

repères dans le paysage alimentaire français

Le programme FilDor : associer sélection génétique et analyse d'impact environnemental des élevages de poissons

Ivonne Acosta-Alba^{1,2}, Joël Aubin^{1,2*}, Sophie Cariou³, Pierrick Haffray⁴, Benjamin Quittet⁴, Marc Vandeputte^{5,6}

¹ Inra, UMR1069 Sol Agro et hydrosystèmes Spatialisation, 35000 Rennes

² Agrocampus Ouest, F-35000 Rennes, France

³ Ferme marine du Douhet, 17840 Brée-les-Bains

⁴ Syndicat des sélectionneurs avicoles et aquacoles français (SYSAAF), campus de Beaulieu, 35000 Rennes

⁵ Inra, UMR1313 Génétique animale et biologie intégrative, 78352 Jouy-en-Josas

⁶ Ifremer, UMR110 Intensification raisonnée et écologique pour une pisciculture durable, 34250 Palavas-les-Flots

À l'échelle mondiale, la pisciculture est le domaine de production animale qui présente la plus forte croissance, de l'ordre de 10% par an (FAO, 2012). Elle répond une hausse de la demande en produits aquatiques que ne peut satisfaire la pêche, dont les débarquements stagnent (encadré 1). Tout comme les autres systèmes de production agricole, la pisciculture vise un mode de développement durable, conciliant le respect de l'environnement, les attentes sociales et économiques des producteurs, des autres acteurs de la filière et des populations locales.

Articuler la notion de développement durable à des décisions opérationnelles continue d'être un défi pour la société et pour la science. Bosshard (2000) décrit la durabilité comme le paradigme contemporain le plus stimulant et le plus vague à la fois. Un système de production plus durable implique de réduire l'impact des émissions polluantes et d'accroître l'efficacité de l'utilisation de ressources afin qu'il soit supporté à long terme par l'environnement naturel (Payraudeau et Van der Werf, 2005).

Dans le contexte actuel, l'expansion de la pisciculture est confrontée à trois enjeux forts : l'occupation d'écosystèmes aquatiques, l'utilisation de ressources pour l'alimentation des poissons et la maîtrise de la production (coûts et qualité du produit). Chacun pose des problèmes bien particuliers. Par exemple, l'effet local sur les écosystèmes varie avec l'implantation des piscicultures et les effets des rejets engendrés par la production sur des milieux sensibles et parfois remarquables. L'alimentation des élevages ne peut se passer des

farines et huiles de poisson ce qui ponctionne des ressources halieutiques limitées. Par ailleurs, la part d'origine végétale de l'alimentation (tourteaux et huiles) est également utilisée par d'autres filières d'élevage et n'est pas forcément produite dans des conditions durables. L'amélioration de l'efficacité de l'élevage aquacole et de la qualité des produits doit répondre à la fois aux objectifs des producteurs (optimisation de l'outil de production), aux demandes de qualité des consommateurs telles que les professionnels les perçoivent, aux impératifs environnementaux et de conditions d'élevage des animaux.

Actuellement, les travaux scientifiques menés en appui du développement de la pisciculture se sont orientés selon trois volets et chacun se décompose en plusieurs pistes d'amélioration technique (fig. 1).

Encadré 1. Quelques chiffres de consommation de poissons d'élevage

La consommation de poisson d'élevage augmente de façon significative dans le monde. D'après les données de la FAO, la production aquacole destinée à la consommation humaine a atteint un record historique de 60 millions de tonnes. En Europe, les produits aquacoles représentent 25% du volume total des produits aquatiques consommés (13 millions de tonnes en poids vif). La production de daurade en Méditerranée a atteint en 2008 un volume de 120 000 tonnes. La consommation de daurade en France représente environ 10 000 t dont 90 proviennent de l'aquaculture (données FAO, 2012 et FranceAgrimer, 2011b).

