à 25ppm ou 50ppm, atteignent une couleur finale désirée en fonction du poids moyen au départ de l'alimentation pigmentée. Les facteurs multiplicatifs permettant de passer d'un poids moyen initial à un poids moyen coloré sont indiqué par fm.

Poids moyen au départ de l'alimentation pigmentée	200		300		475		fm moyen à 25ppm	475	
	25		25		25			50	
	Pmc	fm	Pmc	fm	Pmc	fm		Pmc	fm
20	182,17	0,91	318,82	1,06	375,94	0,79	0,92	330,60	0,70
21	201,93	1,01	345,10	1,15	422,81	0,89	1,02	353,64	0,74
22	223,83	1,12	373,54	1,25	475,53	1,00	1,12	378,29	0,80
23	248,11	1,24	404,32	1,35	534,82	1,13	1,24	404,65	0,85
24	275,02	1,38	437,65	1,46	601,50	1,27	1,37	432,86	0,91
25	304,84	1,52	473,72	1,58	676,50	1,42	1,51	463,02	0,97
26	337,91	1,69	512,76	1,71	760,85	1,60	1,67	495,29	1,04
27	374,56	1,87	555,02	1,85	855,71	1,80	1,84	529,81	1,12
28	415,18	2,08	600,76	2,00	962,40	2,03	2,03	566,73	1,19
29	460,21	2,30	650,27	2,17	1082,40	2,28	2,25	606,23	1,28
30	510,12	2,55	703,86	2,35	1217,35	2,56	2,49	648,48	1,37

La Figure 14 montre l'évolution de la coloration des truites ayant reçu de l'aliment contenant 25ppm de pigment à partir de 3 poids moyens différents, en fonction de leur poids. On remarque dans un premier temps que leur coloration croît avec leur poids, dans les trois cas, mais que cette croissance semble avoir une forme plutôt parabolique dans la phase croissante, pour les trois poids moyens initiaux (Figure 14). Les couleurs évoluent plus pour une même prise de poids au début de l'alimentation colorée qu'à la fin des tests, dans les trois cas. La prise de couleur du lot de truites ayant reçu une alimentation pigmentée à partir de 475g de poids moyen stagne, après un ralentissement, à une couleur de 30 à 31 à partir de 1500g et au-delà.

Le fournisseur d'aliment indique qu'en respectant les tables de taux de rationnement journaliers préconisées, il est nécessaire que les poids moyens de début d'alimentation à 25ppm soient environ doublés pour que la couleur de celles-ci soient « idéales ». Le Tableau 10 associe à chaque poids moyen de début d'alimentation colorée le facteur multiplicatif permettant d'atteindre chaque couleur. Quelque-soit le poids moyen initial testé, les truites ont toutes doublé leur poids avant d'atteindre une couleur de 28. Ces trois lots l'ont atteinte en prenant environ et respectivement 215, 301g et 487g (Tableau 10). Ainsi des truites nourries plus tôt avec cet aliment pigmenté semblent prendre moins de poids pour atteindre une même couleur que des truites nourries plus tard. On remarque cependant que la pente de la courbe d'évolution de la coloration des truites à partir d'un poids moyen initial de 200g est plus faible que celle de 300g (Figure 14).

Discussion :

L'allure parabolique de l'évolution de la coloration de la chair des truites en fonction de leur poids s'explique par la cinétique de fixation des pigments dans la chair. La quantité de pigments fixée est d'autant plus élevée que la quantité de pigment ingérée est importante, jusqu'à ce que l'ingestion de pigments supplémentaires n'ait plus d'effet, du fait de la saturation du muscle en pigment (Choubert et al., 1982). Un début de saturation semble avoir lieu pour les truites nourries à partir de 475g avec 25ppm mais des mesures complémentaires seraient nécessaires pour évaluer la couleur de saturation des truites avec cet aliment. Les régressions choisies sont ici logarithmiques et non polynomiales car elles s'ajustent mieux à l'évolution des couleurs qui n'ont pas encore stagné.

Les truites nourries plus tôt avec cet aliment pigmenté prennent moins de poids pour atteindre une couleur souhaitée que les truites nourries plus tard. Cela est certainement dû à la croissance exponentielle des truites en fonction du temps (Rasmussen et From, 1991) et à l'alimentation des truites testées qui respecte la table de rationnements du fournisseur d'aliments : elle préconise un taux de rationnement décroissant avec le poids moyen (Annexe V). Ainsi, plus les truites ont un poids moyen élevé, plus la quantité de pigments ingérée par rapport à leur poids sera faible, pour des taux de croissances plus élevés. Une même augmentation de coloration sera donc permise par une prise de poids plus importante à des poids moyens plus élevés qu'à des poids moyens plus faibles.

Une couleur minimale d'environ 28 est établie comme couleur objectif par l'entreprise afin d'une part de s'adapter adaptant au marché existant, et d'autre part éviter une coloration trop vive, qui coûterait plus cher et ne plairait pas non plus forcément au consommateur. Les truites vendues par BIGH sont actuellement nourries dès leur arrivée en quarantaine avec de l'aliment pigmentée à 25ppm ; les résultats permettront d'ajuster le début d'alimentation colorée à la moitié du poids moyen auquel on désire atteindre une couleur minimale de 28.

Ces résultats sont à relativiser par l'incertitude liée à la notion de poids moyen de début de test. En effet, des truites dont le poids était inférieur au poids moyen de début de test ont pu

être testées après plusieurs semaines d'alimentation pigmentée et donc être considérées à tort, par leur faible poids, comme des individus à la couleur témoin. Cela est le cas pour les truites dont le poids moyen initial est de 200g : elles ont souffert d'une flavobactériose et leur rationnement a de ce fait été réduit, ainsi que leur pigmentation et leur croissance. Les performances de coloration ont également une forte variabilité individuelle, liée notamment à l'accès à la nourriture et aux performances individuelles (Storebakken et No, 1992). Il est donc préférable de prévoir une durée d'alimentation sous pigment plus longue et de trier régulièrement les truites.

4.3.2 Comparaison de l'évolution de la coloration pour une concentration simple ou double en pigments et calculs de coûts de production

Résultats :

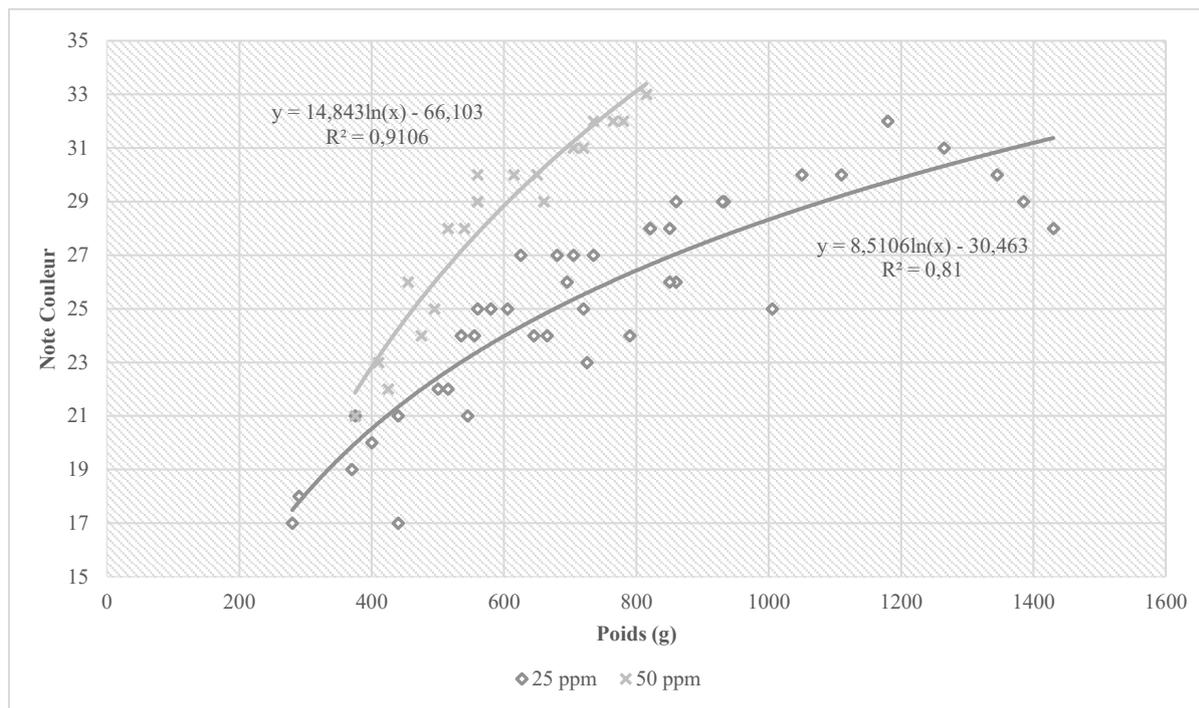


Figure 15 : Evolution de la couleur des truites nourries avec de l'aliment pigmenté à 25ppm ou 50ppm, à partir du même poids moyen initial de 475g. Les équations des courbes de régressions sont indiquées sur le graphique, à côté d'elles, ainsi que leur R² associé.

