

Université de La Rochelle
Pôle Sciences et Technologie

Bilan des Activités et Projet de Recherche

Mémoire présenté par Marie-Laure Bégout
En vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches

ÉCOLOGIE COMPORTEMENTALE DES POISSONS :
LA RELATION POISSON-ENVIRONNEMENT DANS LE FONCTIONNEMENT DES POPULATIONS

Présentée le 29 septembre 2010

Composition du jury :

Pr. Rachid Amara, rapporteur
Pr. Paco Bustamante, rapporteur
Dr. Béatrice Chatain
Dr. Philippe Gaudin, rapporteur
Pr. Pierre Miramand
Dr. Patrick Prunet

Sommaire

1	<i>Curriculum vitae</i>	4
1.1	Etat Civil.....	4
1.2	Cursus universitaire et professionnel.....	4
1.3	Activités de recherche.....	5
2	Avant propos	6
3	Activités de recherche	7
3.1	Problématique générale.....	7
3.2	Indicateurs comportementaux et bases biologiques du bien-être et de la santé.	11
3.2.1	Première analyse du comportement natatoire en pisciculture.	12
3.2.2	WEALTH : Effets de la densité sur le comportement natatoire chez le bar	14
3.2.3	ETHIQUAL : Comportement alimentaire, prise de risque et cognition chez le bar.....	15
3.2.4	FASTFISH : Indicateurs de stress chez le bar	24
3.2.5	Perspectives.....	29
3.3	Dynamique spatiale, conséquences sur l'étendue de l'habitat.	33
3.3.1	Approche in situ des interactions Pêche-Conchyliculture.....	35
3.3.2	Approche expérimentale des interactions Pêche-Conchyliculture	37
3.3.3	Un facteur biotique lié aux interactions Pêche-Conchyliculture : le parasitisme	38
3.3.4	Marqueurs naturels de l'utilisation de l'espace	42
3.3.5	Perspectives.....	47
3.4	Réponses comportementales des poissons exposés aux polluants.....	48
3.4.1	SOLEBEMOL : Devenir et des Effets des contaminants organiques sur la sole	49
3.4.2	ConPhyPOP : Contamination et Physiologie des Poissons exposés aux Polluants.....	53
3.5	Conclusion générale	55
3.6	Références citées.....	56
4	Programmes de recherche et responsabilités.....	61
5	Collaborations au niveau national et international.....	63
6	Activités d'enseignements- participation à des jurys.....	64
7	Encadrement d'étudiants	64
8	Publications scientifiques et valorisation	68

Remerciements

Je tiens à remercier vivement Béatrice Chatain, Rachid Amara, Paco Bustamante, Philippe Gaudin, Patrick Prunet et Pierre Miramand pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury d'Habilitation à Diriger des Recherches.

Mes remerciements vont aussi à tous les collègues de la station de L'Houmeau pour leur contribution et le soutien initial et permanent qu'ils m'ont apporté afin de réaliser toutes les études que j'ai menées. Je ne peux pas tous les citer, mais je tiens à mentionner Françoise et Jean Paul Lagardère qui m'ont transmis la 'Recherche passionnément' ; Béatrice Chatain, Denis Couès, Cédric Bacher, Jean-Pierre Baud, Philippe Gouletquer, Alain Herbland, Véronique Loizeau, Jean Prou qui, chacun dans leur domaine, m'ont aidé à mettre en place collaborations et recherches.

Pour leur énergie, leur investissement et leur confiance, je remercie Eric Durieux et Sandie Millot, mes premiers doctorants pour tous les travaux achevés et les collaborations en cours.

Du côté des essentiels du quotidien, un grand merci à Didier Leguay, Michel Prineau, Philippe Pineau et Nicolas Lachaussée pour le développement des outils et plateformes expérimentales et à Bénédicte Charrier, Annick Guilpain, Evelyne Travers et Joëlle Fricoire pour les innombrables dossiers administratifs.

Je dois également une grande partie de ces travaux aux nombreux collègues d'autres laboratoires français et étrangers avec qui j'ai collaboré tout au long de ces années, et aussi, pour une part essentielle à tous les étudiants que j'ai encadrés.

Enfin, je n'oublie pas mes amies, ma famille, Xavier et nos enfants : Louisa, Alan, Clémentine, Magali et Guilhem qui me soutiennent en toutes circonstances.

1 Curriculum vitae

1.1 Etat Civil

Nom et Prénom : Bégout Marie-Laure
Née le 4 juillet 1968 à Périgueux
Nationalité française

Profession : Cadre de Recherche Ifremer, C2A
Date de recrutement : 1^{er} mars 2002.

Adresse professionnelle : Laboratoire Ressources Halieutiques de La Rochelle
Place Gaby Coll, B.P. 7
17137 L'Houmeau
Tél. : 05 46 50 94 40 / direct : 05 46 50 06 08
Fax : 05 46 50 06 00
E-mail : Marie.Laure.Begout@ifremer.fr

1.2 Coursus universitaire et professionnel

1988 DEUG B – Science de la vie, U.E.R. de Bordeaux I
1989 Licence de Sciences Naturelles, U.E.R. de Bordeaux I
1990 Maîtrise d'océanographie, U.E.R. de Bordeaux I, mention Bien.
1991 D.E.A d'océanographie, Centre Océanographique, Aix-Marseille II, mention Bien.
1991-1994 Allocataire de Recherche, Bourse Ifremer-Poitou-Charentes.
1995 Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II, section Océanographie Biologique,
mention Très Honorable soutenue le 4 février 1995.

Thèse de Doctorat (1995)

Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur le comportement du bar,
Dicentrarchus labrax (L.) évoluant en marais maritimes aménagés.

Directeur de thèse : Dr. Jean Paul LAGARDERE, CNRS DR2, CREMA L'HOUMEAU.

SEJOURS POST DOCTORAUX (1995-1998)

- Institut des Eaux Douces, Ministère des Pêches et Océans, Winnipeg, Canada.
Resp. : E. Scherer, R. McNicol, R.A. Bodaly, E.C. Gyselman.
Financement : Ministère des Affaires Etrangères et Institut des Eaux Douces.
 1. Ecotoxicologie : Effet du Cd sur l'orientation des corégones dans un gradient lumineux.
 2. Effet du marquage externe sur le comportement natatoire des corégones adultes.
 3. Analyse des choix d'habitat des corégones au moment du frai, campagnes 1995 et 1996.
 4. Etude de la migration estivale des ombles chevaliers en milieu océanique ouvert, campagne 1996.

- Université du Manitoba, Département de Zoologie, Winnipeg, Canada.
Resp. : Pr. T.A. Dick
Financement : Université du Manitoba
 1. Etude du comportement natatoire et de l'utilisation de l'espace des esturgeons de lac, 1997
 2. Comparaison du comportement et de l'utilisation de l'espace entre des esturgeons de lac issus de l'aquaculture, et relâchés dans le milieu naturel, et des animaux sauvages, 1998.

1.3 Activités de recherche

- *1999 - 2001 - CDD CNRS au CREMA à L'Houmeau, responsable des programmes :*
 - Amphihalins Adour, Responsable de l'étude de la migration estivale des saumons de L'Adour, campagnes 1999, 2000 et 2001, en collaboration avec l'Ifremer Laboratoire Halieutique d'Aquitaine, P. PROUZET et l'INRA de St Pée, C. GOSSET.
 - Européen, EUREKA-AquaMaki2 : étude de l'activité natatoire du bar élevé en circuit fermé sous haute densité, collaboration Ifremer Palavas, D. COVES, 1999 ET 2000.
 - Bretagne / Agence de l'Eau : étude de la fonctionnalité de la reproduction chez l'aloise, en collaboration avec l'INRA/ENSA de Rennes, J.L. BAGLINIERE et R. SABATIE, 2000 et 2001.
- *Depuis Mars 2002: Cadre de recherche à Ifremer en Ecologie comportementale des poissons.*

Principales missions :

Recherches en écologie comportementale des poissons : évaluation du potentiel adaptatif des espèces et identification des facteurs qui dirigent leur dynamique spatiale ; performances physiologiques et réponses comportementales de poissons en environnement perturbé ; Contribution aux réflexions et propositions sur les apports de l'expérimentation animale en recherche halieutique.

2 Avant propos

J'ai obtenu ma thèse de doctorat, spécialité océanographie, à l'Université d'Aix-Marseille II, faculté des Sciences de Luminy en février 1995. Elle portait sur l'« Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur le comportement du bar, *Dicentrarchus labrax* (L.) évoluant en marais maritimes aménagés ». Ensuite, j'ai fait un postdoctorat au Canada sur quatre années avec différentes activités (Institut des Eaux Douces - Ministère des Pêches et Océans, et Université du Manitoba, à Winnipeg ; 1995-98). J'ai notamment travaillé sur les effets du marquage externe sur le comportement natatoire des corégones adultes (Bégout Anras et al. 1998) puis analysé les choix d'habitat des corégones au moment du frai (Bégout Anras et al. 1999a) ; en écotoxicologie j'ai travaillé sur les effets du Cd sur l'orientation des corégones dans un gradient lumineux (McNicol et al. 1999b), puis étudié la migration estivale des ombles chevaliers en milieu océanique ouvert (Bégout Anras et al. 1999c). Suite à des missions scientifiques en Norvège et Suède (1998-99, Wahlberg et al. 2000a, b, Westerberg et Bégout Anras 2000), j'ai effectué un CDD – CNRS au CREMA de L'Houmeau de 1999 à 2001. J'ai alors conduit un projet sur la migration estivale des saumons de L'Adour, campagnes 1999-2001, en collaboration avec l'Ifremer, Laboratoire Halieutique d'Aquitaine, et le laboratoire d'hydrobiologie de l'INRA de St Pée. En parallèle, j'ai étudié l'activité natatoire du bar élevé en circuit fermé sous haute densité, en collaboration avec l'Ifremer Palavas dans le cadre du programme Européen EUREKA-AquaMaki2. J'ai également été chargée d'étudier les modalités de la reproduction chez l'alose avec l'INRA/ENSA de Rennes (Acolas et al. 2004, 2006), puis j'ai intégré l'Ifremer le 1^{er} mars 2002.

J'ai été recrutée en tant que cadre de recherche en écologie comportementale des poissons au sein de la Direction Ressources Vivantes - Ressources Aquacoles du centre de Nantes. Dans la continuité de mes travaux antérieurs, mon activité de recherche a porté sur l'étude de la relation « poisson-environnement » à travers l'analyse de la plasticité des réponses comportementales aux forçages environnementaux. J'ai été affectée initialement au Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Marins et Aquacoles - CREMA de L'Houmeau UMR 10 CNRS-IFREMER (2002-2005) puis au Centre de Recherche sur les Ecosystèmes Littoraux Anthropisés CRELA UMR 6217 CNRS-IFREMER-ULR (2006-2007), et actuellement je suis affectée au laboratoire Ressources Halieutiques de La Rochelle du Département Halieutique Gascogne Sud.

Ces dernières années, l'essentiel de mon activité de recherche a porté sur **l'étude des réponses comportementales et physiologiques des poissons** dans deux contextes particuliers : 1) celui des ressources aquacoles avec un thème majeur portant sur les **bases biologiques et les indicateurs du bien-être et de la santé** des poissons (réponse aux facteurs de stress, aux pratiques d'élevage et aux processus de domestication et de sélection) et 2) celui des ressources halieutiques avec un thème principal portant sur **les performances comportementales** et la dynamique spatiale des poissons en réponse aux facteurs structurants de l'habitat, au parasitisme, et plus récemment aux contaminants chimiques.

Pour réaliser ces travaux, plusieurs approches ont été, ou sont en cours de développement ; elles sont détaillées par la suite dans ce rapport à l'aide d'exemples se rapportant à chacun de ces contextes et elles sont suivies d'une présentation des travaux en cours. Les perspectives s'inscrivent dans une **application des analyses comportementales** développées tout au long de mes travaux avec, d'une part, **l'approfondissement de connaissances sur certains aspects dont la cognition**, le développement **d'approches écosystémiques individu-centrées** sur des stocks d'intérêt halieutique ; et d'autre part, l'utilisation d'expérimentations, **en écotoxicologie** notamment, et d'espèces modèles afin d'analyser les conséquences à long terme d'une exposition précoce à des contaminants sur le recrutement et donc l'évolution des populations.

3 Activités de recherche

3.1 Problématique générale

Les facteurs environnementaux, qu'ils soient naturels, biotiques ou abiotiques, ou d'origine anthropique peuvent influencer fortement les perceptions sensorielles et les réponses adaptatives individuelles des animaux dans le milieu. L'écologie sensorielle détermine l'espace exploré par les capacités sensorielles d'un animal et tente d'établir comment les interactions sensorielles entre l'organisme et l'environnement, ou entre les organismes, modulent : leurs réponses comportementales, leurs réponses métaboliques et leur utilisation de l'espace (Dusenbery, 1992). Un tel réseau de prise d'informations se superpose au plus classique réseau trophique qui comprend les transferts et flux d'énergie, et relie les organismes à leur environnement et aux autres organismes de l'écosystème. La prise en compte écologique de cette composante sensorielle et comportementale permet donc d'élargir l'éventail des variables actives de l'environnement, de donner une dimension nouvelle à l'activité locomotrice et de raisonner face à la réévaluation permanente des compromis réalisés par les animaux.

Les réponses comportementales, en particulier, représentent le premier niveau de réaction d'un animal face aux modifications de son environnement lesquelles peuvent présenter des niveaux de contraintes plus ou moins élevés (Figure 1). En regard de ces contraintes imposées par l'environnement, l'animal va immédiatement tenter de s'adapter en utilisant la plasticité de son comportement et son potentiel adaptatif physiologique, et/ou en recherchant un habitat moins contraignant au sein d'un environnement le plus souvent hétérogène.

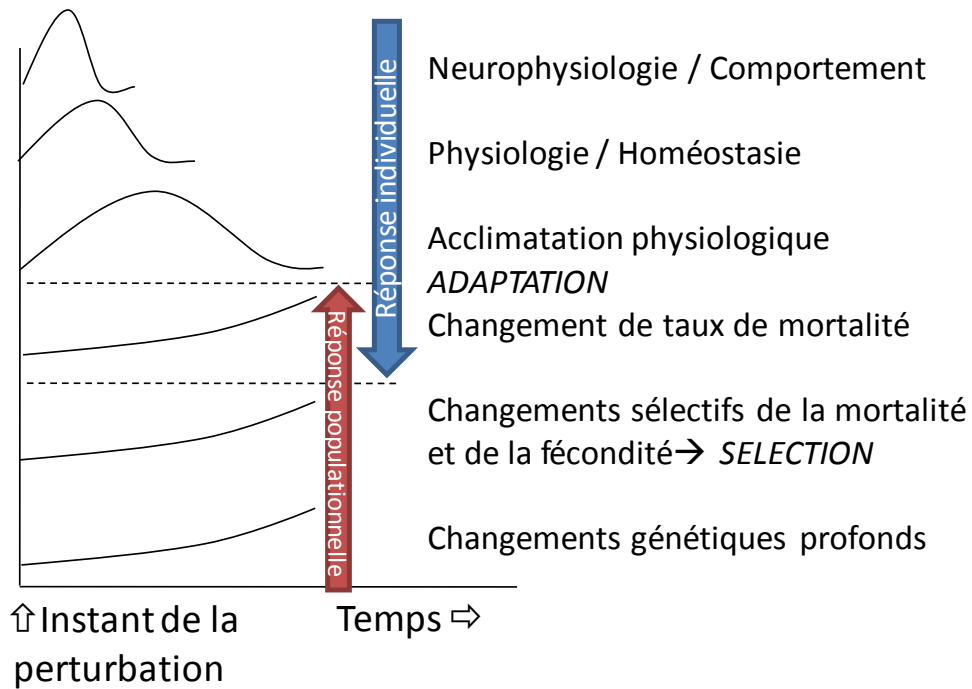


Figure 1 : L'enchaînement des réponses d'un organisme suite à une perturbation : des réponses individuelles aux réponses populationnelles. Modifiée d'après Slobodkin et Rapoport (1974).

Ces réponses comportementales individuelles conduisent à l'établissement d'une **stratégie comportementale adaptative** en modifiant certaines variables telles que le comportement migratoire, le choix de l'habitat, le comportement reproducteur, les niveaux d'activité alimentaire et nataire, le développement de caractéristiques phénotypiques ou bien encore l'expression de certains éléments plus complexes tels que le statut social ou la personnalité. Le choix d'une stratégie d'adaptation dépend de différents facteurs tels que : les facteurs environnementaux, la disponibilité en proies et leur accessibilité dans le milieu, les risques de prédation, le comportement des autres poissons du groupe ainsi que l'état physiologique des individus (Dill et al. 1987). Une stratégie d'adaptation n'est pas seulement une option optimale pour répondre à des contraintes environnementales particulières, elle doit aussi évoluer vers une solution stable : une stratégie évolutivement stable ou SES. Développée originalement en 1973 par Smith et Price pour expliquer

l'évolution des comportements sociaux, cette théorie (tirée de l'équilibre de Nash¹) est maintenant largement utilisée en écologie comportementale. Contrairement à l'équilibre de Nash, les stratégies évolutivement stables sont héréditaires et soumises aux pressions de sélection (fitness). Elles se distinguent également de l'état évolutif stable par le fait qu'une fois que tous les membres de la population ont adopté une stratégie il n'y a pas de retour en arrière possible : *i.e.* la composition génétique et les comportements de la population ne seront pas restaurés même lorsque la perturbation aura disparu. L'étude des comportements adaptatifs et de leur transmission apparaît alors indispensable, non seulement pour améliorer notre compréhension des processus de sélection (Figure 1) face à une perturbation d'origine naturelle ou anthropique, mais aussi pour prévoir l'évolution future de la biodiversité et pour établir des programmes de conservation des espèces (Nielsen et al. 2009). Cependant, en milieu naturel la pression de sélection sur les populations est très difficile à démontrer (Endler 1986) et les comportements sexuels et migratoires ainsi que leurs transmissions en réponse à une modification environnementale sont encore très mal connus dans les populations sauvages de poissons. Actuellement, nous savons simplement que les différents traits d'adaptation observés temporellement et spatialement ont une composante génétique (Gienapp et al. 2008) et qu'il existe un lien fort entre les variations génétiques et les valeurs adaptatives (*i.e.* succès reproducteur ou fitness) chez les poissons en particulier (Kawecki et Ebert 2004).

C'est dans les cadres conceptuels précités, que je développe des recherches rattachées à cette problématique générale de l'étude de la « Relation poisson-environnement dans le fonctionnement des populations ». Dans la suite de ce document, je vais présenter les principaux résultats obtenus selon trois axes :

Axe 1. Réponses comportementales des poissons sous contraintes d'élevage : Bases biologiques du bien-être et de la santé.

Axe 2. Sélection de l'habitat sous contraintes environnementales et conséquences sur l'accès aux ressources trophiques et sur l'étendue de l'habitat réalisé.

Axe 3. Réponses comportementales des poissons exposés aux polluants, répercussions sur le recrutement et l'évolution des populations.

¹ Dans la théorie des jeux, l'équilibre de Nash, nommé d'après John Forbes Nash, est une situation dans laquelle l'équilibre entre plusieurs joueurs, connaissant leurs stratégies réciproques, est devenu stable du fait qu'aucun ne modifie sa stratégie sans affaiblir sa position personnelle.

LA RELATION POISSON-ENVIRONNEMENT DANS LE FONCTIONNEMENT DES POPULATIONS

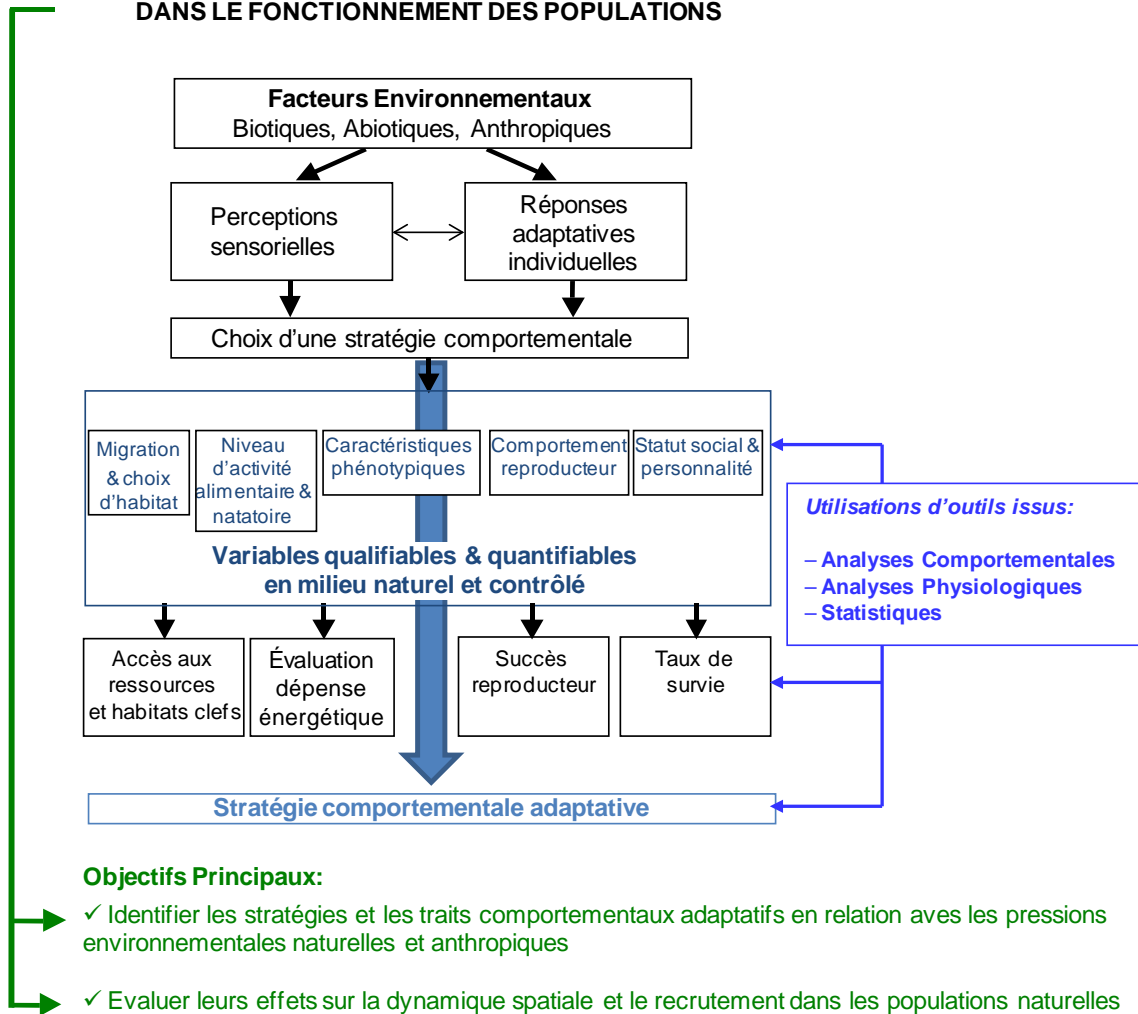


Figure 2 : Les facteurs naturels et anthropiques de l'environnement exercent des contraintes sur les systèmes sensoriels des animaux et sur leurs réponses adaptatives individuelles. Les réponses induites sont à rechercher en termes de modifications comportementales chez l'individu et par extension au niveau des populations (via la transmission épigénétique et génétique de la stratégie comportementale adaptative).

Au cours de ma carrière, j'ai appliqué et développé des outils et méthodes afin d'identifier les contraintes qui dirigent l'expression comportementale chez les poissons et d'évaluer leurs valeurs adaptatives. En effet, certaines expressions mises en jeu dans les stratégies d'adaptation peuvent être étudiées de façon qualitative et quantitative que ce soit en milieu naturel ou expérimental (i.e. contrôlé, Figure 2). Par exemple la dynamique d'occupation de l'espace, les comportements migratoires et l'accès aux habitats favorables peuvent être étudiés grâce au suivi des animaux par multi-marquages (techniques de capture/recapture, télémétrie acoustique etc.... ; Groger et al. 2007 ; Pampoulie et al. 2008, Fromentin et al. 2009). Les rythmes des activités alimentaire et nataoire peuvent être évalués par l'analyse des contenus stomacaux et l'évaluation des dépenses énergétiques (milieu naturel et/ou contrôlé) ainsi que par l'utilisation de distributeurs d'aliment et d'outils vidéo (milieu contrôlé). D'autres caractéristiques d'aptitude adaptative telles que le statut social, le caractère « audacieux », les capacités cognitives (e.g. mémoire et apprentissage) des poissons peuvent être également évaluées en milieu contrôlé par des tests de prise de risque et d'exploration de l'habitat.

3.2 Indicateurs comportementaux et bases biologiques du bien-être et de la santé.

Cet axe aborde la problématique générale des réponses comportementales, avec la particularité que les conditions d'élevage ou expérimentales poussent aux limites l'adaptation comportementale par certains aspects du forçage d'origine anthropique. De plus, en conditions d'élevage *i.e.* milieu clos, il est possible de cibler des points particuliers de la réponse comportementale, en l'occurrence l'activité natatoire (rythmes d'activité, vitesse et complexité de la nage, choix de localisation), et l'activité alimentaire (rythmes et quantité ingérée). Ces activités sont connues pour être des variables sensibles aux conditions de l'élevage (zootchnie, stress imposés et conditions hydrologiques et atmosphériques) et à fortes répercussions sur la rentabilité économique de l'élevage. En complément, les poissons de différentes origines, ou subissant différents traitements, peuvent être caractérisés via des expérimentations *ad hoc* par rapport à leur capacité de prise de risque (personnalité : timide/audacieux), leur comportement social et/ou leur capacité d'apprentissage et de mémorisation.

Contexte programmatique : Suite à des premiers travaux financés dès 1998 par une initiative du Ministère de l'Agriculture et de l'INRA sur le thème du bien-être en aquaculture, j'ai développé cet axe de recherche dans la période 2003-2008 sur quatre programmes européens centrés sur le bien-être et la santé des poissons en élevage. Ces programmes successifs sont issus de la Direction Générale des Pêches qui souhaitait répondre à la fois aux besoins de connaissances sur les bases biologiques du bien-être et à la demande sociétale pour une prise en compte d'un meilleur traitement des poissons en élevage.

J'ai intégré en 2003 la préparation du STREP (*Specific Targeted Research Project*) WEALTH (*Welfare and Health in sustainable aquaculture*, 2004-2006, responsable Ifremer, JP. Blancheton, j'étais **co-responsable du WP2**), puis dans le même temps préparé le projet ETHIQUAL de l'IP (*Integrated Project*) SEAFOODplus (*Seafood from aquaculture source*, 2004-2008, j'étais **responsable du WP3 et de l'action Ifremer correspondante**). En 2005, j'ai préparé le STREP FASTFISH (*On farm assessment of stress level in fish*, 2006-2008, j'étais **responsable du WP2 et de l'action Ifremer**). Les attendus d'ETHIQUAL et de FASTFISH ont été pour partie réalisés dans le cadre de **deux thèses** (S. Millot et C. Di Poi). Enfin, les résultats obtenus dans ces projets ont été intégrés dans le STREP BENEFISH (*Evaluation and modelling of benefits and costs of fish welfare interventions in European aquaculture*, 2007-2009, responsable Ifremer, G. Lemarié) avec une perspective modélisatrice et socio-économique. Dans la section suivante, je présente quelque uns des principaux résultats obtenus dans cet axe de recherche.

Equipe et collaborations : Pour réaliser ces travaux j'ai **encadré l'équipe suivante** K. Faucher (postdoctorante Ifremer), S. Millot (M2 puis Doctorante Conseil Général 17), A. Luna Acosta (M2), E. Durand (M2), S. Péan (M2), A. Campéas (postdoctorant Ifremer) avec les soutiens techniques de D. Leguay, L. Joassard, N. Lachaussée, P. Pineau et M. Prineau. J'ai **animé des collaborations** principalement avec M. Alunno-Bruscia, B. Chatain et J. Person-le-Ruyet (Ifremer), M. Beauchaud et J. Attia (Univ. St Etienne), et C. Lefrançois (Univ. La Rochelle) au niveau national, et au niveau européen j'ai travaillé avec les différents partenaires des projets précités (cf. section 5).

3.2.1 *Première analyse du comportement natatoire en pisciculture.*

Dans le cadre du projet 'Bien-être en aquaculture' (DGAL et INRA), et avec J.P. Lagardère, j'ai réalisé une toute première étude à la PEIMA (ex SEMII, Sizun 29) qui avait pour objectif d'évaluer les effets des conditions d'élevage sur l'expression de la plasticité du comportement natatoire de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). L'activité est en effet considérée comme une variable reflétant les stress imposés aux animaux en élevage et par inférence un **indicateur potentiel de bien-être**² de plus en plus pris en compte en pisciculture (Huntingford et Adams 2005, Huntingford et al. 2006).

Lors de l'émergence de cette problématique du bien-être en pisciculture, le premier facteur zootechnique qui a retenu l'attention a été la **densité d'élevage** (Ellis et al. 2002). Cette dernière était en effet emblématique, comme dans d'autres modes de culture et, en première intention, la plus simple à intégrer dans une démarche normative et législative. Ainsi, pour 3 conditions d'élevage à densités 25, 75 et 125 kg m⁻³, les déplacements ont été enregistrés par télémétrie acoustique sur des périodes de 48 h (sachant que, la densité la plus souvent utilisée en truiticulture est entre 20 et 80 kg m⁻³ en 2000, North et al. 2006). Ce mode d'investigation qui permet de retranscrire l'activité des poissons (rythmes, distances parcourues, vitesses et complexité des déplacements, choix de localisation), a fait ressortir de grandes différences dans l'expression de l'activité de la nage (Bégout Anras et Lagardère, 2004a). Ainsi, les truites arc-en-ciel élevées à 25 kg m⁻³ manifestent un rythme d'activité nyctéméral bien marqué, alternant les périodes d'activité diurnes et de longues périodes de repos nocturne, avec une occupation hétérogène de l'espace. A la densité moyenne, le rythme nyctéméral reste perceptible mais l'activité de nage s'accroît aussi bien de jour que de nuit. A la plus haute densité, l'activité s'uniformise, sans période d'immobilité, et l'occupation de l'espace est totale. De ces résultats (Figure 3), il ressort que le potentiel d'expression comportementale de la truite arc-en-ciel (l'écart entre minima et maxima) oscille entre deux limites et qu'il est un peu

² *Bien-être* : état mental atteint lorsqu'un animal est dans un état de confort et capable de s'adapter aux conditions du milieu, Veissier et al. 2007.

supérieur à 100 m h^{-1} pour ces conditions expérimentales. L'effet des conditions d'élevage a pour conséquence de le réduire à 25 m h^{-1} à la densité de 75 kg m^{-3} et pratiquement à zéro à la densité à 125 kg m^{-3} .

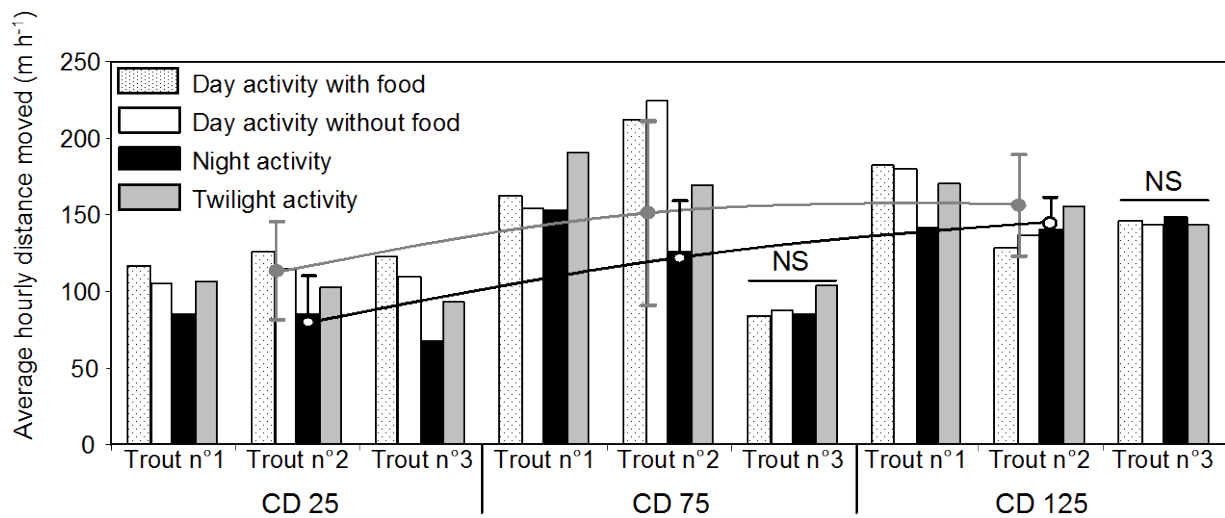


Figure 3 : Moyennes des déplacements horaires de la truite arc-en-ciel, mesurés de jour (pendant ou en dehors des repas), de nuit et pendant les phases de transition (aube et crépuscule) en fonction de la condition d'élevage: CD 25 = 25 kg m^{-3} ; CD 75 = 75 kg m^{-3} ; CD 125 = 125 kg m^{-3} . (Bégout Anras et Lagardère, 2004a).

Un tel niveau de contrainte, qui annule toute plasticité du comportement ainsi que tout rythme d'activité, ne permet pas de garantir l'expression de comportements naturels des animaux en élevage (4^{ème} règle du bien-être³, FSBI 2002). De plus, ce niveau de contrainte provoque l'instauration d'un état de stress chronique qui outre des altérations importantes de l'expression comportementale, signe une situation d'inconfort, susceptible de faciliter l'émergence de pathologies diverses.

Après cette première analyse de l'influence des contraintes d'élevage, j'ai poursuivi une réflexion sur **les capacités d'adaptation comportementale et de réponse à la domestication** des poissons (Bégout Anras et Lagardère, 2004b). Cette expérience et ces réflexions ont permis d'élaborer une stratégie de recherche dédiée au contexte aquacole et basée sur l'identification d'**indicateurs** (comportementaux – natatoire et alimentaire, physiologiques, neurophysiologiques) pertinents afin de qualifier, de quantifier et d'améliorer le **bien-être** et la **santé des poissons**.

³ La Fisheries Society of the British Isles (FSBI 2002) a redéfini les cinq degrés de liberté édités par Brambell (1965) en les adaptant aux conditions spécifiques de l'élevage piscicole :

1. Les poissons doivent être nourris avec une alimentation complète, en adéquation avec les exigences de l'espèce et de l'âge.
2. Ils doivent vivre dans une eau de bonne qualité avec un débit suffisant et avec une température et une luminosité adéquates.
3. Ils doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de prévenir l'apparition d'infections et de maladies.
4. Ils doivent vivre dans un espace suffisamment grand pour leur espèce afin d'exprimer leurs comportements naturels. Ils doivent également être en contact avec des congénères dans le but d'entretenir des liens sociaux s'il s'agit d'une espèce vivant en banc. Le milieu d'élevage doit être enrichi et adapté selon l'espèce.
5. Les conditions entraînant un niveau d'anxiété très élevé comme la peur, la douleur, la faim ou des manipulations excessives doivent être minimisées le plus possible.

3.2.2 WEALTH : Effets de la densité sur le comportement natatoire chez le bar

Une première synthèse des types d'activité natatoire du bar (*Dicentrarchus labrax*) telle que mesurée en marais maritimes (travaux de thèse : Bégout Anras 1995, Bégout Anras et al. 1997) et en bassin d'élevage sous haute densité (48 m^3 , 90 kg m^{-3} , Bégout Anras et al. 2004) avait montré la pertinence de deux variables en particulier : la distance parcourue et l'occupation de l'espace, toutes deux sensibles aux facteurs environnementaux.

C'est pour cette raison que j'ai choisi d'analyser l'impact des pratiques aquacoles sur l'activité natatoire du bar en considérant particulièrement le **facteur densité d'élevage** (Faucher et al. 2007 a, b) dans le cadre du projet WEALTH. La finalité de ces études était d'identifier, dans différents systèmes de production aquacole, les facteurs environnementaux affectant la santé et le bien-être du poisson. L'activité natatoire et l'utilisation de l'espace par des bars identifiés individuellement ont donc été analysées afin de mesurer la variabilité interindividuelle et la réponse au facteur densité en utilisant les outils de télémétrie acoustique. Le comportement natatoire de bars a ainsi été enregistré dans trois milieux différents représentant les différentes formes d'aquaculture : bassins en circuit ouvert, bassins en circuit fermé et cages.

Par exemple, l'expérimentation menée en circuit ouvert et à trois densités (10, 40 et 100 kg m^{-3}) a montré que lorsque la densité augmentait, la distance moyenne parcourue par les poissons diminuait significativement. En parallèle, une inversion de leur rythme nyctéméral a été mise en évidence : lorsque la densité augmentait, les bars devenaient majoritairement diurnes alors qu'ils étaient nocturnes à faible densité (Figure 4). Une légère hyperactivité pendant les quelques heures précédant le nourrissage a été observée. Cette activité anticipatrice du nourrissage pourrait être un indicateur de l'appétit des poissons.

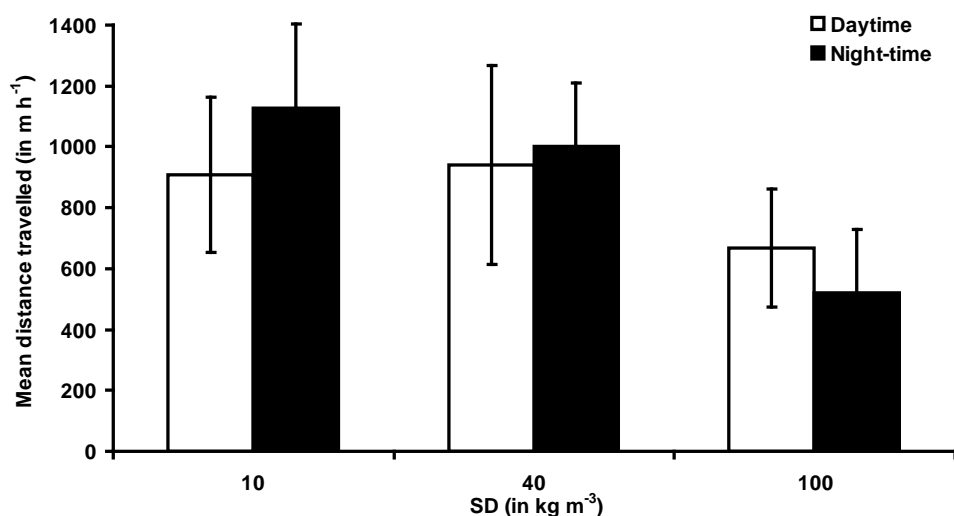


Figure 4 : Distance parcourue moyenne (en m h^{-1}) et erreur type le jour (blanc) et la nuit (noir) en relation avec la densité d'élevage (SD). (NS: non significatif, ***: $p < 0.0001$, *: $p < 0.05$, d'après Faucher et al. 2007a).

La densité semblait également modifier l'occupation préférentielle de l'espace par les bars. Ceux-ci occupaient plus fréquemment le centre du bassin lorsque la densité augmentait.

Il est ici intéressant de noter en synthèse de ces deux sections que les réponses natatoires sont discriminantes vis-à-vis du facteur densité et qu'elles s'opposent chez la truite et le bar en soulignant ainsi un caractère spécifique des réponses comportementales.

Afin de répondre plus complètement à la question posée, *i.e.* "l'activité natatoire et l'utilisation de l'espace sont-ils de bons **indicateurs de bien être et de santé** chez les poissons ?", j'ai choisi d'examiner en parallèle les résultats obtenus lors de ces analyses comportementales avec d'autres données biologiques (prise alimentaire, taux de conversion, taux de croissance, blessures, état de santé et mortalité) et physiologiques (tels que le cortisol, le lactate et le glucose plasmatique et la sérotonine cérébrale). Ce dernier point a été réalisé grâce à une collaboration que j'ai initiée avec des collègues de l'Université de Saint Etienne (co-encadrement des expérimentations de la thèse de C. Di-Poi). Cette combinaison comportement-physiologie a ensuite principalement été réalisée dans le cadre des projets ETHIQUAL et FASTFISH présentés ci-après.

3.2.3 ETHIQUAL : Comportement alimentaire, prise de risque et cognition chez le bar

Le programme **SEAFOODplus**, projet ETHIQUAL, avait pour but de définir une charte de qualité éthique en identifiant et proposant des pratiques d'élevage et des systèmes de production aquacole respectueux du bien-être animal en atteignant les objectifs suivants :

- a. Identifier les réactions comportementales et physiologiques des poissons face aux différentes pratiques d'élevage, et déterminer au sein d'une même espèce la variabilité interindividuelle,
- b. Développer des techniques de suivi individuel (smart tag) afin de collecter des données complémentaires sur l'activité physiologique et comportementale des poissons,
- c. Déterminer des indicateurs individuels de bien-être face à différents types d'épreuve (stress) en condition expérimentale afin d'évaluer la tolérance au stress,
- d. Etablir une relation entre l'état de bien-être du poisson et différents aspects de leur qualité de chair,
- e. Identifier l'influence génétique des variations interindividuelles observées au sein d'une même espèce face à différents types de stress afin de mettre en évidence les différentes stratégies d'adaptation,
- f. Etudier les effets du transport sur la physiologie, le comportement et la qualité de la chair,
- g. Développer des méthodes pour optimiser les conditions de pré-abattage en regard de l'état physiologique et de la qualité de chair des poissons,
- h. Tester ces méthodes dans des infrastructures aquacoles et préparer un guide des règles à suivre.

Dans ce cadre général, mes activités ont été centrées sur des études expérimentales afin d'atteindre les **objectifs a, c et e**. J'ai également collaboré au point b avec NOFIMA Tromsø.

(<http://www.seafoodplus.org/Home.326.0.html> contrat n° FOOD-CT-2004-506359)

a. *Identifier les réactions comportementales et physiologiques des bars face aux différentes pratiques d'élevage, et déterminer la variabilité interindividuelle.*

L'impact des pratiques aquacoles sur **l'activité alimentaire** du bar a été étudié en tant qu'indicateur comportemental de bien-être. En 2005, lors d'une première expérience, j'ai encadré le DEA puis la thèse de S. Millot et ensemble nous avons réalisé l'analyse à **long terme des demandes alimentaires** d'une population de bar d'origine industrielle en situation d'auto-nourrissage et mesuré l'incidence de l'activité manipulatrice individuelle sur l'alimentation du groupe et sur le statut physiologique individuel (Millot et al. 2008).

Cette expérimentation de 219 jours a été réalisée sur quatre groupes de 50 bars, élevés en circuit fermé dans des bassins de 450 l d'eau de mer, à une température contrôlée de $22,2 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ et soumis à une photopériode de 16 heures. Chaque poisson a été marqué individuellement par un PIT tag. Le suivi des demandes alimentaires journalières individuelles et du groupe a pu être réalisé grâce à l'utilisation d'un self-feeder (distributeur d'aliment à la demande) piloté par ordinateur et couplé à une antenne détectrice de PIT tag d'après Covès et al. (1998, 2006). Ainsi à chaque activation du self-feeder, l'heure et l'identité du poisson ont pu être enregistrées.

Cette technique a confirmé, **sur le long terme** (>200 jours vs. une soixantaine), que seuls quelques individus dans chaque bassin étaient à l'origine de l'alimentation du groupe. Ainsi, chacun des groupes de bars étudiés se compose de 2 % d'individus «manipulateurs principaux» réalisant plus de 75% des demandes alimentaires, de 88 % d'individus «manipulateurs occasionnels» réalisant moins de 25% des demandes et de 10 % d'individus «non manipulateurs» n'activant jamais le self-feeder. Cette structure de population observée est relativement homogène et stable dans le temps, ainsi que la quantité d'aliment ingérée. Cependant, des changements de «manipulateur principal» au sein du bassin peuvent être observés spontanément ou suite à un stress : le poisson «manipulateur principal» cédant son rôle de manipulateur à un autre individu (Millot et Bégout 2009). Ce changement s'accompagne transitoirement, dans la plupart des cas, d'une augmentation des demandes alimentaires et d'un gaspillage d'aliment (Millot et al. 2008). Par ailleurs, un suivi biométrique régulier des poissons a mis en évidence l'absence de relation entre la capacité manipulatrice des individus et la moyenne de leur prise de poids ou de leur taux de croissance tout au long de l'expérience. Néanmoins, il a été observé que le **TCS (Taux de Croissance Spécifique) de l'individu manipulateur augmente**, ou est supérieur au TCS moyen du groupe, lors des périodes d'activité manipulatrice (Figure 5). Au vu des résultats, il semble que les «manipulateurs principaux» bénéficient d'un avantage transitoire lié à cette capacité manipulatrice. Une des hypothèses avancées est que ces poissons dirigent, par leur action manipulatrice, le moment de la distribution et que cela permet une anticipation enzymatique et métabolique confirmée par l'étude de C. Di-Poi

présentée ci-après. Par ailleurs, les analyses physiologiques et neurophysiologiques ont déterminé un niveau de stress social individuel plus faible chez les poissons manipulateurs : ils ont un taux de sérotonine significativement inférieur aux autres catégories (Di-Poi et al. 2007).

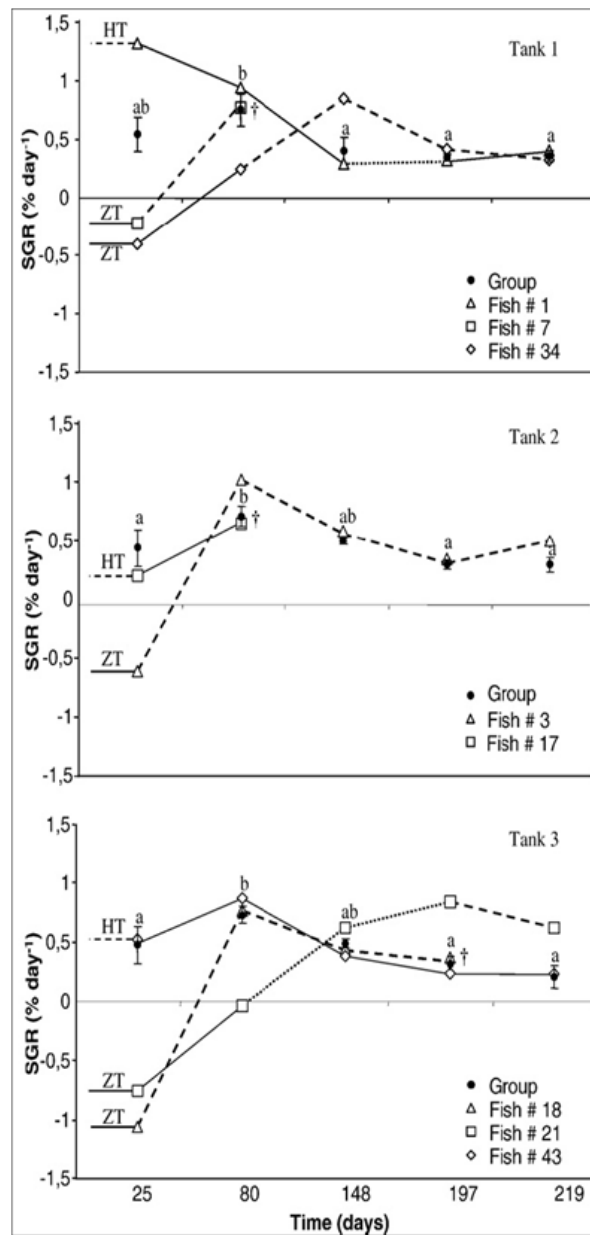


Figure 5 : Evolution du taux de croissance spécifique (SGR (% day⁻¹)) par période et pour 3 bassins (les lettres indiquent des différences significatives). Pour chaque manipulateur principal identifié, la ligne continue correspond à la période 'non manipulateur' (ZT), la ligne hachurée à la période manipulateur principal (HT) et la ligne pointillée à la période intermédiaire. † indique un poisson prélevé lors d'un échantillonnage. D'après Millot et al. 2008.

L'ensemble de ces résultats obtenus sur une souche industrielle de bar, ont montré que les analyses comportementales, physiologiques et neurophysiologiques sont complémentaires dans la compréhension des bases biologiques du bien-être (Millot et al. 2008).

Pour aller plus loin dans la caractérisation des différentes catégories d'individus **nous avons recherché d'autres traits de personnalité ainsi qu'exploré les capacités de mémoire et d'apprentissage des individus**. A cette fin, nous avons utilisé des bars issus de programmes génétiques de domestication et de sélection afin **d'améliorer la maîtrise de l'origine** des poissons (Collaboration avec B. Chatain) et **de participer à la caractérisation de souches particulières**.

Ainsi, des souches expérimentales de différents niveaux de domestication et de sélection ont été produites à partir d'un croisement factoriel complet (chaque femelle croisée avec chaque mâle) de 13 femelles sauvages d'origine Ouest-Méditerranée avec (i) 20 mâles sauvages d'origine Atlantique (*Sauvage*) (ii) 20 mâles domestiqués d'origine Atlantique (*Domestique*), (iii) 19 et (iv) les 17 mâles d'origine Atlantique sélectionnés pour la croissance selon des modalités différentes (*Massal* et *Prosper*), détaillé dans Vandeputte et al. (2009). Les mâles sauvages ont été choisis parmi une population sauvage d'origine Atlantique gardée en captivité pendant un à trois ans. Les mâles *Domestique* et *Massal* ont été choisis dans une population élevée pendant deux ans (une génération), selon les normes d'élevage pour cette espèce (Chatain 1994): les *Domestique* ont été choisis au hasard, tandis que les *Massal* ont été choisis parmi les 5% plus long à âge égal (20 mois, 400 g). Les mâles *Prosper* ont été également choisis parmi les 5% plus long, mais dans un groupe qui avait subi la procédure de sélection PROSPER (Chevassus et al. 2004): poissons triés à l'âge de 200, 444 et 685 jours pour être élevés dans des groupes de masse corporelle homogène.

Des poissons de deuxième génération ont également été produits à partir d'un croisement factoriel complet de 6 femelles domestiquées d'origine Atlantique avec (i) 6 mâles domestiques d'origine Atlantique (*C0*) et (j) 14 mâles d'origine Atlantique sélectionnés pour la croissance (*C+*). Les femelles et mâles domestiqués ont été choisis au hasard dans la population tandis que les mâles sélectionnés ont été choisis suivant les mêmes critères que les mâles *Massal*.

Ainsi, aucun des poissons testés dans ces expériences n'a connu l'environnement naturel, tous ont eu la même histoire de vie, et ils ne différaient que par le niveau de domestication ou de sélection de leur géniteur mâle. La terminologie présentée ci-avant, est utilisée dans la suite du texte.

c. Déterminer des indicateurs individuels de bien-être face à différents types d'épreuve : challenge de prise de risque et analyse des capacités cognitives.

Challenge de prise de risque : La personnalité des animaux est souvent en étroite relation avec d'autres traits de caractère leur permettant une plus grande adaptabilité. Ainsi, les individus audacieux, par opposition aux timides, sont généralement caractérisés par une propension à prendre davantage de risques ce qui peut se traduire par un statut dominant, une capacité d'apprentissage accrue et un succès reproducteur plus important (Wilson et al. 1993, 1994, Fraser et al. 2001, Godin et Dugatkin 1996, Sneddon 2003). Pour ces raisons, j'ai voulu **étudier la personnalité comme indicateurs de bien-être, i.e. critère d'évaluation des capacités d'adaptation individuelle** en élevage

Une des approches communément utilisée dans l'évaluation de l'influence de la domestication et de la sélection chez une espèce animale est de comparer une population sauvage avec une population domestiquée. C'est pour cette raison que, dans un premier temps, nous avons caractérisé **la personnalité** chez des bars issus de parents sauvages (*Sauvage*) et de parents domestiqués et sélectionnés sur la croissance (*Massal*).

Durant la totalité de l'expérience, les bars sont élevés dans des bassins de 450l d'eau de mer, en conditions stables et contrôlées (20°C et une salinité de 22) et sous une photopériode constante (16 heures de jour et 8 heures de nuit). Trois tests de prise de risque (T1, T2 et T3 de 24h chacun comprenant 16 heures de jour et 8 heures de nuit) ont été réalisés à un mois d'intervalle sur 180 bars issus de chaque souche dans le but de caractériser leur comportement au cours du temps (évaluation de la capacité de mémorisation) et en relation avec l'alternance des périodes de jour et de nuit. Le test de prise de risque consiste en un test de choix entre deux zones du bassin: une zone «sécurisante» (sombre et où tous les membres du groupe sont placés au début du test mais sans possibilité de s'alimenter) et une zone «à risque» (fortement éclairée mais où les poissons ont l'habitude de s'alimenter) séparées par une plaque opaque avec en son milieu une ouverture munie d'une antenne détectrice de PIT tag. Le niveau de prise de risque est évalué via l'analyse du nombre de passages effectués entre les deux zones, du temps de latence avant le premier passage dans la zone à risque et du temps passé dans chaque zone pour chacun des poissons (Millot et al. 2009a).

Les résultats (Figure 6) mettent en évidence que quelle que soit la souche ou le test considérés, les bars passent plus de temps du côté «sécurisant» que du côté «à risque» et que les passages dans cette dernière zone se font préférentiellement durant la nuit, lorsque la contrainte lumineuse disparaît.

Une évolution du comportement de prise de risque apparaît, cependant, au cours du temps : lors du test T1, le temps de latence avant le premier passage (généralement nocturne) d'un bar dans la zone «à risque» est très long, très peu de passages sont effectués entre les deux zones et lorsqu'un

individu pénètre dans la zone «à risque» il présente une nage rapide et désorientée puis est prostré dans un angle du bassin, parfois jusqu'à la fin du test. Au cours du test T2, les premières entrées dans la zone «à risque» apparaissent beaucoup plus rapidement, le nombre de passages d'une zone à l'autre augmente fortement et les poissons ont une nage plus calme et un passage fluide à travers l'ouverture de la plaque opaque. Ce phénomène se confirme lors du troisième test.

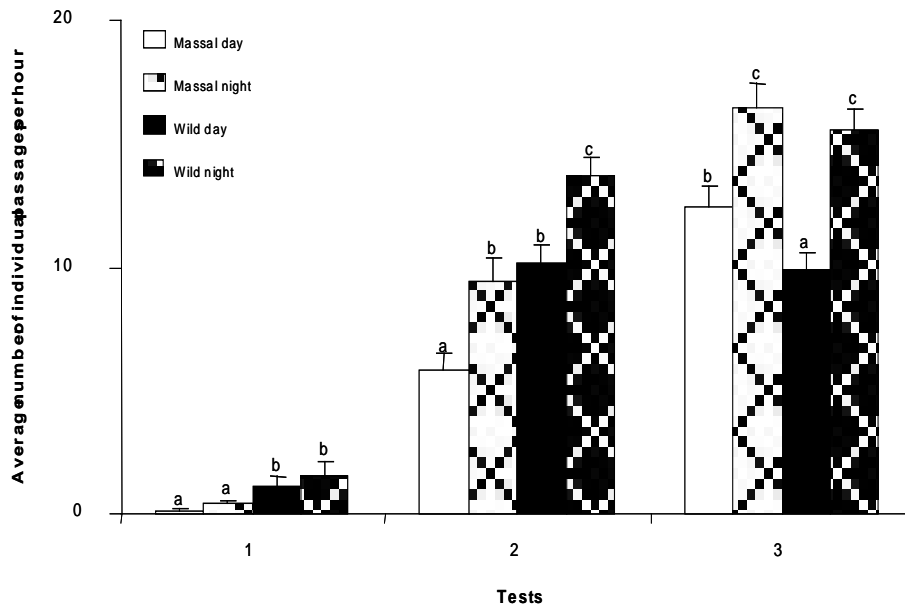


Figure 6 : Nombre moyen de passages individuels par heure pendant le jour et la nuit pour chaque souche et chaque test. Les lettres représentent les différences significatives intra-test (Millot et al. 2009a).

Certaines différences apparaissent entre les deux souches testées : pendant T1 et T2 les bars issus des parents sauvages semblent beaucoup plus audacieux que les bars issus des parents sélectionnés ; au contraire pendant T3, les individus *Sauvage* montrent une stabilisation de leur prise de risque alors que les bars *Massal* sont caractérisés par une évolution constante de leur de prise de risque. De plus, en analysant les **caractéristiques phénotypiques des individus** les plus audacieux dans chacune des souches, il apparaît que ce trait de personnalité est corrélé avec un poids faible chez les *Sauvage* et au contraire avec un poids important chez les *Massal*, et que ces individus sont également caractérisés par une forte activité de demande alimentaire sur le self-feeder (analysée en parallèle). Cela semble indiquer que l'aptitude à prendre des risques est intimement liée à l'état de faim et à la motivation à s'alimenter du poisson. L'hypothèse alternative serait que ce caractère de 'leader alimentaire' serait un trait de personnalité stable, indépendant de l'état nutritionnel. L'évaluation de cette dernière hypothèse sera conduite dans le cadre des perspectives présentées en section 2.3.5. (Doctorat de D. Benhaïm).

*Le challenge de prise de risque ainsi réalisé chez le bar a montré son **applicabilité** et sa capacité discriminante, il a aussi permis de mesurer les **capacités d'apprentissage, de mémorisation et d'adaptation** face à une situation nouvelle dans l'environnement d'élevage.*

Analyse des capacités cognitives : Dans un second temps, nous avons voulu explorer **les capacités cognitives et les caractériser pour ces souches de bar**. En effet, l'activité de nage et le comportement exploratoire des poissons peuvent être considérés comme des indicateurs de leurs capacités cognitives (construction d'une représentation spatiale de leur environnement) et d'adaptation (Brown and Laland 2006). Cependant, encore très peu d'informations sont disponibles sur ce comportement chez les poissons qu'ils soient sauvages ou d'élevage (Laland et al. 2003) et encore moins sur les effets d'un facteur de stress aigu sur ce dernier. Les objectifs de cette étude sont donc d'évaluer les capacités d'exploration spatiale et l'activité de nage de bars issus de trois souches de niveaux de domestication et de sélection différents (*Sauvage, Domestique et Massal*) et d'analyser les effets d'un facteur de stress aigu sur ces variables. Pour ce faire, le comportement exploratoire et l'activité de nage de 28 bars par souche ont été enregistrés et les vidéos analysées sur des périodes de 20 min, avant, pendant et 40 min après l'application d'un stress aigu (lâché standardisé d'un stimulus dans une arène d'observation). Le bassin d'expérimentation est divisé virtuellement en 4 zones de surface équivalente s'éloignant de plus en plus de la zone de stimulation (la zone 1 incluant la zone de stimulation et la zone 4 étant la plus éloignée), puis le temps passé dans chaque zone et l'activité de nage sont évalués pour chaque période expérimentale.

Les résultats montrent que les poissons sélectionnés présentent dès le début de l'expérience des capacités d'exploration et une mobilité dans le bassin plus importante que les bars issus des autres souches, indiquant que ces poissons semblent plus aptes à construire une représentation spatiale de leur environnement (Figure 7, Millot et al 2009b). La réaction de fuite face au stimulus, quant à elle, paraît équivalente chez tous les poissons quelque soit la souche considérée. En effet, les bars se dirigent immédiatement dans la zone 4, devenant une zone refuge, où ils expriment une faible activité de nage voire une immobilité totale. Ce résultat permet de supposer qu'une seule génération de domestication et de sélection n'est pas suffisante pour altérer la réaction de fuite des bars. Pendant la dernière période d'analyse de l'étude (40 min après la stimulation), les bars retrouvent une certaine mobilité dans le bassin et recommencent à explorer leur territoire. Cependant, cette reprise d'activité reste à un niveau inférieur à celle enregistrée avant la stimulation, excepté pour les sélectionnés *Massal*. Il semble donc que même après un laps de temps relativement long, les bars non sélectionnés sont dans un état de stress important, restant majoritairement dans la zone 4 et évitant le plus possible les abords de la zone 1, alors que les sélectionnés *Massal* semblent plus aptes à prendre des risques et s'approchent régulièrement de la zone de stimulation. Ils semblent ainsi caractérisés par une personnalité « audacieuse » plus marquée que les bars issus des deux autres souches.

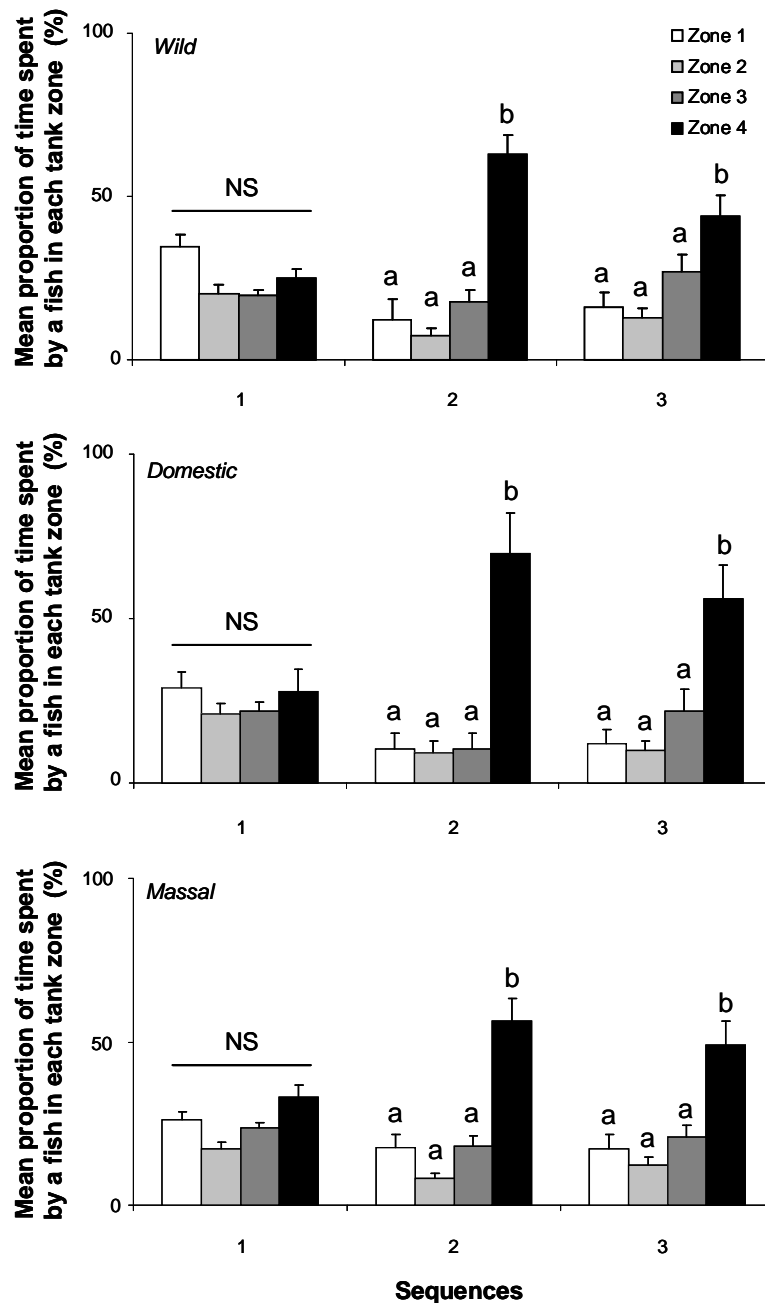


Figure 7 : Proportion du temps passé (moyenne \pm SE, en %) par un poisson dans chaque zone du bassin pour chaque séquence et chaque souche, d'après Millot et al. 2009b.

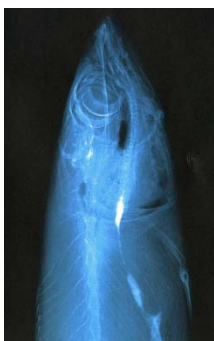
En résumé, cette étude des capacités cognitives met en évidence que les bars Massal issus d'une sélection sur la croissance présentent un comportement exploratoire plus développé et moins perturbé par un facteur de stress aigu que les bars issus des deux autres souches. Le processus de sélection sur la croissance aurait donc une influence plus marquée sur la personnalité des poissons que la domestication seule. Il est à noter que cette double analyse (prise de risque et capacités cognitives) a été reconduite avec succès sur des clones de truite arc-en-ciel dans le cadre de l'ANR ADD COSADD coordonné par F. Phocas et en collaboration avec M. Dupont-Nivet, E. Quillet et P. Prunet (INRA).

e. *Identifier l'influence génétique des variations interindividuelles observées au sein d'une même espèce face à différents types de stress afin de mettre en évidence les différentes stratégies d'adaptation*

Dans la continuité des travaux précédents, j'ai dirigé l'analyse individuelle 1) des **performances métaboliques et d'exercice** (Ucrit) en collaboration avec C. Lefrançois et 2) la mesure en simultané des activités de demande alimentaire, du **statut neurophysiologique et de la prise alimentaire quantifiée par rayons X** afin de vérifier si les poissons manipulateurs sont aussi les poissons qui ont un appétit et une ingestion plus importants (collaboration avec M. Beauchaud et J. Attia de l'Univ. de St Etienne, I. Geurden Inra St Pée).

Les performances métaboliques et d'exercice (Ucrit) des souches de bar : Des différences inter-souches existent chez d'autres espèces de téléostéens en termes de besoins énergétiques (McKenzie et al. 2003, 2007) : Est-ce le cas chez les souches du bar européen domestiquées ou sélectionnées sur la croissance en longueur ? Pour chaque individu, la consommation d'O₂ en fonction de la vitesse de nage a été mesurée en tunnel de nage (Luna Acosta A. et al. in press). Les caractères physiologiques (vitesse de nage maximale, taux métabolique standard, taux métabolique actif, capacité métabolique) et biochimiques (concentration en glucose plasmatique, en glycogène musculaire et en glycogène hépatique) ont été utilisés comme des critères permettant d'évaluer l'adaptation à l'élevage et le bien-être des différentes souches. Pour l'ensemble de ces variables, aucune différence inter-souches significative n'a été observée. Les valeurs moyennes obtenues sur l'ensemble des individus juvéniles à jeun sont proches de celles publiées dans la littérature. Ces résultats suggèrent que les **fonctions physiologiques sont équivalentes** entre les trois souches *Sauvage*, *Domestique* et *Massal*, et par conséquent que la sélection de la souche *Massal* se fait sur des traits de production **sans altérer les capacités métaboliques** et enfin, que le bar européen possède une grande **plasticité physiologique**.

Les activités de demande alimentaire, le statut neurophysiologique et la prise alimentaire quantifiée par rayons X : Les causes principales des variations interindividuelles de croissance reposent sur des différences interindividuelles de la prise alimentaire, de l'efficacité alimentaire ou une combinaison des deux (Umino et al. 1997, Qian et al. 2002). Les hiérarchies de dominance sont souvent à l'origine de telles différences de croissance et de prise alimentaire. La section suivante présente une étude innovante qui, pour la première fois, couple le système du self-feeder à la mesure de la prise alimentaire individuelle grâce à la radiographie par rayons X. L'association de ces deux techniques permet de mesurer les bénéfices directs, en termes de quantité d'aliment ingérée, que tirent les individus manipulateurs principaux de leur forte activité sur le distributeur. La quantification de la prise alimentaire individuelle permet également d'estimer l'efficacité alimentaire de chaque individu.



Une expérience de 75 jours a été menée sur 3 groupes de 50 bars juvéniles placés en conditions d'auto-nourrissage. La prise alimentaire individuelle (quantité d'aliment contenue dans le tube gastro-intestinal) estimée par radiographie à rayons X et l'efficacité alimentaire ont été quantifiées pour tous les individus et comparés entre les trois catégories présentées ci avant (manipulateurs principaux, occasionnels ou non). Les manipulateurs principaux ne semblent pas tirer de bénéfices directs, en termes de prise alimentaire, de leur forte activité sur le système de nourrissage (Di Poi, 2008). Ils montrent de plus, une variabilité importante dans la taille de leur repas. En revanche, ils appartiennent aux individus qui présentent **la meilleure efficacité alimentaire**. Une des hypothèses explicatives serait que les manipulateurs principaux disposent d'un avantage dans **l'anticipation de l'heure des repas**. Cela leur permettrait de mieux préparer leur physiologie digestive et d'optimiser l'assimilation de l'aliment (sécrétion anticipée d'enzymes digestives et de neuropeptides impliqués dans la régulation de la prise alimentaire). Enfin, il existe au sein de chaque groupe, des différences interindividuelles de prise alimentaire : cette hétérogénéité est corrélée au poids et aux besoins physiologiques des animaux qui dirigent secondairement le comportement de demande alimentaire.

3.2.4 FASTFISH : Indicateurs de stress chez le bar

Le programme **FASTFISH** avait pour objectif de poser les bases du développement d'une pisciculture moderne, durable et compétitive en Europe. A partir de deux espèces modèles, le saumon atlantique (*Salmo salar*) et le bar européen, le projet s'est donné les objectifs suivants :

- a. identifier et valider des indicateurs comportementaux non invasifs et fiables pour suivre et quantifier des niveaux de stress pré-critiques dans des écloseries et des sites de grossissement de saumon atlantique et de bars (mesurer les effets des facteurs de stress aigus et chroniques, déterminer des niveaux qui peuvent être attendus dans des populations en aquaculture). Valider et quantifier ces indicateurs par des mesures immunologiques et physiologiques,
- b. Développement, évaluation et application d'un outil logiciel applicable dans des écloseries et des sites de grossissement de saumon atlantique et de bars incluant des protocoles d'enregistrement des niveaux de stress, le planning de l'élevage et des routines ainsi qu'un système expert pour évaluer les niveaux de stress et de bien-être, un système de gestion et une documentation (logiciel FAST-TOOL),
- c. identifier les pré-requis et les mécanismes commerciaux pour implanter le logiciel FAST-TOOL dans l'industrie aquacole et estimer les coûts et les bénéfices pour les producteurs.

(on **Farm Assessment of STress level in farmed FISH** ; <http://fastfish.imr.no/start>)

Les travaux que j'ai encadrés se placent principalement dans le point a) sur **l'identification des variables comportementales pertinentes pour créer un index opérationnel et précoce d'évaluation du stress chez le bar**. Cela comprend l'étude de la motivation à s'alimenter évaluée par

la mesure du comportement de demande et de prise alimentaire, et celle de l'activité natatoire (cohésion de groupe, nage individuelle).

L'environnement aquacole est connu pour exposer les poissons de façon répétée à des facteurs de stress aigu (les manipulations, le transport ou bien encore les tris par classe de taille...) ou chroniques (confinement, mauvaise qualité environnementale...). L'ensemble de ces stress peut avoir des répercussions diverses sur l'état de santé des poissons (*i.e.* diminution de leur compétence immunitaire, de leur résistance aux maladies), sur leurs performances de croissance et de reproduction mais également sur leur comportement alimentaire (diminution de la quantité d'aliment ingérée) et natatoire. Ces observations ont conduit depuis quelques années à rechercher des moyens permettant de réduire le stress des poissons en milieu d'élevage ; parmi ceux-ci, la domestication et la sélection semblent être prometteuses (Pottinger et Pickering 1997). Ainsi, la sélection est généralement utilisée pour améliorer certains traits fortement associés à la productivité (*i.e.* taux de croissance, résistance aux maladies, âge de la maturité sexuelle ou bien encore qualité de la chair), mais peu d'études ont été menées sur les capacités de tolérance au stress de poissons domestiqués et/ou sélectionnés. C'est l'objet des actions présentées ci-après que j'ai dirigées dans le cadre du doctorat de S. Millot.

Effet du stress aigu sur la motivation à s'alimenter et l'activité de nage :



L'objectif de cette action a été d'évaluer l'influence des processus de domestication et de sélection sur la tolérance au **stress aigu** chez le bar en milieu d'élevage. Pour ce faire, quatre souches sont utilisées : *Sauvage, Massal, C0 et C+*.

Les représentants de chacune de ces souches sont répartis en groupes (50 à 60 individus par groupe) puis élevés dans des bassins de 450l d'eau de mer, en conditions stables et contrôlées (20°C et une salinité de 22) et sous une photopériode constante (16 heures de jour et 8 heures de nuit). Après une première période d'enregistrement non perturbé (*i.e.* contrôle interne), les effets d'un facteur de stress aigu standardisé qui simule une opération de transfert (bassin entièrement vidé et bars laissés une minute hors de l'eau) appliqué deux fois à 3 semaines d'intervalle sont évalués grâce à 1) l'analyse en continu de différentes variables du comportement alimentaire sous self-feeder (quantité d'aliment demandée, ingérée et gaspillée, rythme des demandes alimentaires) et à 2) la mesure de l'évolution individuelle du poids corporel, de l'indice de condition corporel et du taux de croissance spécifique et 3) le comportement de nage des individus

manipulateurs et du groupe. L'état de stress physiologique des bars à la fin de l'expérience est aussi établi par l'analyse des concentrations en glycogène hépatique, en glucose et lactate sanguin et en sérotonine cérébrale.

Les résultats obtenus mettent en évidence que l'application de deux stress aigus à 3 semaines d'intervalle, perturbe fortement le comportement alimentaire (augmentation de la quantité d'aliment demandée et ingérée, changement du rythme), le potentiel de croissance (un taux de croissance spécifique augmenté) et le statut physiologique des bars (état de stress marqué surtout chez les bars sélectionnés). De plus, il apparaît que les bars issus de parents sauvages et de parents sélectionnés sur la croissance, ne présentent pas les mêmes aptitudes comportementales et physiologiques d'adaptation face à ce type de stress.

Ainsi, deux générations de domestication ne semblent pas améliorer la tolérance des poissons à ce type de manipulation alors que deux générations de sélection sur la croissance semblent améliorer les capacités d'adaptation et permettre une meilleure croissance bien que des modifications comportementales soient toujours notables (Millot et al. soumis).

Le comportement et les performances de nage des poissons en milieu naturel sont essentiels que ce soit pour trouver de la nourriture, réaliser des migrations ou échapper aux prédateurs. Ils sont également déterminants en milieu d'élevage, pour que les poissons se nourrissent correctement, s'adaptent au courant et se positionnent de façon adéquate dans un groupe. Il est admis que les stress réduisent les performances de nage, mais peu d'études ont été réalisées sur l'effet combiné du stress, de la domestication et de la sélection sur la répartition spatiale et la vitesse de nage des poissons en milieu d'élevage. Pour les 4 souches de bars de niveau de domestication et de sélection différents (*Sauvage*, *Massal*, *CO* et *C+*) et dans le cadre des expériences ci-dessus, la répartition spatiale dans le bassin a été caractérisée au cours du temps pour des individus manipulateurs et le groupe ainsi que la vitesse de nage des manipulateurs. L'objectif est de valider un indicateur comportemental de l'état de stress basé sur l'activité natatoire mesurée cette fois par vidéo analyse (Figure 8).

Les résultats montrent que le premier traitement induisant un stress aigu a un effet plus important que le second sur les variables mesurées quelle que soit la souche concernée. Après le premier facteur de stress, la zone d'alimentation semble privilégiée par les poissons manipulateurs, alors que les autres membres du groupe se répartissent de façon équivalente dans les zones 1 et 2.

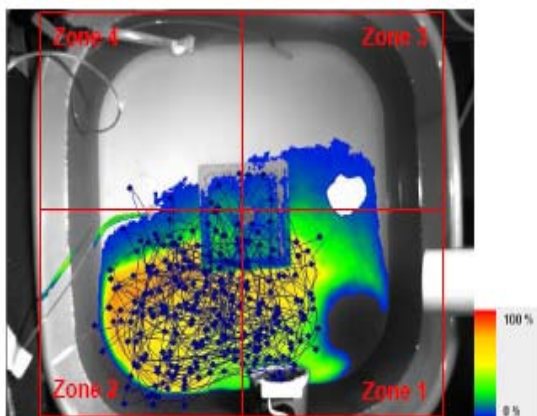


Figure 8 : Exemple de la trajectoire de nage d'un manipulateur obtenue avec le logiciel Visilog 6.2 Noesis (trait bleu) et de la densité d'un groupe obtenue grâce au logiciel SEE_FISH dans les quatre zones du bassin (dégradé de couleur).

Le deuxième stress, quant à lui, ne semble pas avoir d'effets marqués sur la répartition spatiale des manipulateurs (principalement répartis dans les zones 1 et 2), alors que le groupe retrouve une occupation spatiale homogène de tout le bassin. Ces changements semblent étroitement liés à l'évolution du comportement alimentaire des bars suite à l'application du stress. En effet, le premier stress aigu entraîne une forte augmentation des demandes alimentaires (cf. section précédente) expliquant ainsi l'occupation accrue de la zone d'alimentation par les manipulateurs suivi des autres membres du groupe. Le deuxième stress, quant à lui, a un effet beaucoup moins marqué sur le comportement alimentaire et n'influence donc pas la répartition spatiale des poissons dans le bassin. Cette étude révèle ainsi que **le comportement natatoire du groupe est fortement conditionné par celui du manipulateur principal** et que la diminution de la vitesse de nage de ce dernier est principalement due à des mouvements d'extension limitée dans la zone d'alimentation.

*Cette étude a mis en évidence qu'en plus d'un rôle déterminant dans la distribution alimentaire, l'individu manipulateur a un rôle directeur dans la répartition spatiale du groupe. De plus, la répartition spatiale et la vitesse de nage peuvent être considérées comme des **indicateurs secondaires des effets du stress** alors que la **motivation à s'alimenter** semble en être un **indicateur primaire**.*

Effet du stress chronique sur la motivation à s'alimenter :

Après avoir étudié l'influence du niveau de domestication et de sélection sur la tolérance au stress aigu des bars en milieu d'élevage, les effets induits par **le stress chronique** ont été abordés. Dans ce but, des juvéniles de bar issus de 4 souches (*Sauvage*, *Domestique*, *Massal* et *Prosper*) ont été utilisés. L'objectif de cette étude était de comparer l'évolution de leur comportement alimentaire sous self-feeder, leur croissance et leur statut physiologique.

L'expérience a été réalisée à Ifremer à Palavas pendant 91 jours avec 150 poissons par souche en triplicat. Après une première période d'enregistrement non perturbé (*i.e.* contrôle

interne) de 35 jours, les poissons sont soumis à un traitement composé de 4 types de stress imposés aléatoirement plusieurs fois par jour (poursuite des poissons durant 1 min avec une épuisette, flash lumineux de 2s pendant la nuit ou au contraire arrêt de l'éclairage durant 2 s pendant la période de jour et survol d'une silhouette de prédateur au dessus des bassins pendant 30 s) induisant un stress chronique durant 56 jours. Le comportement alimentaire des bars issus de chaque souche est suivi en continu pendant la totalité de l'expérience, l'évolution de la croissance est évaluée grâce à des biométries régulières et le statut physiologique est établi à la fin de l'expérience.

Les résultats montrent qu'au début de la période de stress chronique, toutes les souches modifient leur rythme alimentaire (augmentation de l'activité alimentaire au moment où la lumière s'allume) et augmentent leur quantité d'aliment demandée et ingérée (Figure 9). Pendant cette même période, le taux de croissance diminue de 32% pour les poissons domestiqués ou sélectionnés sur la croissance, alors qu'il reste constant pour les bars *Sauvage*. La diminution du taux de croissance pourrait être le reflet d'une augmentation du coût métabolique due au stress ne pouvant être compensée par l'augmentation de la quantité d'aliment ingérée pour la majorité des souches, excepté les *Sauvage*. Par la suite le stress chronique entraîne quelle que soit la souche, une importante modification du rythme alimentaire (alimentation de plus en plus diurne et pic alimentaire à 06:00), une augmentation de la quantité d'aliment demandée et ingérée (+ 16%) et une augmentation du taux de croissance de 53%.

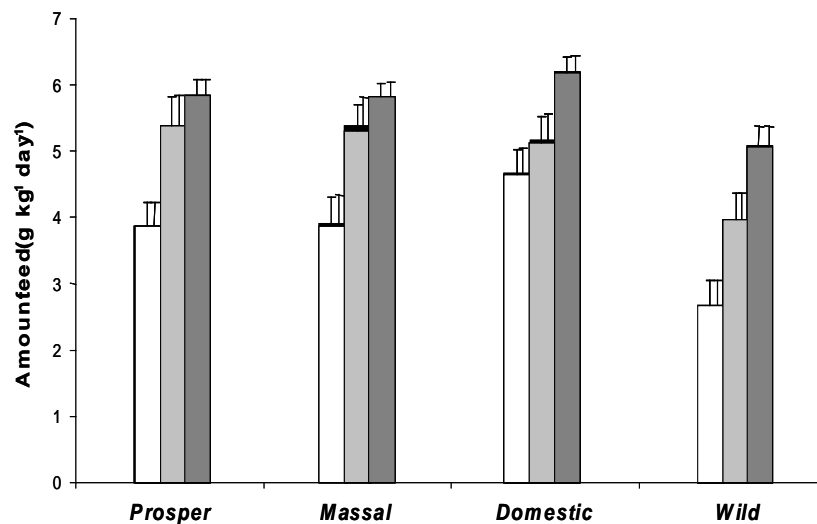


Figure 9 : Moyennes rapportées à la biomasse (\pm SE) des quantités d'aliment demandées et ingérées pour les 4 souches de bars. En blanc pendant la période de contrôle interne, en gris clair durant la première moitié de la période de stress chronique (28 jours), en gris foncé pendant la seconde moitié de la période de stress chronique (28 jours ; en noir : la quantité d'aliment demandée. D'après Millot et al. 2010.

Ces résultats illustrent que les bars issus des 4 souches sont capables de s'adapter à ces facteurs de stress chronique : adaptation qui peut s'expliquer par une habitude progressive aux différents facteurs de stress et/ou par une augmentation de la quantité d'aliment ingérée suffisamment importante pour compenser le coût métabolique supérieur induit par le stress. A la fin de l'expérience, la plupart des variables physiologiques analysées (concentrations du sodium et du lactate sanguin ainsi que le niveau de glycogène hépatique) ne révèlent aucun effet du stress chronique à l'exception de la concentration en glucose plasmatique qui est légèrement supérieure à la normale pour les bars issus des souches *Domestique* et *Massal*. Ces résultats peuvent s'expliquer soit par le fait que le stress chronique réduit généralement les réponses physiologiques, soit parce qu'à la fin de l'expérience, tous les poissons sont adaptés aux facteurs de stress imposés.

Au vu des résultats de cette étude, il apparaît donc que l'application d'un stress chronique modifie le comportement alimentaire des bars, leur croissance et dans une moindre mesure leur statut physiologique, mais qu'une seule génération de domestication ou de sélection pour la croissance ne modifie pas leurs capacités d'adaptation et donc le potentiel de bien-être de cette espèce (Millot et al. 2010).

3.2.5 Perspectives

Dans la suite des programmes Européens précités, des développements sont d'ors et déjà réalisés ou en cours :

D'une part, et en collaboration avec M. Alunno-Bruscia, **une approche modélisatrice de la croissance** a été proposée dans le cadre d'un postdoctorat : L'optimisation de l'élevage du bar intègre à la fois des critères génétiques de sélection d'individus performants du point de vue aquacole, et la mise en place de pratiques respectant à la fois la santé du poisson et son bien-être, ainsi que l'environnement. La détermination de ces critères génétiques et d'éthique repose en grande partie sur l'analyse de courbes empiriques de croissance du bar, obtenues pour différentes conditions d'élevage ou familles génétiques. Or ces courbes ne permettent pas d'expliquer ni de quantifier si des variations de l'efficacité alimentaire ou de la prise alimentaire du poisson ont un effet sur la croissance du bar. L'objectif général du post-doctorat d'A. Campéas, (2008-2009) a donc été d'élaborer un modèle mécaniste bioénergétique de croissance du bar, basé sur la **théorie DEB** (Dynamic Energy Budget, Kooijman 2000) et capable de convertir les variables du milieu (e.g. température, nourriture) en fonctions biologiques (e.g. croissance, reproduction). A partir des données issues de projets européens (i.e. HERITABOLUM, WEALTH, ETHIQUAL, FASTFISH) et de la littérature, la démarche a consisté à : *i/* construire un modèle DEB pour différents génotypes en discriminant entre variance d'origine génétique et variance d'origine environnementale ; *ii/* analyser

de façon exploratoire (statistiquement), puis explicative (en appliquant le modèle DEB obtenu), les données de croissance mesurées sous différentes conditions d'élevage, et contribuer ainsi à la mise en place de critères d'éthique ; *iii/* faire la synthèse des résultats afin de vérifier la pertinence d'utiliser la théorie DEB pour expliciter le choix de critères génétiques d'une part, et des conditions d'élevage du bar d'autre part. Ce postdoctorat s'est inscrit dans une dynamique européenne de recherche sur la domestication et la sélection du bar, avec l'originalité de lier, par le biais de la bio-énergétique, différentes disciplines (génétique quantitative, physiologie et comportement). Ce postdoctorat a contribué au Groupement de recherche européen AquaDEB (responsable M. Alunno-Bruscia) et au projet européen BENEFISH. Ces travaux ont été valorisés par un poster (Poster 1) et une publication va être soumise à l'automne 2010.

D'autre part, le doctorat de David Benhaïm (Ingénieur d'étude à INTECHMER Cherbourg, 2008-2011) a démarré en novembre 2008. Il porte sur la « Caractérisation de la plasticité comportementale chez les poissons ». Les objectifs de ce travail sont de déterminer les différences de comportement pouvant apparaître au sein d'une même population de poissons, d'étudier le lien entre la variabilité comportementale et la variabilité morphologique (par exemple en analysant les capacités de réactions de fuite de jeunes stades chez des individus issus du milieu naturel vs. des individus d'élevage), d'estimer le rôle des composantes sociales et inhérentes dans l'expression de ces différences comportementales. Dans le prolongement des doctorats de S. Millot et C. Di Poi, il s'agit en particulier de tester des facteurs de stress social liés par exemple, à l'hétérogénéité de taille dans les élevages (Benhaïm et al. soumis), et aussi les capacités d'apprentissage et de mémoire de bars de différentes origines.

L'ensemble des résultats obtenus dans ces études n'est qu'un début dans l'analyse des effets de divers stress, de l'influence de la domestication et de la sélection sur les compétences comportementales des bars en élevage et sur la détermination d'indicateurs de bien-être, mais **il pose les bases méthodologiques et conceptuelles, et ouvre de nouvelles perspectives de recherche.**

EFFECTS OF DOMESTICATION, SELECTION AND STRESS ON ENERGY BALANCE OF SEA BASS (*Dicentrarchus labrax*) IN AQUACULTURE

Ifremer

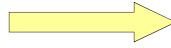
Campeas¹, A., Millot², S., Chatain³, B., Bégout², M.-L., Alunno-Bruscia¹, M.

¹Ifremer, PFOM-PI, 29840 Argenton-en-Landunvez, France. ²Ifremer, HGS-LRHRL, 17137 L'Hourmeau, France. ³Ifremer, BOME-LALR, Palavas-les-Flots, France

CONTEXT & OBJECTIVES

The optimization of *D. labrax* aquaculture involves both genetic criteria for selecting traits of commercial interest, and control criteria of fish welfare for ensuring the long-term sustainability of commercial production systems.

Estimation of these criteria mainly relies on the analysis of empirical growth curves, obtained under different rearing conditions or for different genetic families. Such curves, however, do not enable to test explicitly and to quantify if any variation in feeding patterns (e.g. feed intake, conversion efficiency) can affect the fish growth performances



By using a bio-energetic growth model, 3 main questions are addressed:

1. Any differences of the energy budget among different selected strains

WHY SELECTED FISH ARE BIGGER THAN NON SELECTED FISH?

Higher feed intake or better transformation of the ingested food?

2. Disruption of energy balance by chronic stress

Effect of stress on food intake and utilisation

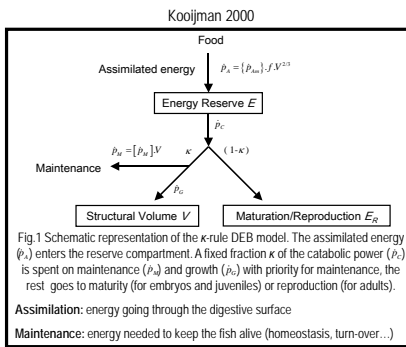
3. Effect of the selection on the stress sensibility of fish

Measurement of the interaction between selection and stress factors

MATERIAL & METHODS

Estimation of assimilation and maintenance parameters by calibration of the DEB model on experimental data

Dynamic Energy Budget model



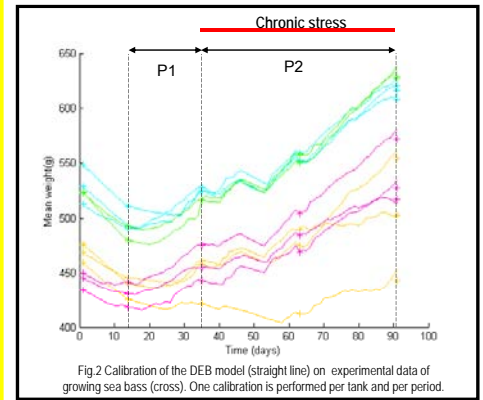
Experimental data

4 strains of sea bass (Vandeputte et al. 2009)

- Wild fish
- Domesticated fish (1 cycle of reproduction in captivity)
- Fish from Massal selection (1 generation)
- Fish from PROSPER selection (1 generation)

Growth (50 fish per tank, 3 triplicates per strain) during 91 days; fish fed with self-feeder
Chronic stress after day 35

RESULTS



Assimilation $\{ \dot{p}_{Am} \}$ ($J \cdot cm^{-2}$)

	Wild	Dom.	Massal	PRO.
P1	271 (106)	586 (70)	476 (191)	433 (22.3)
P2	542 (250)	698 (207)	704 (141)	724 (149)

Main value of the maximum assimilation rate for each period and each strain (3 replicates, the standard deviation are in brackets)

p -value of the repeated measures ANOVA:
- Strain: 0.04
- Stress: <0.001
- Strain*Stress: 0.72

Maintenance $[\dot{p}_M]$ ($J \cdot cm^{-3}$)

	Wild	Dom.	Massal	PRO.
P1	6.9 (6.2)	17.3 (4.5)	9.1 (9.0)	5.2 (5.9)
P2	23.2 (10.6)	22.6 (12.1)	23.6 (2.8)	16.2 (5.0)

Main value of the metabolism rate for each period and each strain (3 replicates, the standard deviation are in brackets)

p -value of the repeated measures ANOVA:
- Strain: 0.44
- Stress: <0.001
- Strain*Stress: 0.06

DISCUSSION & CONCLUSION

1. Differences in the energy budget among strains

-The strain has a significant effect on the assimilation, but not on the maintenance costs

$$\{ \dot{p}_{Am} \}_{Wild} \ll \{ \dot{p}_{Am} \}_{Selected}$$

$$[\dot{p}_M]_{Wild} \cong [\dot{p}_M]_{Selected}$$

Maintenance flux (\dot{p}_M) \cong 15% of assimilation flux (\dot{p}_A) (for selected fish of 500g)

\Rightarrow The differences in growth among strains is mainly explained by differences in assimilation

\Rightarrow Selecting the biggest fish results likely in selecting the fish that eats more

Further studies are needed to explain the "unusual" behaviour of domesticated strain, i.e. high assimilation and high maintenance.

2. Effect of a chronic stress on the fish energy balance

- A chronic stress results in increasing significantly the assimilation and maintenance rates

\Rightarrow A chronic stress involves an increase of feeding which does not lead to an increase of growth

\Rightarrow A chronic stress leads to a costly waste of feeding; this should be avoided for both economical and environmental reasons

In this study, an increase of metabolism is also blurred with a decrease of food digestibility

3. Effect of selection on stress sensibility?

- The increase of assimilation and metabolism caused by the chronic stress did not vary among strains

\Rightarrow There is no difference in terms of sensibility to stress among selected and non-selected strains

\Rightarrow Cultural practises and/or selection oriented upon stress resistance may help to decrease the effects of stress

Campeas A., Millot S., Chatain B., Bégout M.-L., Alunno-Bruscia M. 2009. Effects of domestication, selection and stress on the energy balance of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in aquaculture. *Aquaculture Europe 2009* - August 14-17, 2009, Trondheim, Norway. Poster.

Acknowledgments. This work was performed within the IP SEAFOOD plus and COMPETUS, STREP FASTFISH & BENEFISH. The financing of this work by the EU is gratefully acknowledged.

References.
Kooijman S.A.L.M., 2000. Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge University Press, Cambridge, 424 p.
Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., Halfray, P., Chavanne, H., