

5^{es} Journées de la Recherche Filière Piscicole

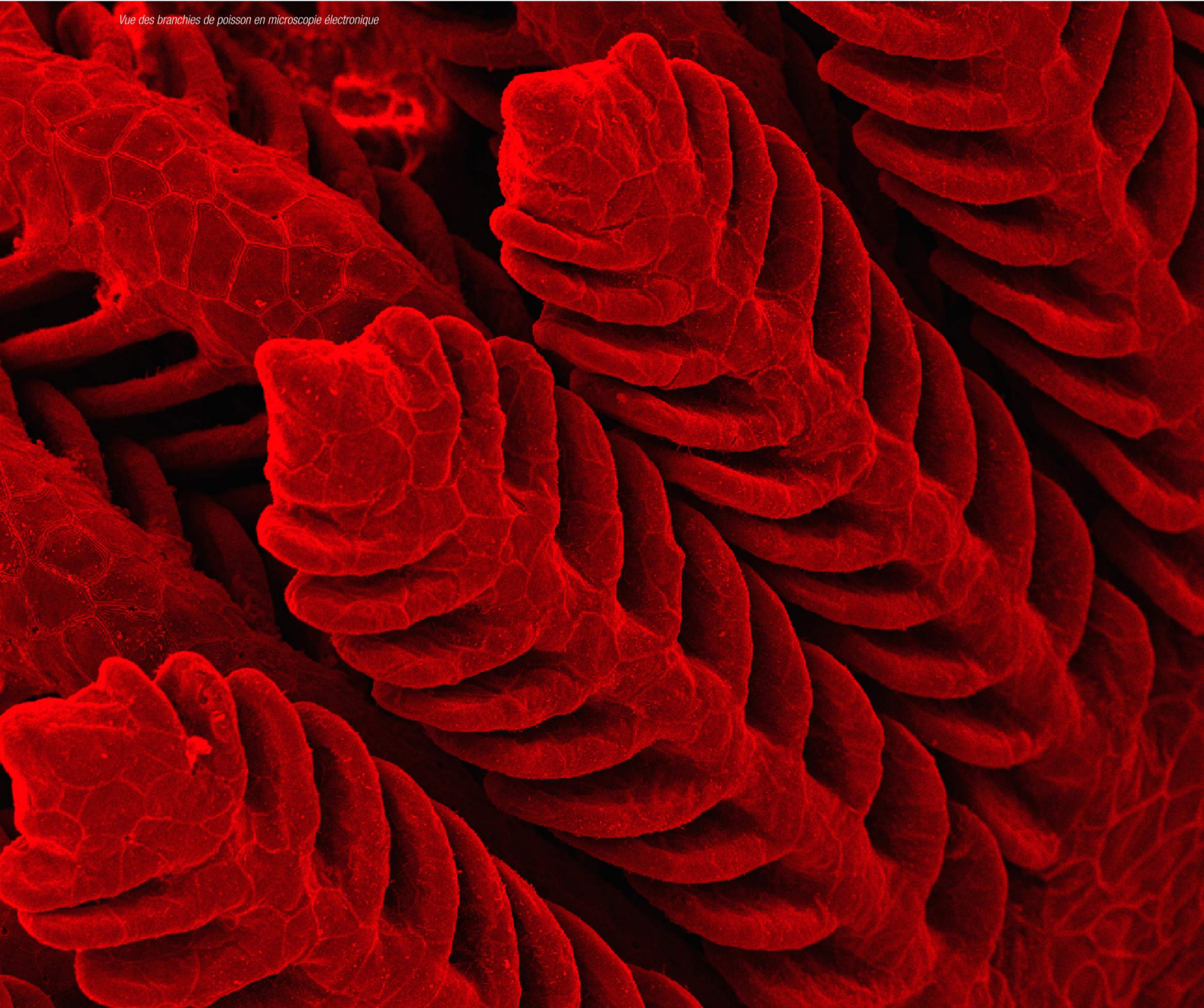


Paris

5 et 6 juillet 2016

FIAP Jean Monnet 30 rue Cabanis - 75014 PARIS
Métro : Glacière / Denfert-Rochereau

Vue des branchies de poisson en microscopie électronique



L'art délicat de la protection

Protec est l'aliment de Skretting développé pour renforcer la santé des poissons d'élevage.

Protec permet de renforcer la protection de la peau, du tube digestif et des branchies, de soutenir le système immunitaire, d'apporter les éléments constitutifs nécessaires au renouvellement des cellules et enfin, d'assurer l'équilibre entre les poissons, les microbes et l'environnement.

PARTENAIRES

DES 5^{es} JOURNEES DE LA RECHERCHE

PISCICOLE

Avec le partenariat

- Du Ministère de l'Ecologie du Développement durable et de l'Energie / Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture
- Du Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural (CASDAR)
- De l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
- De l'Institut Technique de l'Aviculture (ITAVI)
- Du Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture (CIPA)
- Du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)
- De l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER (IFREMER)
- Du Syndicat des Sélectionneurs Avicoles Aquacoles Français (SYSAAF)
- De l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
- De la Fédération Française d'Aquaculture (FFA)
- Du Réseau des Enseignants Aquacoles
- De la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER)
- Du GIS Piscicultures Demain (PsD)

Et des structures suivantes



**5^{es} Journées de la Recherche
Filière Piscicole**

GENETIQUE

Paris

5 et 6 juillet 2016

RESISTANCE A LA NODAVIROSE DES POPULATIONS SAUVAGES DE BAR

Allal François¹, Doan Quoc Khanh¹, Vergnet Alain², Chatain Béatrice¹, Breuil Gilles²
Vandeputte Marc^{2,3}

¹ Ifremer UMR9190 MARBEC, Chemin de Maguelone, F-34250 Palavas-les-Flots, France

² Ifremer, Chemin de Maguelone, F-34250 Palavas-les-Flots, France

³ INRA, GABI, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, F-78350 Jouy-en-Josas, France

Correspondance : François Allal (francois.allal@ifremer.fr) Tel : 33(4) 67 13 04 04

Mots clés : génétique, nodavirus, bar, populations sauvages

Contexte et objectifs. Le bar, *Dicentrarchus labrax*, est une espèce majeure de l'aquaculture Méditerranéenne. Cet élevage subit cependant des mortalités importantes dues à la nodavirus, contraignant fortement son développement à l'est et au sud de la Méditerranée. Cette pathologie est identifiée depuis déjà 25 ans, mais aucun moyen satisfaisant de prévention ou de traitement n'existe pour contenir ces épisodes infectieux. Développer des populations résistantes à la maladie par sélection apparaît donc comme un moyen de pallier à ce problème. Dans une première étape, nous évaluons ici l'héritabilité et la variabilité de la résistance de populations sauvages de bar à la nodavirus.

Méthodes. Un croisement factoriel de 60♂ (15 atlantiques AT, 15 ouest-méditerranéens OM, 15 nord-est-méditerranéens NEM, 15 sud-est-méditerranéens SEM) par 9♀ OM a permis de produire 1991 poissons marqués individuellement à J184. Les parents et les descendants ont été génotypés avec un jeu de 12 microsatellites pour reconstruire le pedigree. Des challenges expérimentaux ont été effectués à J207 sur 1472 poissons infectés par injection intrapéritonéale de 2×10^6 virus/poissons (souche W80). Les mortalités ont été suivies durant 24 jours. Les 519 poissons non challengés ont été conservés vivants, sans contact avec le virus afin d'évaluer les corrélations génétiques de la résistance avec les caractères de production.

Résultats. Au total, 1907 poissons (94.6%) ont pu être assignés à un couple de parents, dont 1405 poissons challengés (95.5%). Au 24ème jour suivant l'inoculation, la morbidité totale cumulée était de 26.5 %, avec un écart-type entre les 3 répétitions de 1.6. La survie est très différente en fonction des origines des pères : 52% de survie chez les AT ; 62% chez les OM ; 83% chez les NEM ; et 90% chez les SEM. L'estimation des survies en souches pures (sous l'hypothèse d'un modèle additif) montre des différences encore plus marquées : 42% en souche pure AT ; 62% en OM ; 94% en NEM ; et 99% en SEM. Nous observons également une grande variabilité intrasouche (entre les demi-familles de pères) de la survie. L'héritabilité de résistance à la nodavirus est estimée à 0.27 ± 0.02 , avec des corrélations génétiques négatives avec le poids au challenge ($r_A = -0.30 \pm 0.14$).

Discussion et perspectives. Nous observons une forte différenciation entre populations sauvages de bar pour la résistance au nodavirus, les populations AT étant les plus sensibles et les populations de l'Est de la Méditerranée étant les plus résistantes. On note également une forte variabilité intrasouche et une héritabilité modérée mais significative permettant d'envisager une amélioration efficace par sélection intrasouche. La recherche de marqueurs génétique est en cours, pour accélérer le potentiel de sélection et permettre si besoin une introgression rapide de gènes de résistance dans des populations déjà sélectionnées pour d'autres caractères.

Ce travail a été financé par le projet FUI RE-SIST

RESISTANCE GENETIQUE A L'ENTERITE CHEZ LA TRUITE ? INTERACTION AVEC LA FLAVOBACTERIOSE ET LES CARACTERES DE PRODUCTION

Tyran Anne-Sophie¹, Desgranges Alexandre², Bestin Anastasia¹, Enez Florian¹, Allal François³, Vandeputte Marc⁴, Edwige Quillet⁴, Jean François Bernardet⁴, Bugeon Jérôme⁵, Thierry Morin⁶, Haffray Pierrick¹

¹ SYSAAF, Station LGPG/INRA Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes

² Bretagne Truite, F-29610 Plouigneau

³ Ifremer UMR9190 MARBEC, F-34250 Palavas-les-Flots, France

⁴ INRA, GABI, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, F-78350 Jouy-en-Josas, France

⁵ INRA, Station LGPG/INRA Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes

⁶ ANSES, Technopôle Brest-Iroise, F-29280 Plouzané

Résumé

L'entérite est une maladie bactérienne pouvant induire des mortalités importantes durant la période estivale, surtout en production de grande truite. Une des principales causes proposées est la substitution par le tourteau de soja qui aurait un effet abrasif sur le tube digestif. L'entérite est principalement combattue par une réduction drastique du taux d'alimentation durant la période estivale, des traitements antibiotiques et de nouvelles formulations d'aliments tentant de limiter les atteintes à la muqueuse intestinale. Les mortalités n'étant pas totales, Bretagne Truite a recherché dans le cadre du projet RE-SIST l'existence d'une variabilité génétique sélectionnable ainsi que les éventuelles corrélations génétiques avec la résistance à la flavobactériose et avec les performances de croissance et les rendements de découpe.

600 familles ont été créées en novembre 2013 par croisement de 98 mères avec 99 néomâles. Deux lots de 2000 sujets chacun ont été respectivement soumis à des challenges naturels en pisciculture (printemps 2014) et à l'entérite (été 2014 et début d'été 2015) à la pisciculture de Keryas. Un 3^{ème} lot de 2000 a été abattu au poids commercial (atelier Bretagne Truite, Plouigneau) pour mesurer performances de croissance, de rendement de découpe et de teneur en lipides de la chair (Torry Fish Fat Meter). Le 2^{ème} et le 3^{ème} lot ont été nourris avec un aliment commercial (Skretting Omega HE A25SF). Les animaux ont été assignés à leurs parents par génotypage de marqueurs microsatellites.

La mortalité par flavobactériose a été de 84.3 % et celle par entérite de 23.2 %. Les héritabilités de ces deux caractères sont estimées à $0,31 \pm 0,04$ et $0,42 \pm 0,04$ et la corrélation génétique à $0,01 \pm 0,11$. Les héritabilités du poids à l'abattage et des caractères qualitatifs sont estimées entre $0,24 \pm 0,04$ et $0,54 \pm 0,05$. La résistance à la flavobactériose présente une corrélation génétique positive avec le poids ($0,25 \pm 0,09$) contrairement la résistance à l'entérite ($r_A = -0,35 \pm 0,10$). La résistance à ces pathologies est globalement indépendante des caractères de découpe ou de teneur en lipides des filets.

La résistance à l'entérite est héritable (0.42) mais corrélée négativement avec la croissance de façon suffisamment limitée (-0.35) permettant d'envisager une sélection conjointe. Ces résultats permettent d'avancer que le risque associé à la substitution par le soja est d'autant plus important que l'ingéré est augmenté par l'utilisation de génotypes à plus forte croissance. La sélection de sujets plus résistants à l'entérite sur une alimentation plus substituée pourrait permettre de sélectionner de futurs génotypes moins sensibles au tourteau de soja et donc de réduire les pertes de productivité liées à la sous-exploitation actuelle du potentiel de croissance. Enfin, la corrélation nulle avec la sensibilité à la flavobactériose montre que l'amélioration de la résistance combinée à ces deux pathogènes est possible.

SELECTION POUR LA CAPACITE A SURVIVRE ET GRANDIR AVEC UN ALIMENT 100 % VEGETAL CHEZ LA TRUITE ARC EN CIEL

Dupont-Nivet M.¹, Callet T.^{1,2}, Geurden I.², Burel C.², Labbé L.³, Kerneis T.³, Le Calvez J.M.³, Quillet E.¹, Médale F.²

¹ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

² NUMEA, INRA, 64310 St Pée sur Nivelle, France

³ PEIMA, INRA, 29450 Sizun, France

Contexte et objectifs

La composition des aliments aquacoles a fortement évolué ces 30 dernières années avec une substitution des matières premières d'origine marine par des matières premières d'origine végétale. Au delà de 80 % de substitution, l'appétit, la croissance et la survie peuvent être fortement altérés. Des travaux récents ont montré l'existence de variabilité génétique pour l'aptitude à survivre et grandir avec un aliment 100 % végétal. Ainsi, certains génotypes grandissent et survivent normalement tandis que d'autres n'y parviennent pas. Mais, les verrous biologiques à l'origine de ces capacités différentes ne sont pas identifiés. Le projet ANR 'Agreenfish' vise à décrypter les mécanismes d'adaptation des truites à l'alimentation végétale en utilisant du matériel génétique aux performances contrastées avec un régime végétal (lignées isogéniques et lignée sélectionnée). Pour cela le projet combine des approches avec a priori (par ex. analyse du microbiote, fonctionnement du tube digestif) et des analyses sans a priori telles que l'étude du niveau d'expression de nombreux gènes ou la recherche de zones du génome affectées par la sélection. Les premiers résultats du projet font l'objet de plusieurs communications aux JRFP 2016. Cette communication présente un des matériels génétiques du projet Agreenfish: la lignée de truite arc-en-ciel INRA sélectionnée pour l'aptitude à survivre et grandir avec l'aliment 100% végétal. L'objectif ici est de montrer l'efficacité de cette sélection après trois générations de sélection.

Protocole

La lignée sélectionnée a été développée à partir de la lignée synthétique INRA, créée et entretenue pour être un réservoir de variabilité génétique. La sélection est individuelle : sur la survie et la longueur des animaux lorsqu'ils sont nourris avec de l'aliment sans aucune huile ni farine de poisson (V) dès la première alimentation. Plusieurs tris successifs sont réalisés jusqu'au stade portion. La pression de sélection totale par génération varie entre 5 et 10 %. Trois générations successives ont été produites. Pour mesurer la réponse à la sélection, des animaux témoins et sélectionnés sont nourris, pour la moitié d'entre eux avec l'aliment V, pour l'autre avec l'aliment marin (M) riche en farine et huile de poisson. Outre la survie et la croissance, les quantités d'aliment ingéré et l'efficacité alimentaire ont été également estimés.

Résultats et perspectives d'applications

En troisième génération, les réponses maximales à la sélection (performances des sélectionnés nourris avec V comparées à celles des témoins nourris avec V) sont significatives et importantes : + 52 % pour la survie et + 50 % pour le poids. De plus, les poissons sélectionnés nourris avec V ont une courbe de croissance très proche de celle des poissons témoins nourris avec M. Ainsi, trois générations de sélection ont compensé l'effet négatif de l'aliment V, soit près de 40 % de réduction de croissance. Aucune différence significative d'efficacité alimentaire n'est détectée entre les différents lots, tandis que l'ingestion des poissons sélectionnés est supérieure, en particulier avec le régime V (+48%). Ceci souligne l'importance des mécanismes régulant la prise alimentaire dans la réponse à la sélection, et est en cohérence avec d'autres résultats du projet Agreenfish (voir par ex, Callet et al., JRFP 2016).

Ces résultats soulignent l'intérêt de l'amélioration génétique pour accompagner les transitions alimentaires. En éclairant les mécanismes d'adaptation à l'aliment végétal, les résultats du projet Agreenfish permettront à la fois d'améliorer encore la formulation des aliments et d'affiner les méthodes de sélection et leur efficacité.

Cette étude a été financée par l'ANR - Bioadapt : projet 13-ADAP-001-01-Agreenfish

RÉSISTANCE AUX MALADIES CHEZ LA TRUITE ARC-EN CIEL : EFFETS D'UNE MEILLEURE APTITUDE À UTILISER LES MATIÈRES PREMIÈRES D'ORIGINE VÉGÉTALE

Crusot M.¹, Quillet E.¹, Dechamp N.¹, Rigauddau D.², Médale F.³, Boudinot P.⁴, Calvez S.⁵, Bernardet J.F.⁴, Dupont-Nivet M.¹

¹ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

² IERP, INRA, 78350 Jouy en Josas, France

³ NUMEA, INRA, UPPA, 64310 St Pée sur Nivelle, France

⁴ VIM UR892, INRA, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

⁵ LUNAM Université, Oniris, Ecole nationale vétérinaire, agroalimentaire et de l'alimentation Nantes-Atlantique, UMR 1300 BioEpAR, La Chantrerie, Nantes 44307 Cedex 3, France

Contexte et objectifs

Limiter l'emploi de ressources marines dans les aliments aquacoles en les remplaçant notamment par des matières premières végétales est un enjeu majeur pour le développement de l'aquaculture. Chez la truite arc en ciel, si des taux de substitution jusqu'à 80 % n'ont pas d'effet sur les performances, une substitution totale diminue la survie des jeunes stades et la croissance. L'INRA, a sélectionné une lignée de truites arc en ciel pour l'aptitude à grandir et survivre avec un aliment exclusivement composé de produits végétaux. Dès la première génération de sélection, la croissance et la survie ont été améliorées, en particulier pendant les phases précoces, et le gain est confirmé après 3 générations de sélection. Néanmoins, les conséquences de cette sélection sur la capacité immunitaire et la santé des truites ne sont pas connues. L'objectif de cette étude était donc de déterminer les effets croisés de la sélection et du régime alimentaire (à base de produits d'origine marine ou végétale) en évaluant la résistance de jeunes truites arc-en-ciel à trois maladies courantes.

Protocole

Deux lignées ont été utilisées : 1/ une lignée témoin 2/ une lignée sélectionnée (3^{ème} génération) pour son aptitude à grandir et survivre avec un régime 100 % végétal. Les truites de chaque lignée ont été séparées en deux groupes qui ont reçu deux aliments différents, un aliment témoin avec farine et huile de poisson et un aliment 100% végétal. Les trois maladies testées sont deux bactérioses, la flavobactériose (*Flavobacterium psychrophilum*) et la yersiniose (*Yersinia ruckeri*) et une virose, la SHV (septicémie hémorragique virale). Pour chaque épreuve infectieuse, 150 à 180 poissons par lot (lignée*aliment) ont été répartis en trois réplicats. Pour les trois agents pathogènes, l'infection a été réalisée par immersion entre 110 et 156 jours post fécondation (jpf) : bain de 24h à une concentration de 5.10^6 ufc/ml pour la flavobactériose, bain de 4h à $7.5.10^7$ ufc/ml pour la yersiniose et bain de 2h à 10^5 ufp/ml pour la SHV. Un modèle linéaire généralisé a été utilisé pour tester les effets aliment et sélection sur la survie en fin d'épreuve infectieuse.

Résultats et perspectives d'applications

Dans le cas de la flavobactériose, la résistance des 2 lignées nourries avec l'aliment témoin est identique (environ 8 %). Avec l'aliment végétal, la mortalité de la lignée témoin s'élève à 43% contre seulement 24% dans la lignée sélectionnée. L'aliment végétal a donc un impact négatif significatif tandis que la sélection améliore significativement la résistance à l'infection en cas de régime végétal. En ce qui concerne la SHV (mortalités entre 60 et 80%), ni l'aliment ni la sélection n'ont d'effet significatif sur la résistance à l'infection. Aucun effet significatif n'est observé non plus pour la yersiniose, mais les faibles mortalités recensées (entre 7 et 14%) peuvent avoir masqué d'éventuelles différences.

Les résultats obtenus dépendent donc de l'agent pathogène considéré. Cependant, la résistance de la lignée sélectionnée est soit améliorée soit inchangée, ce qui est favorable à la sélection pour l'aptitude à grandir et survivre en suivant un régime 100 % végétal.

Cette étude a été financée par l'ANR - Bioadapt : projet 13-ADAP-001-01-Agreenfish

NOUVEAUX MARQUEURS MOLECULAIRES DE L'ADAPTATION A DES ALIMENTS A BASES DE VEGETAUX CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL (*O. MYKISS*)

Callet Thérèse¹², Cluzeaud Marianne¹, Dupont-Nivet Mathilde², Quillet Edwige², Geurden Inge¹, Jaffrezic Florence², Laloe Denis², Skiba Sandrine¹, Médale Françoise¹

¹ UMR Numéa, INRA, UPPA, Quartier Ibarron, 64310, Saint-Pée-sur-Nivelle, France

² UMR GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

La disponibilité limitée des huiles et farines de poissons, ingrédients traditionnellement utilisés dans les aliments aquacoles, a imposé leur remplacement par de nouveaux ingrédients à base de végétaux terrestres. Aujourd'hui, chez la truite arc-en-ciel, 80 % des huiles et farines de poissons peuvent être substituées par des huiles et farines végétales. Les taux de substitution plus élevés induisent différents problèmes, comme une réduction de la croissance et une augmentation de la mortalité. Il existe cependant une très grande variabilité de réponse au sein des populations nourries avec un régime à base de végétaux, suggérant que certains génotypes seraient capables d'utiliser de tels régimes mieux que d'autres.

Un des enjeux majeurs pour poursuivre le développement de l'aquaculture est donc d'améliorer les connaissances sur les mécanismes d'adaptation des poissons aux régimes à base de végétaux.

Pour apporter certains éléments de réponse, trois lignées isogéniques (R23h, AB1h et A22h) de truite ayant des performances de croissance similaires avec un régime traditionnel mais des performances contrastées quand elles sont nourries avec un régime à base de végétaux, ont été testées dans le cadre du projet ANR Agreefish. Ces trois lignées ont été nourries depuis le 1^{er} repas avec un régime à base d'ingrédients marins (Régime M) ou un régime exclusivement à base de végétaux (Régime V) pendant 5 semaines. Des analyses d'expression de gènes, par une méthode de transcriptomique, ont été effectuées sur les alevins entiers pour rechercher de potentiels marqueurs moléculaires de l'adaptation.

Après 5 semaines d'alimentation, conformément à ce qui était attendu, les lignées ont atteint des poids similaires ($0.50\text{g} \pm 0.02$) avec le régime M, et des poids significativement différents avec le régime V ($R23h=0.32\text{g} \pm 0.05$; $AB1h=0.26\text{g} \pm 0.03$; $A22h=0.16\text{g} \pm 0.01$).

Les analyses du transcriptome ont révélé plusieurs groupes de gènes différemment exprimés entre les 3 lignées après 5 semaines d'alimentation avec le régime V. Parmi ces gènes, certains sont liés au métabolisme des acides aminés soufrés, à la perception sensorielle et à l'immunité. Ces résultats nous permettent de faire de nouvelles hypothèses quant aux mécanismes impliqués dans l'utilisation des régimes à base de végétaux. Premièrement, des modifications du métabolisme des acides aminés soufrés pourraient expliquer les différences de croissance observées. Deuxièmement, nous pouvons faire l'hypothèse que l'expression plus faible de gènes liés à la perception chez R23h pourrait contribuer à une prise alimentaire plus élevée (moins d'aversion pour l'aliment V) qui participerait à expliquer sa meilleure croissance par rapport aux deux autres lignées nourries avec ce régime. Enfin, de nombreux gènes liés à l'immunité ont été affectés de façon significativement différente entre lignées. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que ces différences de capacité immunitaire entre lignées pourraient également expliquer les différences de croissances observées avec le régime V.

Ces résultats doivent maintenant être confirmés par des analyses au niveau du foie, de l'intestin et du cerveau après 6 mois d'alimentation. L'expression de certains des gènes identifiés comme marqueurs chez les lignées isogéniques sera aussi étudiée chez une lignée de truites arc-en-ciel sélectionnée pour son aptitude à grandir et survivre avec un régime 100 % végétal.

Cette étude a été financée par l'ANR - Bioadapt : projet 13-ADAP-001-01-Agreefish

LA SÉLECTION GÉNÉTIQUE : UN OUTIL POUR DIMINUER L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE DE LA PISCICULTURE.

Vandeputte Marc ^(1,2), Chatain Béatrice ⁽³⁾, Haffray Pierrick ⁽⁴⁾, Quillet Edwige ⁽¹⁾

¹ INRA, GABI, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, F-78350 Jouy-en-Josas, France

² Ifremer, Chemin de Maguelone, F-34250 Palavas-les-Flots, France

³ Ifremer UMR9190 MARBEC, Chemin de Maguelone, F-34250 Palavas-les-Flots, France

⁴ Sysaaf section aquacole, campus de Beaulieu, F-35000 Rennes, France

Correspondance : Marc Vandeputte (marc.vandeputte@jouy.inra.fr) Tel : 33(4) 67 13 04 07

Mots clés : génétique, sélection, efficience, environnement

Contexte et objectifs

La pisciculture est aujourd'hui le moyen de satisfaire l'augmentation de la demande en poissons au niveau mondial. Cependant, ceci induit une consommation de ressources (énergie, matières premières, espace,...) et des émissions (nutriments, CO₂, antibiotiques,...) qu'il faut minimiser pour assurer un développement sur le long terme. Si la sélection génétique aquacole a d'abord privilégié les caractères de production (croissance), elle peut aussi faire évoluer les caractéristiques des animaux pour améliorer significativement l'efficience des systèmes. Notre objectif est de qualifier et si possible quantifier les approches possibles, afin de proposer des pistes d'évolution des schémas de sélection et de leurs objectifs.

Etat des connaissances et approches possibles

Pour raisonner sur l'efficience environnementale des systèmes, il nous faut d'abord considérer l'objectif poursuivi. L'objectif premier de la production piscicole est de fournir de la chair de poisson pour la consommation humaine. Une efficience maximale doit alors combiner :

- L'augmentation du rendement de filetage (chair comestible/poids du poisson)
- L'amélioration de la survie (résistance aux maladies, robustesse générale)
- L'amélioration de l'efficacité alimentaire (poisson produit / aliment consommé)

Ces différents caractères présentent tous une variabilité génétique sélectionnable, mais sont souvent plus difficiles à mesurer et sélectionner que la simple croissance – des travaux sont en cours pour développer les connaissances et outils nécessaires. Les liens entre ces caractères sont également mal connus et détermineront les rythmes de progrès génétique possible.

Au-delà de cette efficacité quantitative des systèmes, la diminution de l'empreinte écologique intègre également des aspects plus qualitatifs, comme la réduction de l'utilisation des antibiotiques, ou l'utilisation de matières premières alimentaires plus durables et moins en compétition avec l'alimentation humaine. Là aussi, des travaux sont en cours.

Conclusions et perspectives

Aujourd'hui, produire un kilo de filet de bar nécessite au total 5,8 kg d'aliment, contre seulement 1,9 kg pour 1 kg de filet de truite. On peut penser qu'une sélection efficace pourra permettre de réduire significativement cet écart et plus généralement, améliorer l'efficience des filières piscicoles actuelles. L'étape suivante, qui représente un saut conceptuel, sera de raisonner dans le cadre d'une adaptation réciproque animal/système (co-adaptation). Compte tenu de l'efficacité grandissante de la sélection (sélection génomique, remplacement allélique), il pourrait être possible de modéliser des animaux parfaitement adaptés à des systèmes de production innovants, à impact minimal. Cette nouvelle démarche nécessitera une approche pluridisciplinaire et ouverte, à développer.

SELECTION POUR LA THERMOTOLERANCE CHEZ LA TRUITE ARC EN CIEL

Crusot M.¹, Quillet E.¹, Rigaudeau D.², Labbé L.³, Leguen I.⁴, Dupont-Nivet M.¹

¹ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

² IERP, INRA, 78350 Jouy en Josas, France

³ PEIMA, INRA, 29450 Sizun, France

⁴ LPGP, INRA, 35042 Rennes, France

Contexte et objectifs

Le changement climatique impactera l'élevage des salmonidés, en particulier au travers de modifications de la quantité et de la qualité de l'eau. Pour préserver les ressources en eau, les élevages recirculés vont se développer. Dans ce cas, les paramètres de qualité d'eau peuvent être contrôlés mais la régulation de la température est coûteuse. Nous nous sommes donc intéressés à la possibilité de sélectionner des poissons capables de maintenir leurs performances zootechniques pour des températures chaudes ou fluctuantes et/ou de résister à des pics de température

Protocole

Dix lignées isogéniques hétérozygotes sont soumises à deux stress de température. Le premier est un stress chronique appliqué pendant 3 mois avec trois conditions : froid (12°C), chaud (20°C) et variable (de 12 à 20 puis de 20 à 12°C chaque jour). Pour chaque condition, trois réplicats sont constitués avec 60 poissons marqués individuellement de chaque lignée. Durant cette période, la croissance individuelle des poissons est suivie. A l'issue de ce stress chronique, un stress thermique aigu de quelques heures est réalisé en augmentant progressivement la température jusqu'à ce que les poissons perdent l'équilibre (26 à 28 °C). Le temps de résistance individuel de poisson (calculé en somme de degrés subis avant la perte d'équilibre) est étudié.

Résultats et perspectives d'applications

Les trois régimes thermiques n'ont pas eu d'effet sur la survie mais les poids moyens après trois mois d'élevage sont significativement différents : 13.4g à température froide, 9.4g à température chaude et 10.5g à température variable. Des interactions lignée-température significatives sont mises en évidence pour le poids final et le taux de croissance. Ainsi, les lignées à forte croissance à 12°C ne sont pas les mêmes qu'à 20°C ou en régime variable. **Il est donc possible de sélectionner contre la sensibilité à des températures élevées ou fluctuantes en prenant en compte à la fois la performance de croissance absolue des animaux et leur capacité à maintenir leurs performances quelle que soit la température d'élevage.**

En ce qui concerne les stress aigus, une forte variabilité de la résistance entre lignée est constatée. Il existe également une interaction lignée*température d'élevage avant stress aigu: certaines lignées se classent très différemment (passant de résistante à sensible) en fonction du régime thermique antérieur. **Ainsi, il sera potentiellement efficace de sélectionner pour la résistance à des pics de température élevée. Cependant, dans le cadre d'un schéma de sélection où les candidats sont élevés puis sélectionnés dans un milieu d'élevage donné, la réponse des descendants, élevés dans un milieu différent, à un même pic thermique ne sera pas toujours maximale.**

Enfin, la corrélation entre sensibilité au stress chronique et résistance au stress aigu n'est pas significativement différente de zéro. Maintenir une bonne croissance malgré des températures élevées ou fluctuantes et résister à une augmentation soudaine de température sont donc deux caractères génétiquement indépendants. **Ceci compliquera la sélection car il faudra bien réfléchir à l'objectif recherché : sélectionner pour la sensibilité au stress chronique ou la résistance au stress aigu ou combiner les deux mais avec un progrès génétique plus lent.**

En parallèle, deux lignées choisies pour leurs réponses contrastées ont été étudiées de manière approfondie pour leurs caractéristiques physiologiques et comportementales (Colson et al., Leguen et al., JRFP 2016). A terme, la compréhension des mécanismes à l'origine des différences de réponse entre génotypes permettra d'affiner les critères de sélection et d'améliorer son efficacité.

Cette étude a été financée par le méta-programme INRA ACCAF (projet thermotac)

AMELIORATION DE LA PRODUCTION DE CAVIAR D'ESTURGEON PAR SELECTION

Bestin Anastasia¹, Brunel Olivier², Malledant Arnaud³, Benoît Philippe², Guémené Daniel⁴, Chapuis Hervé⁴, Haffray Pierrick¹

¹ SYSAAF, Station LGPG/INRA Campus de Beaulieu, 35042 Rennes

² Sturgeon, Pisciculture du Carillon, 17240 Saint-Fort-sur-Gironde

³ Ecloserie de Guyenne, 5 Chemin des Peupliers, 33660 Saint-Seurin-sur-l'Isle

⁴ SYSAAF, URA Centre INRA Val de Loire, 37380 Nouzilly

Résumé

La production de caviar d'élevage se développe en substitution du caviar d'esturgeons sauvages depuis l'effondrement des populations dans les années quatre-vingt. La production mondiale était estimée à 260 tonnes en 2014 (Bronzi *et al.*, 2014). La production française (essentiellement d'esturgeon sibérien *Acipenser baeri*), était de 21 tonnes en 2007 soit 15% de la production mondiale cette année-là (Agreste, 2011). Elle était estimée à 24 tonnes en 2014. Dans le même temps, la concurrence s'amplifie pour améliorer la productivité et la qualité du caviar, notamment à travers la sélection génétique. Mais développer un tel programme nécessite de savoir si les performances de production sont transmissibles à la descendance (héritabilités h^2), et de connaître les liens génétiques existant entre différents caractères d'intérêt (corrélations génétiques ρ_G). C'était un objectif principal du projet KViAr, financé par FranceAgriMer.

L'analyse porte sur 77 familles d'esturgeon sibérien qui ont été produites sur 3 cohortes en factoriels complets de 7 mères par 5 pères, 9 mères par 3 pères et 5 mères par 3 pères. Les familles ont été mélangées vers 15g de poids moyen, puis élevées en étangs ou en circuits recirculés. 494 femelles des 3 cohortes ont été assignées à leurs parents par empreintes génétiques et leurs performances caractérisées en atelier : poids vif, poids total des gonades, poids total d'œufs, diamètre moyen d'un œuf, couleur et fermeté des œufs. Des caractères ont été calculés : rendement en œufs des gonades et rendement en œufs des femelles. Les héritabilités et corrélations génétiques entre ces caractères ont été estimées par REML avec différents logiciels selon leur nature gaussienne ou qualitative.

Les rendements en œufs (des gonades et des femelles) sont des caractères fortement héritables ($0,45$ à $0,66$) qui sont négativement corrélés ($\rho_G = -0,70$ à $-0,76$) avec la taille de l'œuf ($h^2 = 0,36$ à $0,37$). La couleur de l'œuf ($h^2 = 0,42$ à $0,49$) est indépendante du rendement en œufs des gonades ($\rho_G = 0,00$). De même, le poids total des gonades ($h^2 = 0,24$ à $0,32$) est indépendant de leur rendement en œufs ($\rho_G = 0,05$). Si le poids de l'animal ($h^2 = 0,41$ à $0,50$) est positivement corrélé au poids de gonades ($\rho_G = 0,61$) et au poids d'œufs ($h^2 = 0,31$ à $0,40$; $\rho_G = 0,32$), il est négativement corrélé aux rendements en œufs ($\rho_G = -28$ à $-0,37$).

Ces résultats obtenus dans le cadre de KViAr confortent l'intérêt de l'utilisation des empreintes génétiques et d'une sélection sur apparentés pour estimer les valeurs génétiques de caractères stratégiques pour la filière caviar. D'autres projets seraient à conduire pour développer de nouvelles techniques de mesures non létales afin de prédire la valeur génétique individuelle et augmenter l'efficacité de la sélection génétique selon un schéma combinant sélections massale, généalogique et familiale.

Remerciements à FranceAgriMer pour sa subvention pour le projet KViAr (n° contrat 2014-0827).

UTILISATION D'IMAGERIE ET D'ULTRASONS POUR L'AMELIORATION DU RENDEMENT EN CHAIR PAR SELECTION GENETIQUE DE LA DAURADE

Quatarra Dofungo¹, Bestin Anastasia¹, Haffray Pierrick¹, Enez Florian¹, Cariou Sophie², Bruant Jean-Sébastien², Ventre Frédéric³, Allal François⁴, Vergnet Alain⁴, Vandeputte Marc^{4,5}, Bugeon Jérôme⁶

1 SYSAAF, F-35000, Rennes, France.

2 Ferme Marine du Douhet (FMD), F-17840 La Brée-les-Bains, France

3 Les Poissons du Soleil (LPDS), F-34540 Balaruc-les-Bains, France.

4 Ifremer, F-34250 Palavas-les-Flots, France

5 INRA, GABI, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Jouy en Josas, France

6 INRA, LPGP, F-35042 Rennes, France

Contexte et objectifs

L'amélioration des rendements de découpe (carcasse, filet) est un enjeu important pour améliorer l'efficacité économique et environnementale de la pisciculture. L'utilisation combinée de méthodes d'imagerie numérique et de mesures échographiques peut permettre de prédire les rendements chez la truite (Haffray et al 2013). Une approche similaire a été mise en place sur la daurade (*Sparus aurata*).

Approches utilisées

250 familles ont été produites par FMD. Les descendants ont été élevés jusqu'à 10 g puis transférés dans une pisciculture de LPDS où 1556 poissons ont été abattus à un poids moyen de 251g. Les poissons ont été pesés, mesurés, pris en photo de côté, des mesures échographiques ont été réalisées, puis ils ont été découpés (éviscération, étêtage, filetage). Les coordonnées de 29 points morphologiques ont été saisies sur les photos. Des longueurs, surfaces ainsi que des mesures échographiques ont été utilisés pour prédire les rendements à l'aide de modèles de régression linéaires multiples. Les corrélations génétiques et les héritabilités des rendements de découpe et de leur prédicteurs ont été estimées en utilisant un modèle animal linéaire mixte à partir du pedigree des poissons. Les gains attendus par génération avec la sélection génétique massale individuelle sur les prédicteurs (intensité de 5%) ont été comparés avec ceux attendus après une sélection familiale sur des collatéraux abattus (pression de 30%).

Principaux résultats

Les héritabilités des rendements de découpe sont modérées ($0,35 \pm 0,07$ à $0,40 \pm 0,08$). L'héritabilité des prédicteurs est souvent proche de celle des traits à prédire: $0,31 \pm 0,07$ à $0,33 \pm 0,08$ vs $0,27 \pm 0,07$ pour le rendement en tête, $0,33 \pm 0,08$ à $0,34 \pm 0,08$ vs $0,24 \pm 0,06$ pour le rendement en filet, $0,23 \pm 0,06$ à $0,39 \pm 0,08$ vs $0,54 \pm 0,08$ pour le rendement en carcasse et $0,31$ à $0,34 \pm 0,08$ vs $0,32 \pm 0,08$ pour le rendement en carcasse éviscérée étêtée. Les corrélations génétiques entre les prédicteurs et les rendements sont fortes pour la tête ($0,83 \pm 0,06$ à $0,87 \pm 0,05$) et intermédiaires pour les autres ($0,46 \pm 0,14$ à $0,69 \pm 0,10$). Les gains attendus par sélection sur les prédicteurs (0,55% à 0,82%) sont de 2 à 4 fois supérieurs à ceux attendus par sélection sur des collatéraux abattus. Ceci s'explique par une héritabilité similaire des prédicteurs et des traits prédits, une corrélation génétique intermédiaire à forte, une pression de sélection supérieure autorisée par la sélection individuelle (5 vs 30% en sélection familiale) et un gain de 50% d'efficacité avec une sélection sur les candidats.

Conclusions et perspectives

Il est possible de prédire les rendements de découpe sur daurade vivante et la sélection sur ces prédicteurs permettrait une meilleure efficacité de la sélection comme ce qui a été observé chez la truite.

Remerciements

Ce projet a été financé par la commission européenne, projet FISHBOOST (7^e PCRD, grant No 613611).

QUALITE DE LA CHAIR DES LIGNEES DE TRUITE ARC-EN-CIEL APRES SEPT GENERATIONS DE SELECTION SUR LA TENEUR EN LIPIDES MUSCULAIRES

Lefèvre Florence¹, Bugeon Jérôme¹, Goardon Lionel², Labbé Laurent², Quillet Edwige³

¹ INRA, UR1037 Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes, France

² PEIMA, INRA, 29450 Sizun, France

³ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

Contexte et objectifs:

La teneur en lipides musculaires conditionne la qualité nutritionnelle de la chair des poissons mais également les qualités technologiques (notamment l'aptitude au fumage) et les qualités organoleptiques (en particulier des perceptions texturales comme la jutosité ou la fermeté). Une sélection divergente, basée sur l'évaluation de la teneur en lipides musculaire par la mesure Fat-meter[®], a permis d'obtenir une lignée muscle maigre (M) et une lignée muscle gras (G) (Quillet et al., 2007). Des effets sur la couleur et la texture des filets ont été observés (Lefèvre et al., 2015) dès la 3^{ème} génération de sélection. L'objectif de ce travail était de suivre l'évolution des caractéristiques des produits (crus, cuits et fumés) après 7 générations de sélection divergente et d'affiner ainsi la relation entre teneur en lipides musculaires et qualité des produits.

Approches utilisées

Des truites des lignées M et G ont été évaluées pour différents paramètres de qualité sur le filet cru à l'abattage (t0) et 2 jours *post-mortem* (2j), et sur les filets cuits (micro-onde) et fumés (salage au sel sec et fumage traditionnel). L'adiposité musculaire a été évaluée par la valeur Fat-meter[®] et la teneur en matières sèches du filet (%). La couleur a été mesurée avec un chromamètre (Minolta) et la fermeté par des mesures de résistance mécanique des filets avec un test de pénétrométrie et une mesure de compression-cisaillement (presse de Kramer). La taille des fibres musculaires a également été mesurée en histologie.

Principaux résultats

Les lignées M et G divergent notablement sur leur valeur Fat-meter[®] (5.1 ± 0.8 vs 20.9 ± 4.8 , respectivement) et sur leur teneur en matières sèches musculaires (25.5 ± 1.3 vs 32.3 ± 2.1 , respectivement). Les filets crus des truites M sont moins lumineux et moins jaunes que ceux des truites G. Cette différence de luminosité disparaît après cuisson ou fumaison, alors que la différence de composante jaune persiste. Les filets crus (t0 et 2j) et fumés des M sont plus fermes que ceux des G, mais aucune différence entre les deux lignées n'est mesurée sur la fermeté des filets cuits. Les poissons G ont également un diamètre moyen des fibres du muscle blanc 28% plus élevé que celui des poissons M (60.7 ± 6.4 μm vs 47.5 ± 5.5 μm , respectivement).

Conclusions et perspectives d'application :

Ce travail confirme que la teneur en lipides musculaires affecte la couleur et la texture des filets de truite. Par rapport à la 3^{ème} génération de sélection, l'augmentation de l'écart de teneur en lipides musculaires entre les M et les G s'accompagne d'une différence plus marquée de certains critères de qualité des filets, comme la plus grande résistance mécanique observée chez les M par rapport aux G (+7% en 3^{ème} génération vs +21% en 7^{ème} génération). Cette étude montre également que certaines caractéristiques des filets fumés dépendent de la qualité des filets avant transformation.

Références:

Lefèvre, F., Cardinal, M., Bugeon, J., Labbe, L., Medale, F., Quillet, E., 2015. Selection for muscle fat content and triploidy affect flesh quality in pan-size rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture. 448, 569-577.
Quillet, E., Le Guillou, S., Aubin, J., Labbe, L., Fauconneau, B., Medale, F., 2007. Response of a lean muscle and a fat muscle rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) line on growth, nutrient utilization, body composition and carcass traits when fed two different diets. Aquaculture. 269, 220-231.