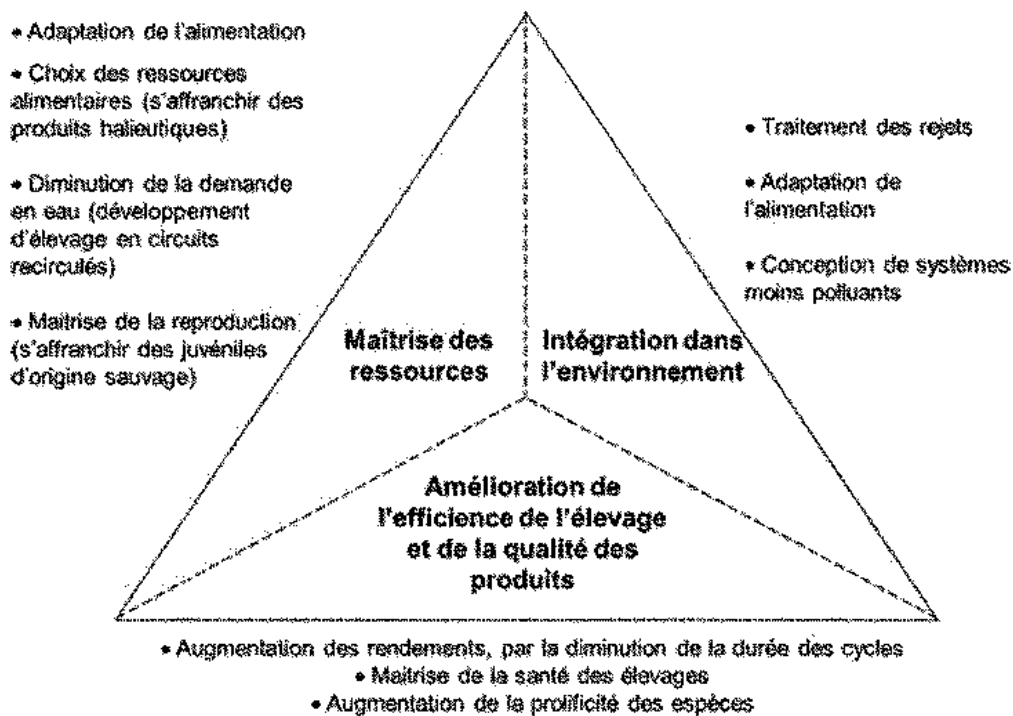


Figure 1. Les trois principaux enjeux des systèmes de production piscicole et les pistes d'amélioration explorées par la recherche scientifique.

La complexité de ces systèmes de production et l'interdépendance des phénomènes à l'œuvre rendent difficile la compréhension des effets des changements techniques (fig. 1). L'analyse de l'efficacité des innovations au sein de ces systèmes est nécessairement pluridisciplinaire. Diminuer la durée du cycle de production, accroître la taille des animaux commercialisés, augmenter les rendements en chair consommable ou améliorer le taux de survie par la résistance à certains pathogènes, ont des impacts directs et indirects sur l'efficacité technique et économique du système de production. La génétique gouverne certains caractères des poissons dont l'expression participe à ces attentes. La sélection génétique est donc mobilisée pour améliorer la croissance et le rendement des productions tout en réduisant les coûts, ainsi que pour produire des poissons répondant mieux à certaines exigences des consommateurs.

Dans une telle perspective, la sélection génétique peut en outre être mobilisée précisément dans la perspective de la réduction des impacts environnementaux. C'est dans cette optique que s'est mis en place le programme FilDor [Bases génétiques et écologiques pour l'amélioration de la qualité de la daurade royale d'élevage (*Sparus aurata*) en Méditerranée].

Intégrer le progrès génétique potentiel dans une analyse environnementale

Détermination des paramètres génétiques : expérimentation et modélisation

Deux caractères ont été retenus pour la sélection génétique : le poids à l'abattage, considéré comme représentatif de la vitesse de croissance classique en sélection animale et le rendement en filets, encore très peu sélectionné en pisciculture. Le lot expérimental permettant d'étudier cette stratégie de sélection a été construit à la ferme marine du Douhet (Oléron, France) fin 2009.

Nous avons pu estimer l'héritabilité du poids et celle du rendement en filets (les résultats obtenus sont supérieurs à ceux rapportés par Navarro *et al.* en 2009 sur la même espèce). La corrélation génétique entre les deux caractères est moyenne (encadré 2). L'impact de la sélection sur l'un ou l'autre de ces deux caractères dans une population de daurades après 5 générations de sélection a été simulé.

Encadré 2. Quelques éléments sur la sélection

Héritabilité : c'est une donnée statistique comprise entre 0 et 1, qui évalue la part des facteurs génétiques dans la probabilité de voir apparaître un trait phénotypique au sein d'une population donnée. Elle permet de mesurer les contributions relatives des différences génétiques et des différences dues à l'environnement dans la variation phénotypique totale des individus. Chez l'animal, une héritabilité supérieure à 0,4 permet d'envisager de sélectionner les individus performants, ou leur ascendance sur ce trait. Elle dépend de la pression de sélection. Corrélation génétique : c'est la corrélation entre les valeurs de deux caractères dans une population. Elle prend des valeurs comprises entre +1 et -1 ; 0 indique qu'il y a indépendance : la sélection de l'un n'affecte pas la valeur additive pour l'autre en moyenne. Cette corrélation n'a pas été exploitée dans le cadre des résultats exposés ici.

Analyse environnementale

En vue de comparer les différences d'impact environnemental des sélections génétiques, nous avons fait appel à l'analyse environnementale. Parmi les méthodologies, l'analyse de cycle de vie (ACV) s'impose dans le paysage de l'évaluation environnementale par sa nature quantitative et globale. Cette approche permet d'intégrer les nombreux éléments du fonctionnement de l'exploitation. L'ACV met en évidence les conséquences environnementales des changements de modes de production, en intégrant toutes les opérations, à l'amont du site, telles que la production d'aliments pour les poissons, comme à l'aval (commercialisation, consommation des produits).

L'ACV est une méthode normalisée décrite dans la norme ISO 14044 (ISO 2006 a,b) qui comporte quatre phases essentielles : la définition des objectifs de l'ACV (comparaison, bilan) et du champ d'analyse qui en découle (périmètre, unité fonctionnelle, limites du système), la conduite d'un inventaire des émissions et des consommations de ressources, le calcul d'indicateurs d'impacts environnementaux et une interprétation des résultats. Son application aux systèmes agricoles et alimentaires est en évolution, tant sur l'analyse des systèmes, que sur les méthodologies de mise en évidence des impacts environnementaux ou encore pour les associer à des analyses de durabilité du cycle de vie intégrant des critères économiques et sociaux.

Dans le domaine des produits de la pêche et de l'aquaculture l'ACV est maintenant utilisée avec des développements spécifiques. Les catégories d'impacts comprennent par exemple l'uti-

lisation de la production primaire, la dégradation du benthos lors du chalutage ou des calculs spécifiques d'émissions polluantes en aquaculture (Aubin, 2013 ; Henriksson *et al.*, 2011). Certains éléments méthodologiques retenus pour ce travail sont issus de ces études (Aubin *et al.*, 2009 ; Bois-sy *et al.*, 2011 ; Papatryphon *et al.*, 2004).

Définition du système étudié : de la production des intrants jusqu'à la mise en déchets

Dans la plupart des ACV effectuées en élevage, l'objectif est d'évaluer les impacts liés à la production d'un poisson commercialisable, toutes choses égales par ailleurs. Le système analysé commence donc à l'extraction et à la production des matières premières (production des ressources énergétiques, des matériaux de construction, des ingrédients de l'alimentation, etc.) et s'arrête à la porte de l'exploitation agricole. Dans les comparaisons de systèmes de production, l'étape de consommation n'est pas étudiée (Nemecek *et al.*, 2011 ; Thomassen *et al.*, 2008 ; van der Werf *et al.*, 2009). Dans le cas de ce projet, nous avons posé l'hypothèse que la sélection génétique pouvait influencer l'ensemble de la filière jusqu'à la consommation. Ainsi, le système étudié intègre la commercialisation, la consommation et la mise en déchet (fig. 2). Par contre, la phase de sélection des géniteurs n'est pas intégrée dans l'analyse environnementale.

L'unité de référence retenue pour les calculs d'impact ou unité fonctionnelle dans le vocabulaire de l'ACV, est la production et la consommation de 250g de filets issus d'une daurade de 450g environ achetée, puis consommée chez un particulier, soit une portion pour deux consommateurs¹. C'est le client final qui va séparer le filet et les parties non consommables du poisson (tête, nageoires, peau, arrêtes et viscères, environ 45% du poids vif). Compte tenu de ce choix, l'amélioration du rendement de filetage se traduira essentiellement comme une baisse des déchets à la consommation.

Dans les fermes étudiées, l'élevage des daurades est réalisé en cage marine. Pour les données, nous nous sommes fondés sur un modèle de système de production en Méditerranée, basé sur la description de fermes existantes (réalisée dans le cadre de cette étude) et sur la littérature (Aubin *et al.*, 2009). Les alevins arrivent sur le site de production à 5g. Le grossissement dure 24 mois pour

1. Il faudrait ultérieurement réexaminer l'unité fonctionnelle en vérifiant si les réactions du marché conduisent à vendre des poissons identiques à filets plus gros ou des poissons plus petits à filets de taille identique.

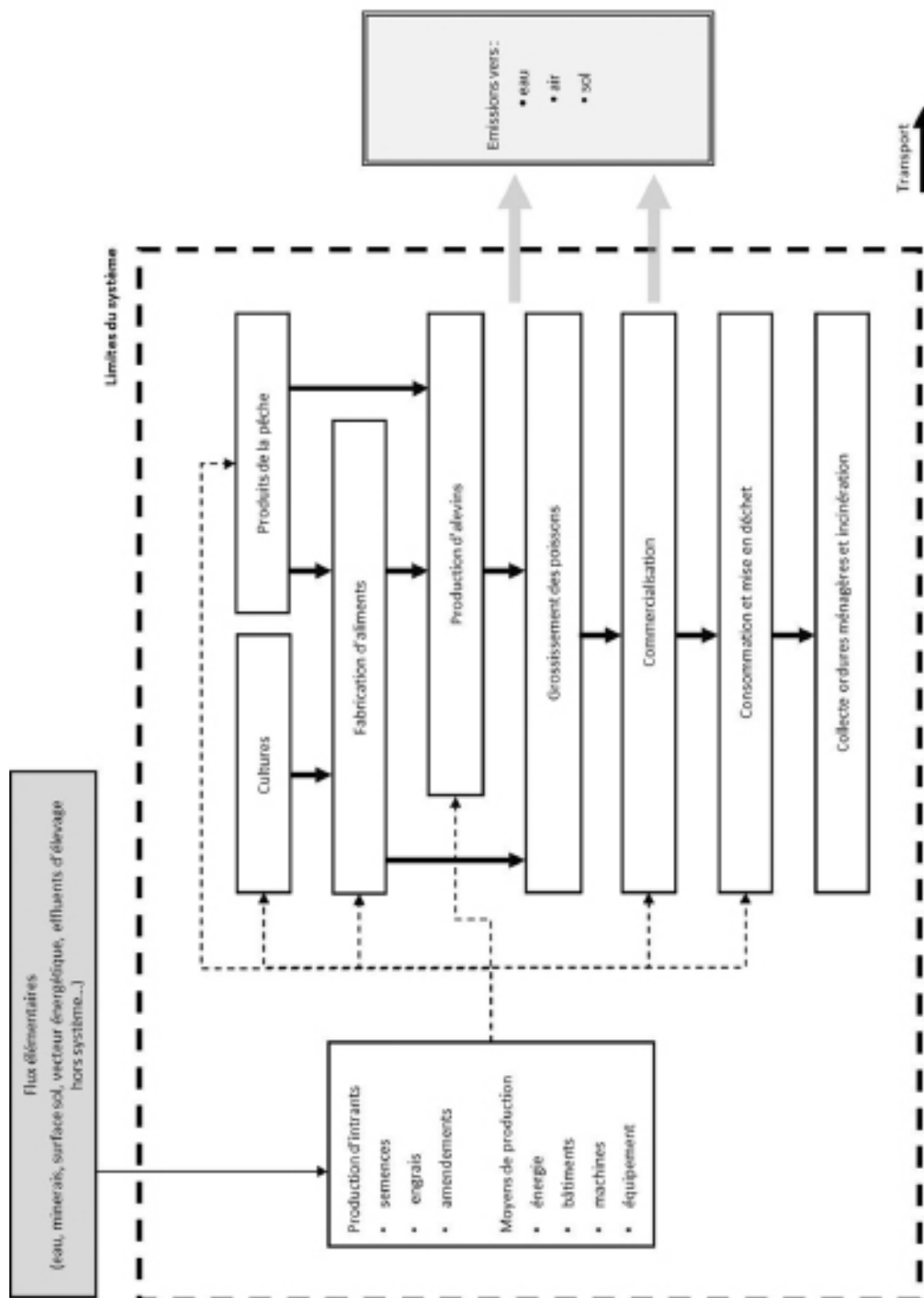


Figure 2. Représentation des flux et limites du système de production, commercialisation et consommation de daurades.

atteindre 450 g. Ils sont nourris avec des aliments formulés, composés d'une part importante de farine et huile de poisson. L'expédition des daurades se fait après calibrage des poissons conservés dans la glace, en fonction des commandes.

Le temps, le type de transport et de stockage pris en compte sont représentatifs d'un des principaux bassins de consommation de la daurade en France : l'Île-de-France (FranceAgriMer, 2011a, b ; Grange et Vincelet, 2008). Le fonctionnement et l'approvisionnement des intermédiaires ont été modélisés d'après des chaînes logistiques décrites pour les produits frais en Île-de-France (Bio Intelligence Service et ADEME, 2007 ; Rizet et Keïta, 2005 ; UNTF, 2009).

Le consommateur a été modélisé sur la base des données de Bio Intelligence Service et ADEME (2007) et de Grange et Vincelet (2008). L'achat d'une daurade a été couplé à l'achat d'un panier moyen (environ 30 kg). Deux modes de cuisson ont été modélisés : les plaques de cuisson électrique et le four.

Les déchets pour 250 g de chair consommée ont été calculés grâce aux modèles d'évolution des rendements par la sélection, pour chacun des hypothèses de sélection, et par des mesures sur les lots de poissons étudiés (encadré 3). Les déchets ont été considérés comme incinérés comme la majorité des déchets ménagers (à partir de ORDIF, 2010).

Dans cette étude, cinq hypothèses de sélection ont été choisies. Dans la première, la daurade est produite dans les conditions de production utilisées aujourd'hui, sans sélection particulière ou standard (SS). Dans les autres, deux pressions de sélection ont été retenues pour le poids à la commercialisation (SP) – ce qui traduit la vitesse de croissance – et le rendement en filets (SF).

Pour le poids, il est possible de mener la sélection directement sur les individus mesurés alors

Encadré 3. FilDor : un travail en collaboration avec les acteurs de la filière

Une des composantes importantes du programme FilDor a été la collaboration active des chercheurs avec des acteurs de la filière, laquelle a permis de faire une analyse et une représentation réaliste du système de production. Des producteurs d'alevins, le Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français (SYSAAF) et des producteurs de daurade ont fait partie du projet. Les fabricants d'aliments ont fourni les données nécessaires pour retracer le type et l'origine des matières premières utilisées dans la fabrication des granulés.

que pour le rendement en filets, il faut se baser sur les performances de collatéraux abattus (frères sœurs généralement) ce qui donne une pression de sélection moins élevée. Les gains dus aux corrélations entre les deux caractères n'ont ici pas été modélisés.

Des modélisations de la croissance d'un cycle de production de daurades de 450 g (taille commercialisée) ont été utilisées pour les 5 hypothèses de sélection ce qui donne 5 scénarios d'élevage. La quantité de déchets (tête, peau, viscères, arrêtes) a été calculée pour chaque scénario à partir de données réelles collectées lors de l'abattage du lot expérimental et diffère donc pour les scénarios de sélection sur le rendement en filets (SF) pour lesquels le ratio de déchets moyen a été estimé grâce aux équations classiques de prédiction du gain génétique (Falconer et McKay, 1996).

Des profils environnementaux différents selon les scénarios

Les principales différences entre les scénarios sont la durée du cycle de production, le rendement en chair consommée et la quantité de déchets (tabl. 1).

Tableau 1. Description des résultats des modélisations sur la durée du cycle de production d'une daurade de 450 g et le pourcentage des déchets.

Scénarios	Description de la sélection	Pression de sélection	Durée du cycle de production (j)	Déchets (%)
Standard (SS)	Production actuelle		423	43
Croissance 1 (SC1)	Sélection sur la croissance	3%	304	43
Croissance 2 (SC2)	Sélection sur la croissance	10%	321	43
Filet 1 (SF1)	Sélection sur le rendement en filets	10%	366	29
Filet 2 (SF2)	Sélection sur le rendement en filets	20%	372	36

Des scénarios comparatifs

Les catégories d'impacts environnementaux potentiels ont été choisies à partir de la littérature sur les ACV des produits aquacoles. Cinq catégories d'impact sont présentées ici. D'abord, l'acidification des sols et des eaux due à l'émission de molécules acidifiantes dans l'air, les sols ou les eaux. Ensuite, l'eutrophisation ou les impacts sur les écosystèmes aquatiques et terrestres dus à un enrichissement en azote et phosphore. Le changement climatique qui évalue la production de gaz à effet de serre et leur pouvoir de réchauffement à une échéance de cent ans. L'utilisation d'énergie regroupe l'ensemble des ressources énergétiques consommées. L'utilisation de surface représente l'ensemble des surfaces terrestres qui ont été nécessaires à la production du poisson et des intrants. Finalement, l'utilisation de production primaire nette représente le niveau trophique de l'élevage par la consommation de carbone issu de la production primaire (photosynthèse des végétaux).

Les contributions des différentes étapes – élevage, commercialisation, consommation et mise en déchets – aux impacts environnementaux potentiels du scénario standard sont représentées dans la figure 3.

L'élevage représente entre 79 et 100% des impacts. La commercialisation, la consommation et la mise en déchets comptent pour moins de 5%, sauf pour l'énergie utilisée et le changement climatique. Dans la consommation, la cuisson mobilise près de 18% de l'énergie totale utilisée. Lors de la mise en déchets, l'incinération est responsable de plus de 12% des émissions des gaz à effet de serre.

Les différences d'impacts environnementaux entre les scénarios d'amélioration de la vitesse de croissance (SC1 et SC2) et le scénario témoin (SS) sont limitées (fig. 4). Le facteur de transformation alimentaire n'étant pas, par hypothèse, modifié par la sélection, le niveau des impacts associés reste le même quelle que soit la vitesse de croissance. C'est la durée d'élevage qui en limitant l'utilisation du matériel (facteurs fixes) et du carburant (pour les bateaux), baisse les impacts. La comparaison entre le scénario de production standard (SS) et les scénarios avec une hypothèse de sélection sur le rendement en filets (SF) montre leur avantage potentiel pour diminuer les impacts environnementaux (fig. 4) : cela peut atteindre 19% (SF2) à 24% (SF1), selon les impacts, essentiellement du fait de la diminution des déchets lors de la préparation par poisson, notamment par les impacts liés à leur incinération (changement climatique).

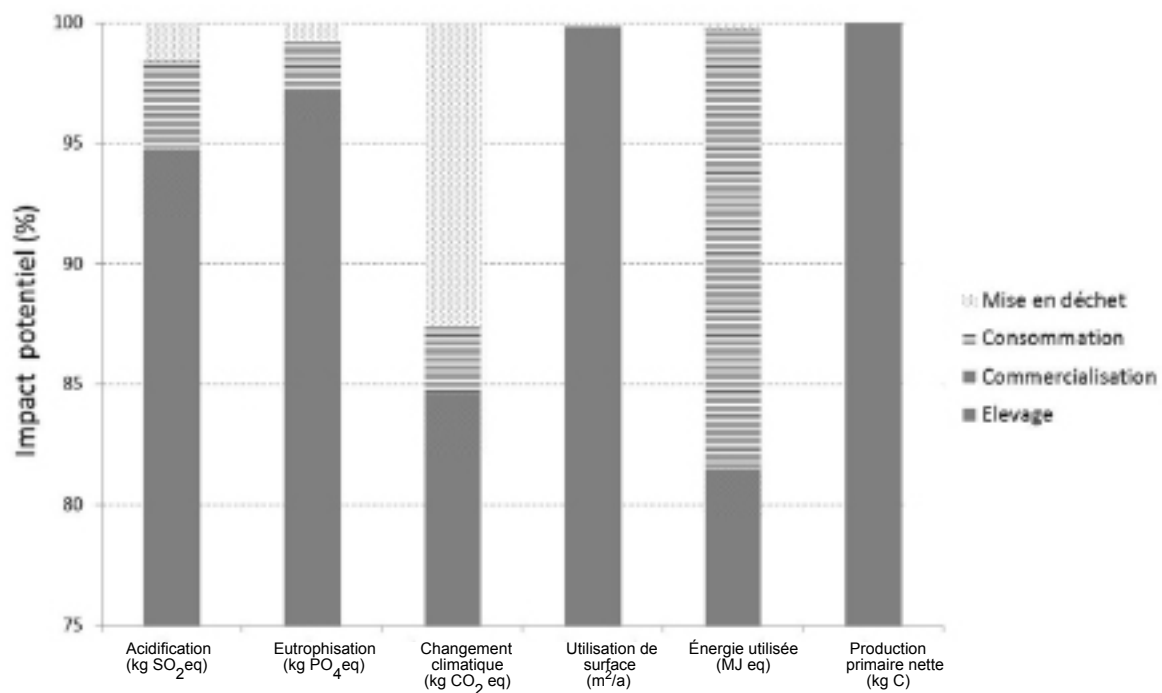


Figure 3. Impacts potentiels associés à 250 g de chair de daurade consommée en Île-de-France pour le scénario de production standard.

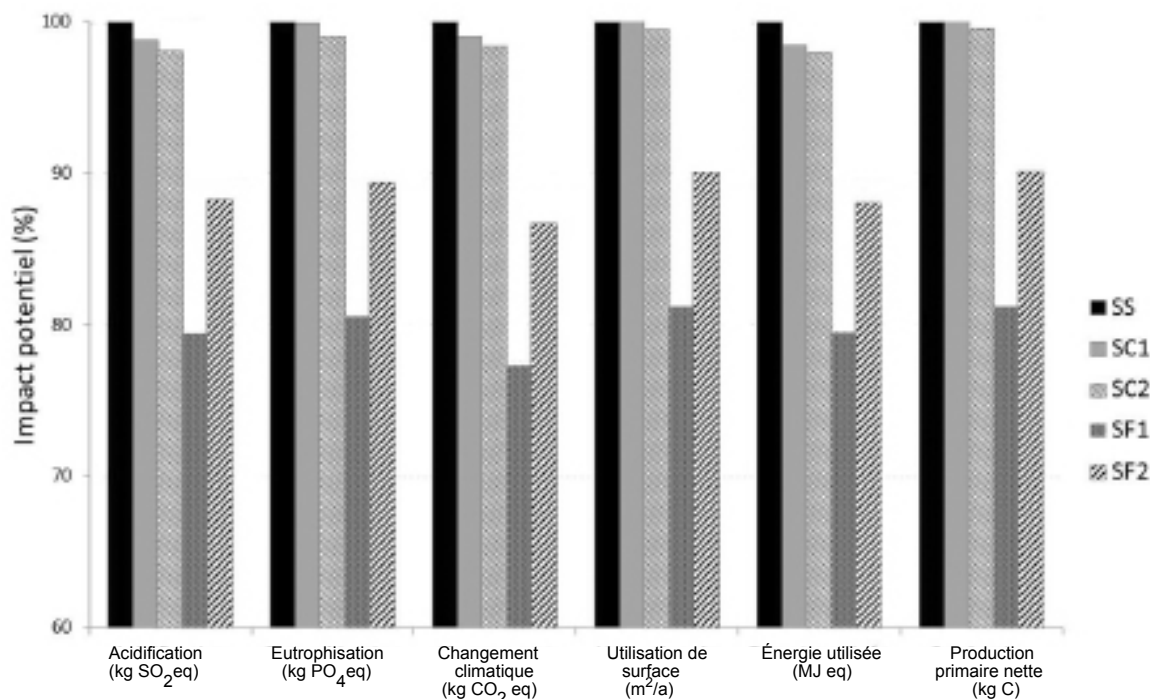


Figure 4. Impacts potentiels des 5 scénarios de sélection génétique pour 250 g de chair de daurade consommée en Île-de-France.

Cependant, la sélection modélisée ici est approximative car elle repose sur l'évaluation du rendement en filets de chacun des géniteurs ce qui est impossible (il faudrait les abattre avant la reproduction). Sans méthodes efficaces de prédiction individuelle de ce rendement sur l'animal vivant, les gains attendus sont potentiellement différents des gains réels car les références sont réalisées sur collatéraux (frères-sœurs). Ce travail montre néanmoins l'intérêt environnemental de la sélection sur le rendement en filets qui est toujours favorable par rapport au scénario standard.

Dans ce système d'élevage marin en cage, qui requiert peu de moyens techniques et peu d'énergie, l'aliment et son utilisation sont déterminants pour le niveau des impacts environnementaux de la phase de production. Une amélioration de la vitesse de croissance sans changement de l'indice de conversion alimentaire, n'augmentera pas beaucoup les performances environnementales du produit. Une augmentation du rendement en filets induira de façon proportionnelle une réduction des déchets associés à la consommation et/ou de la transformation, et améliore le bilan global. Une conséquence additionnelle serait aussi la diminution de la taille du poisson vendu pour obtenir

la même quantité de chair par poisson, et ainsi la durée d'élevage.

Perspectives

Le projet FilDor a cherché à intégrer plusieurs niveaux d'analyse. Il a permis d'évaluer quantitativement une innovation et ses avantages, tout en cherchant à augmenter l'efficacité technique et économique de l'élevage. Il a été possible d'intégrer à l'analyse environnementale les impacts induits hors exploitation, lors des étapes de commercialisation et de consommation de la daurade.

L'évaluation de l'impact environnemental de l'amélioration génétique des cheptels n'a jusqu'à présent été initiée que chez la vache laitière aux Etats-Unis (Capper *et al.*, 2009). Ce premier exercice en aquaculture illustre ce qui peut être attendu en termes d'évolution des impacts. Les modifications de certaines caractéristiques du poisson, en particulier la vitesse de croissance, mais surtout des éléments morphologiques, peuvent induire de véritables évolutions de systèmes et des objectifs de production. C'est aussi potentiellement le cas durant la phase d'éclosion



non modélisée ici (vitesse de rotation des lots et gestion des géniteurs). La prise en compte des corrélations génétiques entre la croissance, le rendement au filetage et les déchets et/ou l'intégration d'une sélection visant l'amélioration de la survie (résistance à une maladie par exemple) sont des pistes à explorer.

L'analyse environnementale par ACV apporte un autre éclairage sur l'intérêt d'objectifs de sélection couramment proposés. Le rendement en filets n'est pour le moment pas un objectif de sélection génétique pour la daurade du fait que ce poisson est vendu entier (ou éviscéré), ni un élément de l'attente du consommateur. Mais le bilan environnemental semble être sensible à ce facteur.

Le choix du poisson acheté en fonction de la quantité de chair consommable pourrait-il devenir un facteur de différenciation de gammes ? La tendance actuelle, qui est de proposer des filets de poisson découpés prêts à cuire, pourrait-elle accroître l'intérêt de mettre en place une sélection sur le rendement en filets ?

De même, la gestion des déchets dans une filière de poisson de découpe où il est possible de recycler des coproduits est différente de celle de la vente d'un poisson de consommation où les déchets de découpe sont des déchets finaux. On voit que ces différentes filières et demandes de l'aval sont susceptibles de réinterroger les objectifs de sélection et la performance environnementale des élevages.

Ce premier travail de recherche ouvre des perspectives qui se poursuivent actuellement. L'introduction de performances environnementales à l'échelle systémique comme de critères de sélection génétique à l'échelle des animaux reste un challenge conceptuel et méthodologique ■

Remerciements

Cet article a bénéficié des commentaires détaillés de Jean-Luc Pujol et Barbara Redlingshöfer à qui nous sommes très reconnaissants. Nous saluons le travail de l'équipe du *Courrier de l'environnement de l'Inra*.

Références bibliographiques

- Aubin J., 2013. *Life Cycle Analysis as applied to environmental choices regarding farmed or wildcaught fish*, CAB Reviews. CAB International.
- Aubin J., Papatryphon E., van der Werf H.M.G., Chatzifotis S., 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 17, 354-361.
- Bio Intelligence Service et ADEME, 2007. Impact environnemental du transport de fruits et légumes importés et consommés en France métropolitaine, http://www.inrets.fr/fileadmin/ur/dest/PDF/Journee_Supply-Chain/Cruypenninck.pdf
- Boissy J., Aubin J., Drissi A., van der Werf H.M.G., Bell G.J., Kaushik S.J., 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture*, 321, 61-70.
- Bosshard A., 2000. A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspectives for rural planning. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77, 1-2, 29-41.
- Capper J.L., Cady R.A., Bauman D.E., 2009. The environmental impact of dairy production : 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, 87(6), 2160-2167.
- Falconer, D.S., Mackay T.F.C., 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Longman, Harlow, England, 455 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*. Rome, Italie.
- FranceAgriMer, 2011a. La commercialisation et la consommation des produits aquacoles. Focus sur le bar et la daurade royale. FranceAgriMer, France, <http://www.franceagrimer.fr/content/download/6326/34216/file/conso-dec2010.pdf>
- FranceAgriMer, 2011b. *Données statistiques. Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture*, France.
- Grange D., Vincelet C., 2008. *Comportements d'achats alimentaires en Île-de-France*. Observatoire régional de la santé d'Île-de-France, Paris.
- Henriksson P.J.G., Guinée J.B., Kleijn R., Snoo G.R., 2011. Life cycle assessment of aquaculture systems – a review of methodologies. *The international Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 304-313.
- ISO, 2006a. *Environmental management – Life Cycle Assessment. Principles and framework* (ISO 14040:2006). European Committee for Standardization, Brussels, 20 p.
- ISO, 2006b. *Environmental management – Life Cycle Assessment. Requirements and guidelines* (ISO 14044:2006). European Committee for Standardization, Brussels, 20 p.
- Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., 2005. *Analyse du cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan. Gérer l'environnement*. Presses polytechniques universitaires romandes. Lausanne, Suisse.
- Kovac M., Groeneveld E., 2003. *VCE-5 User's Guide and Reference Manual Version 5.1*. Institute of Animal Science, Federal Agricultural Research Center, Mariensee, Germany, 68 p.
- Launey S., Krieg F., Haffray P., Bruant J.S., Vannier A., Guyomard R., 2003. Twelve new microsatellite markers for gilthead seabream (*Sparus aurata* L.): characterisation, polymorphism and linkage. *Molecular Ecology Notes*, 3, 3, 457.
- Navarro A., Badilla R., Zamorano M.J., Pasamontes V., Hildebrandt S., Sánchez J.J., Afonso J.M., 2008. Development of two new microsatellite multiplex PCRs for three sparid species: gilthead seabream (*Sparus aurata* L.), red porgy (*Pagrus pagrus* L.) and redbanded seabream (*P. auriga*, Valenciennes, 1843) and their applications to paternity studies. *Aquaculture*, 285, 30-37.
- Navarro A., Zamorano M.J., Hildebrandt S., Ginés R., Aguilera C., Afonso J.M., 2009. Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth and carcass traits in gilthead seabream (*Sparus auratus* L.) under industrial conditions. *Aquaculture*, 289, 225-230.
- Nemecek T., Dubois D., Huguenin-Elie O., Gaillard G., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104 (3), 217-232.
- Observatoire régional des déchets d'Île-de-France, ORDIF, 2010. Données sur les déchets franciliens. Déchets ménagers. ORDIF, Paris, <http://www.ordif.com/public/fiche/dechets-menagers.html?rub=14308&id=13447>.
- Papatryphon E., Petit J., Kaushik S.J., van der Werf H.M.G., 2004. Environmental impact assessment of salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA). *Ambio*, 33, 316-323.
- Payraudeau S., van der Werf H.M.G., 2005. Environmental impact assessment for a farming region : a review of methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107(1), 1-19.
- Rizet C., Keïta B., 2005. Chaînes logistiques de consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean. IFSTTAR (ex-INRETS) et ADEME, June 2005, Bron, France, http://www.inrets.fr/fileadmin/ur/dest/PDF/Journee_Supply-Chain/Rapport-INRETS-Supply_chain_Energie-juin-05.pdf.
- Thomassen M.A., van Calker K.J., Smits M.C.J., Iepema G.L., de Boer I.J.M., 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems*, 96 (1-3), 95-107.
- Union nationale du transport frigorifique (UNTF), 2009. Le transport frigorifique et la logistique des produits frais. Faits, chiffres, idées reçues. Union nationale du transport frigorifique, http://www.untf.fr/fileadmin/documents/Dossier_Grand_Public_du_transport_frigorifique_V1.pdf.
- van der Werf H.M.G., Kanyarushoki C., Corson M.S., 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 90 (11), 3643-3652.