L'utilisation d'un aliment dont la concentration est de 50ppm, pour les mêmes taux de rationnement que précédemment, et à partir d'un poids moyen de 475g a eu pour effet d'accélérer la coloration par rapport à l'utilisation d'un aliment à 25ppm dans les mêmes conditions (Figure 15). Le poids moyen initial est multiplié par un facteur de 0.19 pour 50ppm contre 2 pour 25ppm pour atteindre une coloration ayant la note de 28 (Tableau 10). On extrapole les résultats des tests précédents en disant qu'il est nécessaire de multiplier au moins par 1.19 le poids moyen de début d'alimentation pigmentée à 50ppm pour obtenir une couleur optimale. De cette manière, il est possible d'estimer l'économie éventuelle occasionnée par l'utilisation plus tardive d'aliments fortement concentrés en pigments (Tableau 11).

Tableau 11 : Estimation des économies réalisées (€/poisson et mg de pigment/ poisson) en distribuant un aliment doublement concentré en pigments (50ppm) plutôt qu'un aliment simplement concentré (25ppm). L'estimation est réalisée pour différents poids moyens finaux dont la coloration optimale est de 28. Les poids moyens initiaux propres à chaque concentration sont calculés à partir des fn précédemment déduits : 2 et 1.19. Source de l'équation de croissance théorique utilisée (Rasmussen et From, 1991).

Concentration en pigment de l'aliment	25ppm				50ppm				Économie réalisée (€/poisson) avec 50ppm	Économie réalisée (mg pigment/poisson) avec 50ppm
	Pmf (coloré à 28)	Pmi (si 25ppm)	Coût aliment sur la période (€/poisson)	Qtté pigment distribué sur la période (mg/poisson)	Temps sous pigment 25ppm (jours)	Pmi (si 50ppm)	Coût aliment sur la période (€/poisson)	Qtté pigment distribué sur la période (mg/poisson)		
400	200	0,977	14,045	192	336,134	0,965	9,577	52	0,012063	4,46787
450	225	1,143	16,444	200	378,151	1,128	7,250	54	0,014197	9,19380
500	250	1,315	18,948	207	420,168	1,299	6,559	57	0,015740	12,38905
550	275	1,492	21,520	214	462,185	1,474	7,344	58	0,018443	14,17518
600	300	1,671	24,117	220	504,202	1,651	8,275	60	0,020429	15,84170
650	325	1,860	26,860	226	546,218	1,838	9,265	62	0,022490	17,59489
700	350	2,047	29,566	231	588,235	2,022	10,137	63	0,025090	19,42928
750	375	2,247	32,470	237	630,252	2,219	11,037	64	0,028066	21,43236
800	400	2,461	35,581	243	672,269	2,432	12,333	67	0,029470	23,24774
850	425	2,655	38,374	247	714,286	2,622	13,093	67	0,032909	25,28127
900	450	2,882	41,665	253	756,303	2,848	14,487	70	0,034265	27,17780
950	475	3,091	44,683	257	798,319	3,054	15,505	71	0,036917	29,17809
1000	500	3,311	47,860	262	840,336	3,270	16,325	71	0,041070	31,53575

Quel que soit le poids moyen final coloré à 28 souhaité, l'utilisation d'aliments complétés avec 50ppm permet de réaliser une économie de pigments et financière, qui augmente avec le poids moyen de vente. Un facteur temporel a également été calculé à partir de la même courbe de croissance théorique (Rasmussen et From, 1991) : un poids moyen initial plus élevé augmente la durée de coloration à 25 et 50ppm, et la durée sous aliment pigmentée est largement inférieure pour un aliment concentré à 50ppm. Il faut par exemple 67 jours sous aliment pigmenté à 50ppm pour obtenir une truite de 800g à la coloration 28 contre 243 jours sous aliment pigmenté à 25ppm. On remarque également que la croissance du temps de coloration se stabilise à mesure que les poids moyens initiaux augmentent.

Discussion :

Une concentration plus importante en pigment dans l'aliment a pour effet d'augmenter la quantité de pigments ingérée pendant une même période et permet donc une pigmentation plus rapide des truites (Choubert et Storebakken, 1989). L'utilisation d'une concentration plus importante en astaxanthine a permis ici d'obtenir une couleur identique pour une quantité de pigments distribuée plus faible. Cette stratégie occasionne des économies en pigments et financières, au vu des prix appliqués aux différentes concentrations en pigments (Annexe XI). Cependant, et pour les mêmes raisons que précédemment, ce résultat est à relativiser par l'importance du nombre de mesures réalisées sur des truites dont le poids moyen est inférieur au poids moyen initial, et ce plusieurs semaines après le début du test. Cette remarque est d'autant plus importante que les temps de coloration sont plus courts et que la quantité de pigment effectivement reçue par chaque individu peut fortement varier à chaque nourrissage.

A titre d'exemple, pour une production de 25t de truites vendues à 800g, cette stratégie permettrait d'économiser 726,5g de pigment soit 921€ soit moins d'1% du coût actuel de l'alimentation par an. Cette stratégie implique aussi une connaissance plus précise du poids auquel les truites doivent être vendues, mais également de forts risques d'hétérogénéité de couleurs liés à l'inégalité de l'accès à l'aliment. C'est pourquoi il est en général plutôt conseillé d'utiliser cet aliment en finition sur des truites ayant déjà reçu une alimentation

enrichie en pigments. Enfin, ces résultats sont soumis, au même titre que les précédents, à l'incertitude de la méthode de mesure de la couleur de la chair utilisée, qui est soumise à la subjectivité de l'œil humain.

4.4 Un taux de gras limité dans la chair des truites pour des poids moyen d'abattages modérés : conséquence sur la fumaison

4.4.1 Le taux de gras est fortement dépendant du poids et de la longueur des truites, quel que soit les conditions de purging subies

Résultats :

Le taux de gras moyen des truites purgées de la population élargie est de 8.75 % avec un maximum de 10.45% et un minimum de 6.78%.

Dans un modèle de régression multiple comprenant les facteurs de purging ayant pu faire varier ce taux de gras (température moyenne et durée de jeune), ainsi que les facteurs morphologiques externes traduisant la croissance en masse et en longueur des truites testées : le poids (g), la taille(cm) et le facteur de condition K (g/cm^3), K est le seul paramètre expliquant une part significative de la variabilité du taux de gras (p-value du t-test : $2.99 \cdot 10^{-5} < 0.005$). Le meilleur modèle prédictif du taux de gras, estimé par la fonction *RegBest*, et à partir de ces 5 paramètres, est le modèle comprenant la longueur des truites et leur facteur de condition (p-value du F-test : $6.372 \cdot 10^{-18} < 0.005$, $R^2=0.601$). La p-value du t-test associé à l'effet de la longueur sur le taux de gras est largement inférieure à celle de K mais elles sont toutes les deux inférieures à 0.005 et leurs effets sont positifs sur la moyenne estimée du taux de gras. Ainsi les truites dont le taux de gras est le plus élevé dans le filet sont celles dont la longueur est la plus grande et celles dont le poids est le plus élevé par rapport à cette longueur, c'est-à-dire les plus âgées et/ou les plus corpulentes. L'effet des paramètres de purging ont eu peu d'impact sur le taux de gras vis-à-vis de ces facteurs de condition de croissance des truites.

Discussion :

Les conditions de purging ont un effet négligeable sur le taux de gras dans le muscle des truites testées, qui dépend principalement du stade de croissance des truites. Les taux de gras dans la chair les plus élevés sont attribués aux truites qui sont les plus grandes et les plus lourdes par rapport à leur taille. Cela s'explique par l'augmentation de la teneur lipides musculaire des salmonidés et des truites qui augmente avec leur âge et leur taille (Fontagné-Dicharry et Médale, 2010; James Henderson et Tocher, 1987). Les truites portions (env. 250g), ou à filet (env. 500g), développent préférentiellement leurs tissus adipeux sous cutané dorsaux et abdominaux. Ces derniers ont été ôtés lors des tests et le seront également lors du parage des truites avant leur vente. Le développement des tissus adipeux intermusculaires est lui plus tardif et a lieu au-delà d'1kg concerne donc plutôt les grandes truites (Fauconneau et al., 1993).

BIGH souhaite produire des filets de truite fumée à partir de truites dont le poids moyen est compris entre 600g et 1kg. Or une trop forte teneur en lipides peut être un facteur technologique limitant lors de la fumaison : les lipides font obstacle à la migration de l'eau et à la pénétration du sel lors du salage et du séchage. De fortes teneurs en lipides favorisent également le rancissement de la truite fumée. Il est donc préférable de limiter à 10% le taux de graisse dans les truites de taille commerciale afin d'éviter d'altérer leur aptitude au fumage (Vallet, s. d.). Cela ne semble être un problème que pour les truites les plus grasses, c'est-à-dire approchant les 1kg.

4.4.2 Des taux de gras adaptés à la fumaison pour des poids moyen d'abattage limités à 1kg

Résultats :

Tableau 12 : Longueurs limites en dessous desquelles le taux de gras, prédit en fonction de la longueur des truites (cm) et de leur facteur de condition K (g/cm^3), dépasse 10%, pour des poids de vente potentiels. Les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de prédiction sont indiquées par lwr et upr ($\alpha=0.05$).

Taux de gras prédit	lwr	upr	Poids (g)	Longueur (cm) limites
10.15366	8.903694	11.40363	600	30
10.12315	8.94116	11.30515	700	32
10.06260	8.942032	11.18318	800	34
10.26363	9.132108	11.39516	900	35
10.15425	9.075759	11.23274	1000	37

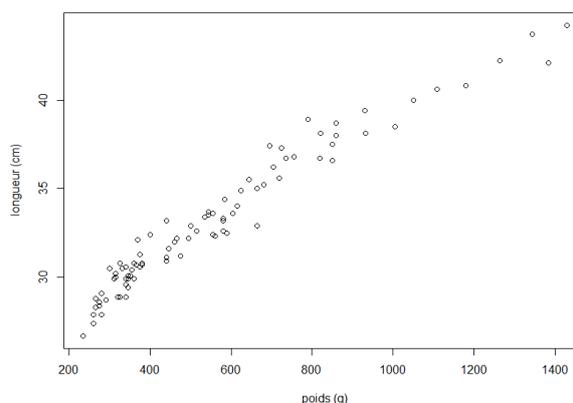


Figure 16 : Evolution de la longueur (cm) des truites testées (population élargie) en fonction de leur poids (g).

Le modèle dont les paramètres sont précédemment évalués a permis de calculer, pour les poids de vente, les longueurs limites en dessous desquelles les truites auraient un taux de gras dans la chair supérieure à 10% (Tableau 12). Les longueurs limites sont toujours plus grandes que celles observées en réalité pour les poids à l'abattage de 600 à 900g (Figure 16). Pour les truites d'1kg, il semble possible que la longueur limite de 37cm soit atteinte en réalité puisque certaines des truites testées à ce poids avaient une longueur proche de 37cm.

Discussion :

Ainsi, la teneur en gras ne représente pas une limite au fumage des truites chez BIGH puisque leur poids moyen à l'abattage correspond à celui de truites ne développant pas encore énormément de lipides musculaires. On peut donc considérer, pour des poids moyens inférieurs à 1kg, que l'aliment et la table des rations utilisés sont adaptés à l'objectif de teneur en gras pour la transformation. Un examen morphologique de la corpulence des truites peut cependant être réalisée pour les truites approchant 1kg et pour qui la longueur ne doit pas inférer 37cm.

La teneur en lipides musculaire pourra éventuellement être diminuée par une période de jeune plus longue, ou une période d'alimentation à faible taux de lipides avant l'abattage (Fontagné-Dicharry et Médale, 2010). Cependant, l'aliment et sa teneur en lipides ne sont pas les seuls facteurs influençant le stockage des lipides par les truites en général. L'origine génétique de poissons détermine également leur morphologie, leur composition corporelle et la répartition de leurs tissus, et donc leur teneur en lipides musculaires (Lefèvre & Bugeon, 2008; Quillet et al., 2005). Enfin, la mesure du taux de gras reste basée sur des observations empiriques et des hypothèses indépendantes de l'âge des truites. De plus, bien que le parage et le pelage des filets ait été réalisé par la même personne, des proportions de muscles bruns et de lipides abdominaux et dorsaux plus ou moins grandes par rapport à celles existantes ont pu être respectivement laissées ou extraites des filets et impacter la moyenne de la teneur moyenne en gras du muscle.

Conclusion :

L'élevage en RAS a l'avantage de permettre le contrôle de nombreux paramètres de production, qui ont été étudiés au sein de la pisciculture, afin de déterminer leur influence sur certaines facettes de la qualité de la truite arc-en-ciel d'élevage (*Oncorhynchus mykiss*) : sa flaveur et en particulier son défaut d'off-flavor, sa couleur de chair et son taux de gras.

Le questionnaire permettant d'adapter les objectifs de qualité aux attentes du marché bruxellois, montre que le consommateur cible est soucieux de l'impact de son mode de consommation sur l'environnement mais également de l'origine de la truite qu'il consomme. Cela encourage BIGH à mettre en avant la proximité et le mode de production lors de la vente. Même s'il consomme peu de truite, le consommateur la préfère fumée et souhaite l'acheter en grande surface. Le prix de vente devra être proche de celui du marché, mais les enquêtés sont prêts à payer en moyenne 4.77€/kg de plus, pour de la truite saumonée fumée élevée avec de l'aliment bio, dans un système durable et local en aquaponie à Bruxelles. Les résultats sont à nuancer puisque 60% des personnes questionnées connaissaient BIGH avant de remplir le questionnaire. Ce dernier précise également les objectifs de production concernant l'off-flavor, qui doit impérativement être éliminé du produit fini, car 75% des enquêtés ne rachèteraient pas la truite s'ils en faisaient l'expérience. Le taux de gras doit être limité pour le consommateur qui préfère une truite saumonée fumée faiblement grasse en bouche. Le questionnaire ne permet pas de déterminer une couleur de chair optimale mais celle-ci est fixée par les exigences des potentiels distributeurs à un minimum de 28 sur le *SalmoFan*TM de DSM.

L'analyse de l'effet des paramètres modulables du purging sur l'épuration de l'off-flavor met en évidence l'impact prédominant de la durée de purging, puis du pourcentage de renouvellement en eau et enfin d'un jeun précédent le purging, sur le goût et l'odeur de vase des truites. Un guide de purging est établi en fonction de ces paramètres et permet ainsi de limiter l'impact de ce processus coûteux en eau et en énergie sur l'élevage. L'étude de l'effet d'autres paramètres d'élevage et de purging sur l'efficacité d'épuration de l'off-flavor met en évidence l'importance primordiale du nettoyage régulier de toutes les surfaces en contact avec l'eau d'élevage du RAS, afin d'éviter le développement de biofilms et donc de bactéries responsables de l'off-flavor. Le purging est également à l'origine d'une perte de poids des truites qui sont mises à jeun lors de ce procédé. La part du poids moyen initial perdu dépend de la température de l'eau, ainsi que du poids moyen initial lui-même, et est estimée en fonction du temps de purging, afin de prévenir les pertes qui lui sont associées. Les modèles établis souffrent d'incertitudes prédictives relativement élevées, liées aux conditions de tests parfois peu contrôlables ou à la méconnaissance de certaines variables individuelles pouvant également entrer en jeu dans l'efficacité d'épuration.

L'étude de la coloration de la chair de truite par un aliment plus ou moins pigmenté (25 ou 50ppm d'astaxanthine), distribué à partir de poids moyens plus ou moins élevés, a permis d'ajuster d'une part le début d'alimentation colorée à la moitié du poids moyen auquel on désire atteindre une couleur optimale, et d'autre part d'évaluer l'économie en pigments et financière pour différents poids moyens de vente colorés, par de l'aliment à 50ppm. Les estimations réalisées sont cependant basées sur le calcul de facteurs multiplicatifs dont il conviendrait de vérifier le bien-fondé grâce à de plus nombreuses répétitions de tests. L'étude a aussi mis en évidence une forte variabilité individuelle de la coloration, liée à l'inégalité de l'accès à l'aliment et la variabilité des taux de croissances observés.

Enfin le taux de gras a été mesuré chez tous les individus purgés, et il est, pour des poids de vente entre 600g et 1kg, inférieur à 10%. BIGH peut ainsi considérer que la table des rations

utilisée est adaptée à des objectifs de teneur en gras n'entravant pas son fumage. Les poissons atteignant 1kg devront cependant faire l'objet d'examens morphologiques, puisqu'elles développent plus de lipides musculaires à ce stade. L'alimentation n'est cependant pas le seul facteur influençant la teneur en gras du muscle des truites et les mesures de taux de gras réalisées sont soumises à une forte incertitude.

Cette étude a permis d'aider BIGH à évaluer l'importance de certains paramètres de production dans l'optimisation de l'épuration de l'off-flavor, de la coloration de la chair et la de teneur en gras de ses truites. Il conviendra à l'entreprise de réaliser des tests auprès de ses clients pour valider les procédés ainsi optimisés. De nombreux facteurs sont cependant difficilement contrôlables et les études réalisées sont souvent limitées par leurs incertitudes. Ceci met en évidence la difficulté de prédiction de la qualité du produit fini ; s'agissant d'êtres vivants ayant des réactions variables aux mêmes paramètres d'élevage.

Bibliographie :

- Ahongo, Y. D., Kerneis, T., Goardon, L., Labbé, L., Bugeon, J., Rescan, P.-Y., & Lefèvre, F. (2019). Restauration de la qualité de la chair chez la truite arc-en-ciel femelle (*Oncorhynchus mykiss*) après la production d'oeufs. Université Bretagne Loire (COMUE) (UBL).
- Aksnes, A., Gjerde, B., & Ola Roald, S. (1986). Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed atlantic salmon, *Salmo salar*. *Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam*, 53 (1986), 7-20.
- Anderson, S. (2000). Salmon Color and the Consumer. *IIFET 2000 Proceedings*, Cambridge, Ontario N1R 5X9 Canada.
- Azaria, S., & van Rijn, J. (2018). Off-flavor compounds in recirculating aquaculture systems (RAS) : Production and removal processes. *Aquacultural Engineering*, 83, 57-64.
- Bacher, K. (2015). Perceptions and misconceptions of aquaculture : A global overview. *Globefish Research Programme*, 120, Rome, FAO 2015, 35.
- Bernard, J. (2013). Measuring the Dry Matter Content of Feeds. *UGA Extension Departement of Animal and Dairy Science, Special Bulletin* 58, 2.
- Bugeon, J. (2021, février 26). [Communication personnelle].
- Bugeon, J., Lefevre, F., Cardinal, M., Uyanik, A., Davenel, A., & Haffray, P. (2010). Flesh quality in large rainbow trout with high or low fillet yield : fillet yield and flesh quality in large rainbow trout. *Journal of Muscle Foods*, 21(4), 702-721.
- Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Han, Z., & Zeng, X.-A. (2014). Texture and Structure Measurements and Analyses for Evaluation of Fish and Fillet Freshness Quality : A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(1), 52-61.
- Choubert, G. (1985). Effects of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.). *Aquaculture*, 46(4), 293-298.
- Choubert, G. (1992). La pigmentation des Salmonidés : Dynamique et facteurs de variations. *INRA Productions Animales*, 5(4), 235-246.
- Choubert, G., & Blanc, J.-M. (1993). Muscle pigmentation changes during and after spawning in male and female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed dietary carotenoids. *Aquatic Living Resources*, 6(2), 163-168.
- Choubert, G., Luquet, P., Cescosse, R., Hontang, Y., & Lannebere, R. (1982). Fixation et rétention musculaire de la canthaxanthine par la truite arc-en-ciel. *Annales de zootechnie*, 31(1), 1-10.
- Choubert, G., & Storebakken, T. (1989). Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoid concentrations. *Aquaculture*, 81(1), 69-77.
- Davidson, J., Schrader, K., Good, C., & Summerfelt, S. (2014). Optimizing depuration of salmon in RAS. *Global Aquaculture Advocate, Leadership&Innovation*, 8.
- Davidson, J., Schrader, K., Ruan, E., Swift, B., Aalhus, J., Juárez, M., Wolters, W., Burr, G., Good, C., & Summerfelt, S. (2014). Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 61(2014), 27-34.
- Davidson, J., & Summerfelt, S. (2004). Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 245-271.
- Denis, B. (1992). Les tendances du marché français de la salmoniculture. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France*, 78(2), 12.
- Direction générale des affaires maritimes et de la pêche. (2012). La politique commune de la pêche en chiffres : données statistiques de base : Édition 2012. *Comission européenne*.
- Direction générale des affaires maritimes et de la pêche. (2020). Le marché européen du poisson édition 2020. *Comission européenne*.
- Durand, H. (1971). Dosage rapide des matières grasses du poisson. *Science et Pêche, Science et Pêche, Bulletin Institut Pêches maritimes* (209), 4.
- Engle, C. R., Pounds, G. L., & Ploeg, M. van der. (1995). The Cost of Off-Flavor. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26(3), 297-306.
- Fauconneau, B., Chmaitilly, J., André, S., Cardinal, M., Cornet, J., Vallet, J. L., Dumont, J. P., & Laroche, M. (1993). Caractéristiques de la chair de la truite arc en ciel : 1- composition

- chimique et cellularité du muscle et des tissus adipeux. *Sciences des Aliments, Lavoisier Abonnements*, 13 (2).
- Filloux, A., & Vallet, I. (2003). Biofilm : Mise en place et organisation d'une communauté bactérienne. *Médecine/sciences*, 19(1), 77-83.
- Fontagné-Dicharry, S., & Médale, F. (2010). Les lipides des poissons d'aquaculture et leurs facteurs de variation. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(4), 209-213.
- Forsberg, O. I., & Guttormsen, A. G. (2006). Modeling optimal dietary pigmentation strategies in farmed Atlantic salmon : Application of mixed-integer non-linear mathematical programming techniques. *Aquaculture*, 261(1), 118-124.
- Foucard, P., & Tocqueville, A. (2019). *Aquaponie : Associer aquaculture et production végétale*. Quae.
- Fournis, M., Mesnildrey, L., Lesueur, M., et Gouin, S. (2009). *Etude des attentes des consommateurs de produits de la mer frais et de leurs comportements selon les circuits de distribution*. N°1 Focus Group (p. 29). FranceAgriMer.
- From, J., & Hørlyck, V. (2011). Sites of Uptake of Geosmin, a Cause of Earthy-Flavor, in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1224-1226.
- Fulton, T. W. (1911). *The sovereignty of the sea : An historical account of the claims of England to the dominion of the British seas, and of the evolution of the territorial waters : with special reference to the rights of the fishing and the naval salute*. Edinburgh : W. Blackwood.
- Grimm, C. C., Lloyd, S. W., Batista, R., & Zimba, P. V. (2000). Using Microwave Distillation-Solid-Phase Microextraction—Gas Chromatography—Mass Spectrometry for Analyzing Fish Tissue. *Journal of Chromatographic Science*, 38(7), 289-296.
- Guttman, L., & van Rijn, J. (2008). Identification of conditions underlying production of geosmin and 2-methylisoborneol in a recirculating system. *Aquaculture*, 279(1-4), 85-91.
- Hathurusingha, P. I., & Davey, K. R. (2014). A predictive model for taste taint accumulation in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) farmed-fish – demonstrated with geosmin (GSM) and 2-methylisoborneol (MIB). *Ecological Modelling*, 291(2014), 242-249.
- Hilton, J. W., & Singer, S. J. (1985). Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel. *Gouvernement du Canada Pêches et Océans*, 17.
- Houle, S. (2008). *Le développement et le contrôle du mauvais goût chez deux espèces de salmonidés élevées dans un système en recirculation : L'omble chevalier, Salvenilus alpinus et la truite arc-en-ciel, Onchornychus mykiss*.
- Howgate, P. (2004). Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol : A review of sensory aspects and of uptake/depuration. *Aquaculture*, 234, 155-181.
- Iredale, D., & York, R. (2011). Purging a Muddy–Earthy Flavor Taint from Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) by Transferring to Artificial and Natural Holding Environments. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33, 160-166.
- James Henderson, R., & Tocher, D. R. (1987). The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in Lipid Research*, 26(4), 281-347.
- Johnsen, P. B., & Lloyd, S. W. (1992). Influence of Fat Content on Uptake and Depuration of the Off-flavor 2-Methylisoborneol by Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(11), 2406-2411.
- Johnsen, P. B., Lloyd, S. W., Vinyard, B. T., & Dionigi, C. P. (1996). Effects of Temperature on the Uptake and Depuration of 2-Methylisoborneol (MIB) in Channel Catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(1), 15-20.
- Katikou, P., Hughes, S., & Robb, D. (2001). Lipid distribution within Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 202, 89-99.
- Knockaert, C. (1990). *Le fumage du poisson* (Editions Ifremer).
- Lefèvre, F., & Bugeon, J. (2008). Déterminisme biologique de la qualité des poissons. *12e Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes*, 12, 9.
- Lefèvre, F., & Bugeon, J. (2015). Quelles exigences de qualités pour les poissons d'élevage et issus de la pêche ? *INRA Productions Animales*, 28(2), 119-124.
- Leger, C. (1981). Effet d'un jeune prolongé sur la composition en lipides et en acides gras de la truite arc-en-ciel, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 25(1981), 195-206.

- Lindholm-Lehto, P. C., Kiuru, T., & Hannelin, P. (2020). Control of off-flavor compounds in a full-scale recirculating aquaculture system rearing rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Applied Aquaculture*, 1-20.
- Lindholm-Lehto, P. C., & Vielma, J. (2019). Controlling of geosmin and 2-methylisoborneol induced off-flavours in recirculating aquaculture system farmed fish—A review. *Aquaculture Research*, 50(1), 9-28.
- OCDE. (2019). *Profil statistique par pays BELGIQUE Tableaux clés de l'OCDE*.
- Olsson, C., Aldman, G., Larsson, A., & Holmgren, S. (1998). Effects of CCK on gastric emptying in the rainbow trout. *The Journal of Experimental Biology*, 202(1999), 161-170.
- Persson, P.-E. (1984). Uptake and release of environmentally occurring odorous compounds by fish. A review. *Water Research*, 18(10), 1263-1271.
- Pilote, A. (2013). *Impact de la moulée sur la performance et l'apparition de mauvais goût chez la truite arc-en-ciel (Oncorhynchus mykiss) élevée en système d'aquaculture en recirculation [Mémoire]*. Université de Laval.
- Quillet, E., Le Guillou, S., Aubin, J., & Fauconneau, B. (2005). Two-way selection for muscle lipid content in pan-size rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 245, 49-61.
- Rasmussen, G., & From, J. (1991). Improved estimates of a growth model and body composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792 as function of feeding level temperature and body size. *Dana*, 9, 15-30.
- Regost, C. (2001). *Effets des lipides sur la qualité nutritionnelle, physique et organoleptique de la chair de la truite Fario (Salmo trutta) et du turbot (Psetta maxima)*. Université de Rennes 1.
- Robertson, R. F., Hammond, A., Jauncey, K., Beveridge, M. C. M., & Lawton, L. A. (2006). An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy-musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 259(1-4), 153-163.
- Robertson, R. F., Jauncey, K., Beveridge, M. C. M., & Lawton, L. A. (2005). Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 245(1-4), 89-99.
- Robin, J., Cravedi, J.-P., Hillenweck, A., Deshayes, C., & Vallod, D. (2006). Off flavor characterization and origin in French trout farming. *Aquaculture*, 260, 128-138.
- Salifou, F. A., Dahouda, M., Chikou, A., Farougou, S., & Karim, Y. A. (2018). Qualité de la Chair des Poissons : Facteurs de Variations et Impacts des Procédés de Transformation et de Conservation. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 10(2), 27.
- Sigurgisladottir, S., ØTorrissen, O., Lie, Ø., Thomassen, M., & Hafsteinsson, H. (1997). Salmon quality : Methods to determine the quality parameters. *Reviews in Fisheries Science*, 5(3), 223-252.
- Smith, J. L., Boyer, G. L., & Zimba, P. V. (2008). A review of cyanobacterial odorous and bioactive metabolites : Impacts and management alternatives in aquaculture. *Aquaculture*, 280(1), 5-20.
- Storebakken, T., & No, H. K. (1992). Pigmentation of rainbow trout. *Aquaculture*, 100(1-3), 209-229.
- Sylvia, G., Morrissey, M. T., Graham, T., & Garcia, S. (1996). Changing Trends in Seafood Markets. *Journal of Food Products Marketing*, 3(2), 49-63.
- Torrissen, O. J. (1995). Strategies for salmonid pigmentation. *Journal of Applied Ichthyology*, 11(3-4), 276-281.
- Tucker, C. (2000). Off-Flavor Problems in Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science - REV FISH SCI*, 8, 45-88.
- UBIFRANCE, & FranceAgriMer. (2009). *Le marché du saumon et de la truite fumés dans l'Union Européenne : Évolutions et tendances depuis 2003*.
- Vallet, J. L. (s. d.). *Etude comparative de la qualité de la truite fumée et du saumon fumé*. 61.
- Van der Ploeg, M. (1991). Testing Flavor Quality of Preharvest Channel Catfish. *Southern Regional Aquaculture Center*, 431, 8.
- Verbeke W. *, V. I. (2007). Segmentation du marché du poisson selon l'évaluation de la qualité du produit par le consommateur. *Food Quality and Preference*, 18(4), 651-661. Bibliomer. <http://www.ifremer.fr/consult.php?ID=>
- Verbeke, W., Sioen, I., Pieniak, Z., Van Camp, J., & De Henauw, S. (2005). Consumer perception versus scientific evidence about health benefits and safety risks from fish consumption. *Public Health Nutrition*, 8(4), 422-429. <https://doi.org/10.1079/PHN2004697>

Yeşilayer, N. (2020). Comparison of Flesh Colour Assessment Methods for Wild Brown Trout (*Salmo trutta macrostigma*), Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Pakistan Journal of Zoology*, 52(3).
<https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190520140524>

Sitographie :

- AFNOR. (2000). *Norme Française V45-100. Avril 2000 Aquaculture Truite Production, transformation et spécifications*. Afnor boutique Editions.
<https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-v45-100/aquaculture-truite-production-transformation-et-specifications/article/722936/fa019067>
- AFSCA. (2020). *AFSCA - Poissons, mollusques et crustacés frais*. Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire. <https://www.favv-afsca.be/productionanimale/produitsanimaux/poissons/>
- Bruxelles Environnement. (2021, janvier 12). *La perception des questions environnementales chez les jeunes*. Bruxelles Environnement. <https://environnement.brussels/lenvironnement-etat-des-lieux/en-detail/climat/la-perception-des-questions-environnementales-chez>
- Nutraqua. (s. d.). *Nutraqua—Composition nutritionnelle des produits aquatiques*. Aquimer. Consulté 26 février 2021, à l'adresse <https://www.nutraqua.com/fr/>
- OECD Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Fisheries and Aquaculture in Belgium, January 2021*. https://www.oecd.org/agriculture/topics/fisheries-and-aquaculture/documents/report_cn_fish_bel.pdf
- RNM FranceAgriMer. (2021). *TRUITE - RNM - prix cours marché—Pêche et aquaculture*. <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?TRUITE>
- Thomassen Benoit. (2021). Le secteur aquacole. *Filagri*. <https://filagri.be/aquaculture/le-secteur-aquaculture/>

Annexe I

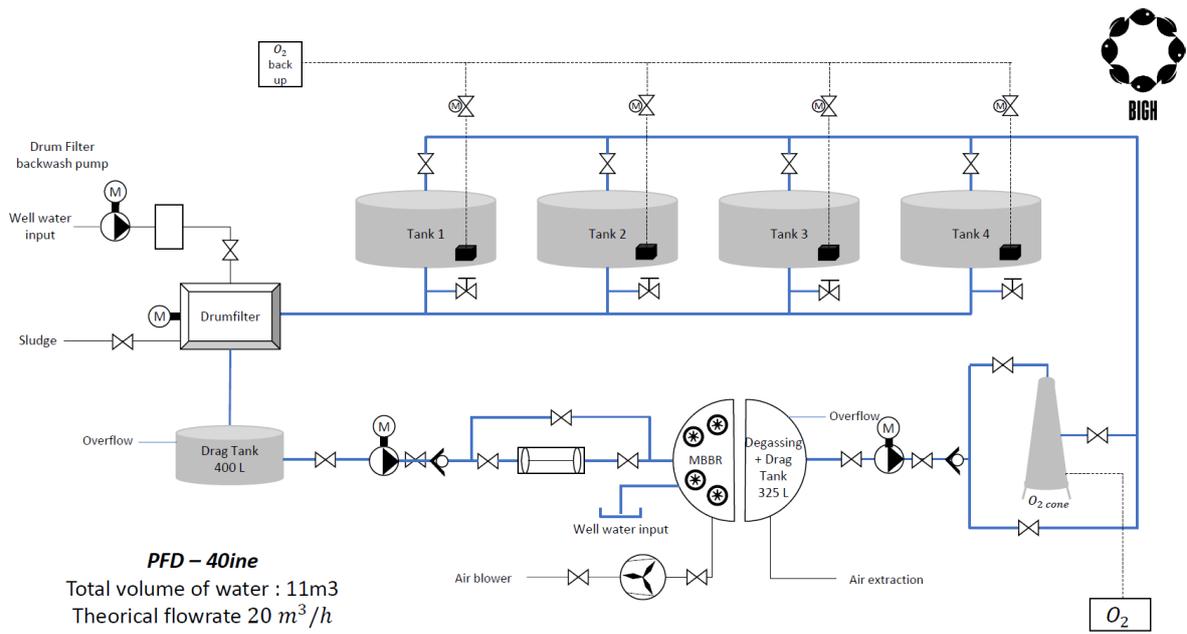


Schéma de la quarantaine. Drum Filter : Filtre à tambours, MBBR : Moving Bed Biofilter Reactors, Drag and/or degassing tank : Réservoir de débordement et/ou de dégazage, O₂ cone : Cône à oxygène, O₂ backup : Oxygène de secours, Sludge : Boue et Well water : Eau de forage. Source : © BIGH, 2021

Annexe II :

Questionnaire d'étude des préférences du consommateur vis-à-vis de la « Truite de Bruxelles » produite par BIGH, extrait de sa version numérique initiale sous GoogleForms. Les commentaires « passez à la question x » indiquent quelles questions sont posées à l'enquête en fonction de ses réponses : toutes les questions ci-dessous n'ont pas été posées à chaque enquête, ni dans cet ordre. * : Réponse obligatoire.

29/08/2021

La Truite de Bruxelles !

La Truite de Bruxelles !

Bonjour et merci à vous qui accordez quelques minutes à BIGH pour aider au développement de la première Truite de Bruxelles ! Si vous ne le savez pas encore, BIGH est une ferme urbaine où sont élevées des truites et cultivées des herbes, des tomates et d'autres légumes. Tout ça grâce à notre système aquaponique sur le toit du marché couvert Foodmet au cœur de Bruxelles (Anderlecht).

Aqua-quoi ?

L'aquaponie est la combinaison de l'élevage de poissons avec la culture de plantes dans des boucles de production fermées et connectées entre elles. Elle permet de réduire considérablement la consommation d'eau et d'engrais. Nous utilisons également la chaleur émise du bâtiment sur lequel nous sommes, l'eau de pluie et l'énergie solaire afin de maximiser notre durabilité ! De plus, nous préférons livrer localement nos produits, pour qu'ils restent frais et que vous sentiez la différence dans votre assiette !

Le questionnaire auquel vous vous apprêtez à répondre nous nous permettra de faire de la Truite de Bruxelles un produit durable, de grande qualité ! Il est totalement anonyme et les informations que vous y laisserez seront uniquement utilisées en interne chez BIGH, à des fins de production et de développement de produit. Faisons ensemble de la Truite de Bruxelles la meilleure qu'elle puisse être, et qu'elle trouve son chemin dans les assiettes de tous les Bruxellois!

Le questionnaire vous prendra environ 10 minutes de votre précieux temps.

*Obligatoire

1. Si vous souhaitez recevoir un bon de réduction pour visiter la ferme, merci de bien vouloir inscrire un numéro de téléphone ou une adresse e-mail ici !

2. Quel est votre sexe ? *

Une seule réponse possible.

- Femme
- Homme
- Non genré

3. Vous avez : *

Une seule réponse possible.

- moins de 15 ans
- entre 16 et 20 ans
- entre 21 et 30 ans
- entre 31 et 40 ans
- entre 41 et 50 ans
- entre 51 et 60 ans
- entre 61 et 70 ans
- entre 71 et 80 ans
- entre 81 et 90 ans
- 91 ans et plus

4. Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ? *

Une seule réponse possible.

- Agriculteur exploitant
- Artisan, commerçant, chef d'entreprise
- Cadre
- Profession intermédiaire
- Ouvrier
- Employé
- Etudiant
- Retraité
- Sans activité professionnelle

5. Habitez vous dans la région de Bruxelles *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 6*
- Non *Passer à la question 7*

6. Dans quelle commune ? *

Une seule réponse possible.

- Anderlecht
- Bruxelles
- Ixelles
- Etterbeek
- Evere
- Ganshoren
- Jette
- Koekelberg
- Auderghem
- Schaerbeek
- Berchem-Sainte-Agathe
- Saint Gilles
- Molenbeek-Saint-Jean
- Saint-Josse-ten-Noode
- Woluwe-Saint-Lambert
- Woluwe-Saint-Pierre
- Uccle
- Forest
- Watermael-Boitsfort

Passer à la question 8

7. Habitez-vous en Belgique ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

Passer à la question 8

8. Connaissez-vous BIGH avant de faire ce questionnaire ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

9. Comment avez-vous eu accès à ce questionnaire ? *

Une seule réponse possible.

- Sur un réseau social ou sur le site internet de BIGH
 Il m'a été partagé dans un magasin ou un supermarché
 A l'issue d'une visite de BIGH ou d'un évènement organisé à la ferme
 Je travaille ou j'ai travaillé chez BIGH
 Je connais quelqu'un qui y travaille
 J'ai reçu ce questionnaire en tant que client de BIGH
 Autre : _____

10. Où faites-vous vos courses alimentaires ? (Sur téléphone: déroulez vers la droite pour plus de propositions) *

Une seule réponse possible par ligne.

	Jamais	Occasionnellement	Parfois	Souvent	Toujours
En grande surface ou superette	<input type="radio"/>				
En magasin ou épicerie spécialisée (bio, vrac etc.)	<input type="radio"/>				
Au marché	<input type="radio"/>				
A la ferme ou chez le producteur	<input type="radio"/>				
Je produis mes propres ressources alimentaires	<input type="radio"/>				

11. A quelle fréquence consommez-vous du saumon ? *

Une seule réponse possible.

- Jamais
- Occasionnellement (une à deux fois par an)
- Parfois (plusieurs fois par an mais moins d'une fois par mois)
- Souvent (une à plusieurs fois par mois)
- Toujours (une à plusieurs fois par semaine)

12. A quelle fréquence consommez-vous de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Jamais *Passer à la question 29*
- Occasionnellement (une à deux fois par an) *Passer à la question 13*
- Parfois (plusieurs fois par an mais moins d'une fois par mois)
Passer à la question 13
- Souvent (une à plusieurs fois par mois) *Passer à la question 13*
- Toujours (une à plusieurs fois par semaine) *Passer à la question 13*

13. Sous quelle forme consommez-vous le plus souvent la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Filet fumé
- Filet cuit non fumé
- crue
- Entière, vidée et cuite

14. Pour quelle raison consommez-vous de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Uniquement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
- Uniquement pour son goût que j'apprécie
- Principalement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé et dans une moindre mesure pour son goût que j'apprécie
- Principalement pour son goût que j'apprécie et dans une moindre mesure pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
- J'en consomme lorsqu'on m'en propose mais je n'en achète pas

15. Où achèteriez-vous de la truite saumonée fumée si vous vouliez en acheter ? *

Une seule réponse possible.

- En grande surface ou superette
- En magasin ou épicerie spécialisée (bio, vrac etc.)
- Chez le poissonnier
- Chez le producteur
- Autre : _____

16. Classez ces critères d'achat par ordre d'importance qu'ils ont pour vous, lors de l'achat de truite saumonée fumée. Le critère 1 étant le plus important et le 7ème le moins important (Sur téléphone: déroulez vers la droite pour plus de propositions) *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5	6	7
L'aspect de sa chair: couleur et brillance	<input type="radio"/>						
Son prix	<input type="radio"/>						
Le caractère attrayant du packaging en général	<input type="radio"/>						
Son origine : élevage ou sauvage	<input type="radio"/>						
Son origine: où a-t-elle été élevée ou pêchée	<input type="radio"/>						
Les labels certifiant une pêche ou une aquaculture durable (ex:MSC, ASC)	<input type="radio"/>						
Les labels biologiques	<input type="radio"/>						

17. Laquelle de ces trois couleurs de chair de truite vous donne le plus envie ? *

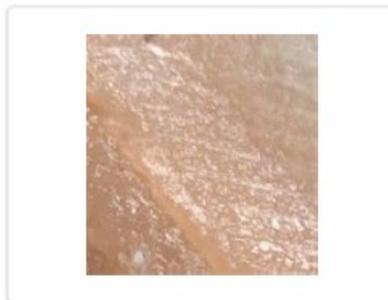
Une seule réponse possible.



Option 1



Option 2



Option 3

Aucune

18. Vous préférez qu'une truite saumonée fumée soit plutôt : *

Une seule réponse possible.

- Fortement grasse en bouche
 Faiblement grasse en bouche

19. Avez-vous déjà ressenti un goût ou une odeur de vase ou de terre lors de la dégustation d'une truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 27*
- Non *Passer à la question 28*

20. Sous quelle forme consommeriez-vous le plus probablement de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Filet fumé
- Filet cuit non fumé
- crue
- Entière, vidée et cuite

21. Pour quelle raison consommeriez-vous de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Uniquement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
- Uniquement pour son goût que j'apprécie
- Principalement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé et dans une moindre mesure pour son goût que j'apprécie
- Principalement pour son goût que j'apprécie et dans une moindre mesure pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
- J'en consomme lorsqu'on m'en propose mais je n'en achète pas

19. Avez-vous déjà ressenti un goût ou une odeur de vase ou de terre lors de la dégustation d'une truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 27*
 Non *Passer à la question 28*

20. Sous quelle forme consommeriez-vous le plus probablement de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Filet fumé
 Filet cuit non fumé
 crue
 Entière, vidée et cuite

21. Pour quelle raison consommeriez-vous de la truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Uniquement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
 Uniquement pour son goût que j'apprécie
 Principalement pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé et dans une moindre mesure pour son goût que j'apprécie
 Principalement pour son goût que j'apprécie et dans une moindre mesure pour les bienfaits que la consommation de poisson peut avoir sur ma santé
 J'en consomme lorsqu'on m'en propose mais je n'en achète pas

22. Où achèteriez-vous de la truite saumonée fumée si vous vouliez en acheter ? *

Une seule réponse possible.

- En grande surface ou superette
- En magasin ou épicerie spécialisée (bio, vrac etc.)
- Chez le poissonnier
- Chez le producteur
- Autre : _____

23. Classez ces critères d'achat par ordre d'importance qu'ils auraient pour vous, lors de l'achat de truite saumonée fumée. Le critère 1 étant le plus important et le 7ème le moins important (Sur téléphone: déroulez vers la droite pour plus de propositions) *

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5	6	7
L'aspect de sa chair: couleur et brillance	<input type="radio"/>						
Son prix	<input type="radio"/>						
Le caractère attrayant du packaging en général	<input type="radio"/>						
Son origine : élevage ou sauvage	<input type="radio"/>						
Son origine: où a-t-elle été élevée ou pêchée	<input type="radio"/>						
Les labels certifiant une pêche ou une aquaculture durable (ex:MSC, ASC)	<input type="radio"/>						
Les labels biologiques	<input type="radio"/>						

24. Laquelle de ces trois couleurs de chair de truite vous donne le plus envie ? *

Une seule réponse possible.



Option 1



Option 2



Option 3

Aucune

25. Vous préféreriez qu'une truite saumonée fumée soit plutôt : *

Une seule réponse possible.

Fortement grasse en bouche

Faiblement grasse en bouche

26. Avez-vous déjà ressenti un goût ou une odeur de vase ou de terre lors de la dégustation d'une truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 27*
 Non *Passer à la question 28*

27. Qu'en avez vous pensé ? *

Une seule réponse possible.

- J'ai apprécié ce goût
 J'ai simplement détecté ce goût mais il n'a pas affecté ma dégustation
 Ce goût m'a dérangé mais ne m'a pas empêché de la manger
 Ce goût m'a fortement dérangé et je ne l'ai pas mangée pour cette raison

Passer à la question 30

28. Pensez-vous que : *

Une seule réponse possible.

- Vous apprécieriez ce goût
 Vous n'apprécieriez pas ce goût

Passer à la question 30

29. Pour quelles raisons ne consommez-vous pas de truite saumonée ? *

Une seule réponse possible.

- Je n'aime pas le poisson
- Je n'aime pas la truite saumonée, mais j'aime le poisson
Passer à la question 20
- Je préfère le saumon *Passer à la question 20*
- Je trouve cela trop cher *Passer à la question 20*
- Je ne sais pas comment la cuisiner ou l'assortir *Passer à la question 20*
- Je n'y pense pas *Passer à la question 20*
- Mon régime alimentaire ne me le permet pas
- Je ne sais pas *Passer à la question 20*
- Autre : _____

30. Si vous faisiez ou refaisiez l'expérience d'une truite ayant ce goût de vase, rachèteriez-vous ce même produit une seconde fois ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

31. Combien coûte, selon vous, de la truite saumonée fumée, élevée de manière traditionnelle en Belgique ? 150g correspond au poids d'environ 4 tranches. *

Une seule réponse possible.

- 5€/kg soit 0,75€ les 150g
- 10€/kg soit 1,5€ les 150g
- 15€/kg soit 2,25€ les 150g
- 20€/kg soit 3€ les 150g
- 25€/kg soit 3,75€ les 150g
- 30€/kg soit 4,5€ les 150g
- 35€/kg soit 5,25€ les 150g
- 40€/kg soit 6€ les 150g
- 45€/kg soit 6,75€ les 150g
- 50€/kg soit 7,5€ les 150g
- 55€/kg soit 8,25€ les 150g
- 65€/kg soit 9,75€ les 150g
- 70€/kg soit 10,5€ les 150g
- 75€/kg soit 11,25€ les 150g
- 80€/kg soit 12€ les 150g
- 85€/kg soit 12,75€ les 150g
- 90€/kg soit 13,5€ les 150g
- 95€/kg soit 14,25€ les 150g
- 100€/kg soit 15€ les 150g

32. Quel prix au kg seriez-vous prêt à payer pour de la truite saumonée fumée, élevée avec de l'aliment bio dans un système durable et local, en aquaponie à Bruxelles ? *

Une seule réponse possible.

- 5€/kg soit 0,75€ les 150g
- 10€/kg soit 1,5€ les 150g
- 15€/kg soit 2,25€ les 150g
- 20€/kg soit 3€ les 150g
- 25€/kg soit 3,75€ les 150g
- 30€/kg soit 4,5€ les 150g
- 35€/kg soit 5,25€ les 150g
- 40€/kg soit 6€ les 150g
- 45€/kg soit 6,75€ les 150g
- 50€/kg soit 7,5€ les 150g
- 55€/kg soit 8,25€ les 150g
- 65€/kg soit 9,75€ les 150g
- 70€/kg soit 10,5€ les 150g
- 75€/kg soit 11,25€ les 150g
- 80€/kg soit 12€ les 150g
- 85€/kg soit 12,75€ les 150g
- 90€/kg soit 13,5€ les 150g
- 95€/kg soit 14,25€ les 150g
- 100€/kg soit 15€ les 150g

33. Connaissez-vous ou avez-vous déjà entendu parler du label ASC ? *



Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

34. Le label ASC est un label qui garantit que le poisson a été produit dans le respect de l'environnement et dans de bonnes conditions de travail. Ce label inscrit sur l'emballage vous rassure-t-il plus que l'indication attestant que la truite a été élevée avec de l'aliment bio dans un système durable et local, en aquaponie à Bruxelles ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

35. Quel prix seriez-vous prêt à payer pour de la truite saumonée fumée, élevée avec de l'aliment bio dans un système durable et local, en aquaponie à Bruxelles et ayant en plus le label ASC ? *

Une seule réponse possible.

- 5€/kg soit 0,75€ les 150g
 10€/kg soit 1,5€ les 150g
 15€/kg soit 2,25€ les 150g
 20€/kg soit 3€ les 150g
 25€/kg soit 3,75€ les 150g
 30€/kg soit 4,5€ les 150g
 35€/kg soit 5,25€ les 150g
 40€/kg soit 6€ les 150g
 45€/kg soit 6,75€ les 150g
 50€/kg soit 7,5€ les 150g
 55€/kg soit 8,25€ les 150g
 65€/kg soit 9,75€ les 150g
 70€/kg soit 10,5€ les 150g
 75€/kg soit 11,25€ les 150g
 80€/kg soit 12€ les 150g
 85€/kg soit 12,75€ les 150g
 90€/kg soit 13,5€ les 150g
 95€/kg soit 14,25€ les 150g
 100€/kg soit 15€ les 150g

36. Quel format de vente privilégieriez-vous lors de l'achat d'une truite saumonée fumée ? *

Une seule réponse possible.

- Une plus petite quantité (100 à 150g) pour un prix unitaire moins élevé mais un prix au kg plus élevé
- Une plus grande quantité (150g à 200g) pour un prix au kg moins élevé mais un prix unitaire plus élevé

37. Avez-vous déjà consommé un filet de truite saumonée fumée avec la peau et non tranché ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

38. Pensez-vous qu'un filet de truite saumonée fumé non tranché avec la peau soit plutôt: *

Une seule réponse possible.

- Intrigant
- Peu attrayant
- Peu pratique à consommer
- Authentique
- Autre : _____

39. Seriez-vous intéressé par un filet de truite saumonée fumé aromatisé ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 40*
- Non *Passer à la question 41*

Section sans titre

40. Quels arômes vous intéresseraient ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Basilic
- Coriandre
- Thym
- Sauge
- Aneth
- Poivre
- Autres épices

Autre : _____

Passer à la question 42

41. Pourquoi un filet de truite saumonée aromatisé ne vous intéresse pas ? *

Une seule réponse possible.

Je préfère le goût de la truite fumée nature

Je préfère l'aromatiser moi-même

Je ne sais pas

Autre : _____

Passer à la question 42

42. A quel point pensez-vous que le packaging influence votre acte d'achat ? *

Une seule réponse possible.

Il ne m'influence jamais

Il m'influence rarement

Il m'influence parfois

Il m'influence souvent

Il m'influence toujours

43. Diriez-vous que l'impact sur l'environnement de votre manière de consommer vous préoccupe : *

Une seule réponse possible.

- Enormément
- Beaucoup
- Moyennement
- Faiblement
- Pas du tout

Merci pour votre participation !

Si vous souhaitez en savoir plus à propos de BIGH, n'hésitez pas à consulter notre site internet ou à nous rendre visite !

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

Annexe III :

Aidez nous à développer la
Truite de Bruxelles !



En répondant à un questionnaire
sur notre site internet :
<http://www.bigh.farm/>



Affiche utilisée pour la campagne de diffusion du questionnaire en Annexe II. Le QR-code mène au site internet de BIGH, également indiqué sur l’affiche, et sur lequel le questionnaire est proposé. Logo et charte graphique : © BIGH, 2021, source : production personnelle

Annexe IV :

Tableau représentant la répartition en % des enquêtés par moyen d'accès au questionnaire en Annexe II.

Moyen d'accès au questionnaire	Part d'enquêtés concernés
Sur un réseau social ou sur le site internet de BIGH	51,48%
Il m'a été partagé dans un magasin ou un supermarché	13,02%
Je connais quelqu'un qui y travaille	13,02%
« La ruche qui dit oui ! »	9,47%
A l'issue d'une visite de BIGH ou d'un évènement organisé à la ferme	6,51%
Je travaille ou j'ai travaillé chez BIGH	5,33%
J'ai reçu ce questionnaire en tant que client de BIGH	1,18%
Total général	100,00%

Annexe V :

Extrait de la table de rationnement à 16°C utilisée pour les truites de la ferme, y compris celles des tests de purging, de coloration de chair et de teneur en gras musculaire. Source : © BIGH, 2021

Poids moyen vif (g)	Taux de rationnement (%Biomasse/j) à 16°C
[150;200]	1,52
[200;400]	1,4
[400;500]	1,26
[500;1000]	1,15
[1000;1500]	0,99
[1500;1800]	0,91

Annexe VI :



Photographie de l'outil de mesure utilisé pour réaliser l'évaluation de la coloration de chair des truites : le SalmoFan™ de DSM (Heerlen, Pays Bas). Des numéros compris entre 20 et 34 y figurent d'un côté de chaque lame. Source : photographie personnelle.

Annexe VII :



Photographie de la version linéaire de l'outil de mesure utilisé pour réaliser l'évaluation de la coloration de chair des truites : le SalmoFan™ Lineal de DSM (Heerlen, Pays Bas). Des numéros compris entre 20 et 34 y figurent pour chaque couleur. Source : photographie personnelle.

Annexe VIII :



Comment utiliser le SalmoFan™

Pour assurer une mesure de précision optimale, il faut prendre en considération les facteurs suivants :

Etre deux pour effectuer les mesures.



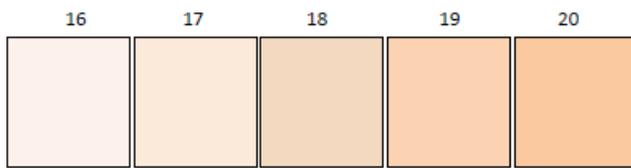
1. L'évaluation doit se faire sur une surface blanche, non-réfléchissante, afin d'éliminer l'influence de toute autre couleur adjacente.
2. Elle doit aussi être effectuée uniquement à la lumière du jour indirecte et pas sous une lumière artificielle. L'utilisation de la lumière indirecte évite les reflets perturbateurs dus à la surface brillante de la chair du saumon.
3. Les branches de l'éventail DSM SalmoFan™ doivent être tenues juste au-dessus de la chair du saumon et observées verticalement du dessus. Les numéros seront affichés vers le bas et la chair positionnée entre les pointes de la branche. Le lecteur doit toujours être du côté non numéroté de la branche et montrer le numéro à l'assistant pour enregistrement.
4. Fermer l'éventail pour passer d'un échantillon de poisson à l'autre pour être sûr de ne pas influencer chaque mesure.
5. Chaque série d'évaluations doit être faite par le même observateur, habitué. Les séries sont constituées de 4 à 15 échantillons de chair de saumon (selon la variabilité) et ceux-ci doivent être évalués individuellement.
6. Une fois l'évaluation terminée, nettoyer l'éventail et l'entreposer hors de sources directes de lumière.

Nous contacter :
DSM Nutritional Products France sas
Tour Nova
71 boulevard National
92250 La Garenne-Colombes
01 46 43 59 28

NUTRITION · HEALTH · SUSTAINABLE LIVING

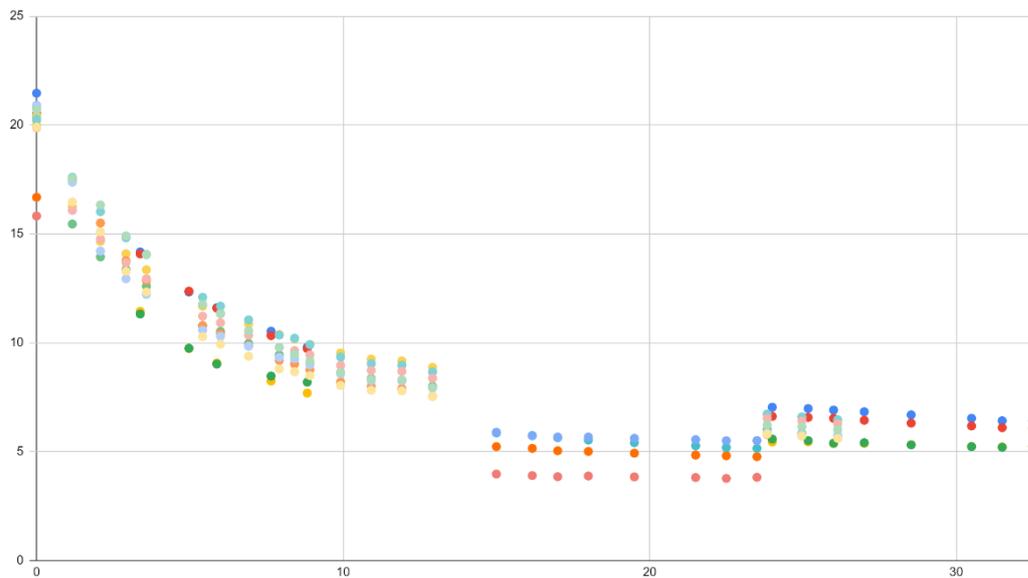
Guide d'utilisation du SalmoFan™ et SalmoFan™ Lineal de DSM (Heerlen, Pays Bas), remis par DSM.

Annexe IX :



Prolongation du SalmoFanTM pour des couleurs de chair plus claires, comprises entre 16 et 20. Source : production personnelle

Annexe X :



Evolution de la masse (g) d'échantillons préliminaires de chair de truite, préparés comme spécifié en partie 3.4, en fonction du temps (h) passé dans le déshydrateur *Excalibur-9 Tray-4900220GB* (Sacramento, US), à 74°C. Chaque couleur correspond à un échantillon de chair différent, pesant initialement et pour la plupart environ 20g (+/- 1g).

On remarque que le poids des échantillons se stabilise à partir de 20h environ. Il est cependant possible qu'à cette température, et pour cette durée de séchage, toute l'eau n'ait pas quitté les échantillons de chair mixés. Pour des raisons pratiques liées aux prises de mesures et au matériel expérimental limité, et parce que la perte d'eau après 24h semble négligeable par rapport à celle perdue avant cela, une durée de 24h est considérée comme suffisante pour permettre aux échantillons de perdre toute l'eau qu'ils contiennent lors des tests réalisés. Les résultats obtenus sont donc à relativiser par l'inexactitude potentielle de la méthode utilisée.

Annexe XI :

Tableau du coût (€/kg) des aliments distribués à la ferme et lors des tests de coloration de chair, en fonction de leur concentration en astaxanthine (ppm) et du diamètre des pelés (mm). Ce tableau est utilisé pour réaliser le tableau 14 de la partie 4.3.2. Source : © BIGH, 2021

Aliment	0ppm D5.5mm	0ppm D7.5mm	25ppm D5.5mm	25ppm D7.5mm	50ppm D5.5mm	50ppm D7.5mm
Coût (€/kg)	1,672	1,662	1,7395	1,7295	1,807	1,797

 agriculture • alimentation • environnement 	Diplôme : Ingénieur Agronome Spécialité : Sciences Halieutiques et Aquacoles Spécialisation / option : Aquaculture Enseignant référent : Mme Catherine Guérin
Auteur(s) : Eugénie Tardieu Date de naissance* : 24/08/1997 Nb pages : 35 Annexe(s) : 11 (soit 31 pages) Année de soutenance : 2021	Organisme d'accueil : BIGH Adresse : Quai de l'industrie 168 rue Ropsy-Chaudron 24, BT35 1070 Anderlecht Maître de stage : Gwenn Guillaumie
Titre français : Etude des facteurs de production et des paramètres d'élevage en circuit recirculé permettant d'obtenir une truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) dont la qualité organoleptique et technologique répond à la demande du marché.	
Titre anglais : A study of production factors and farming parameters in a re-circulating aquaculture system that allow for a rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) whose organoleptic and technological quality answers the market's demands.	
<p>Résumé : BIGH est une ferme aquaponique établie à Bruxelles. Elle élève des truites arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en circuit recirculé depuis décembre 2020 afin de produire de la truite saumonée fumée, dont elle souhaite adapter certains aspects de la qualité à la demande du marché. Une étude de l'impact de certains paramètres d'élevage sur l'épuration de l'off-flavor, la coloration, et la teneur en lipides de la chair des truites est menée et mise en parallèle avec les résultats d'une enquête auprès du consommateur cible. L'aspect et le prix de la truite sont des critères d'achats décisifs pour ce dernier qui est cependant prêt à payer plus, pour un produit d'origine bruxelloise et ayant un mode de production durable. Sa consommation de truite est occasionnelle mais il souhaite qu'elle soit exempte de goût de vase et peu grasse. Il est possible pour BIGH d'éliminer l'off-flavor de la chair des truites, tout en limitant la consommation d'eau et leur perte de poids en modulant la durée d'épuration, le taux de renouvellement en eau neuve et la mise à jeun au préalable des truites ainsi qu'en prêtant une attention particulière au nettoyage des structures d'élevage. La coloration peut également être optimisée en retardant le début de l'alimentation pigmentée à la moitié du poids de vente souhaité ou avec un aliment plus concentré en astaxanthine, bien que cette possibilité ait une efficacité limitée. La teneur en gras de la chair n'est pas une limite au fumage des truites ne dépassant par 1kg. Un examen morphologique de leur corpulence devra être réalisé au-delà.</p>	
<p>Abstract : BIGH is an aquaponic farm settled in Brussels. It has been breeding rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) in a re-circulating system since December 2020 in order to produce smoked trout; the farm wishes to adapt certain aspects of the trout's quality to market demands. An impact study of some farming parameters on off-flavor purification, coloring, and lipid content in the trout's flesh is carried out and compared with the results of a survey on target consumers. Appearance and price are key purchase criteria for the consumer, who is nonetheless willing to pay more for a product made in Brussels and produced in a sustainable manner. Their trout consumption is occasional, but the target consumers want their fish not to have a muddy taste nor to be too greasy. BIGH can get rid of the off-flavor in the trout's flesh while restricting water consumption and trout weight loss by modulating purification time and fresh water renewal rate, by withdrawing feed for the trout beforehand, as well as by paying particular attention to the cleaning of the farming structures. Coloring can also be improved by delaying the start of pigmented feed until the trout weigh half their expected selling weight, or with a feed that is more concentrated in astaxanthin, even though this option is not the most efficient. Fat content in the flesh is not an obstacle to trout smoking as long as the fish weighs up to 1kg. A morphological exam of their size will have to be carried out if they are heavier.</p>	
Mots-clés : Truite, qualité, off-flavor, purging, couleur de chair, pigment, teneur en gras musculaire Key Words : Trout, quality, off-flavor, purging, flesh color, pigment, muscular fat content.	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires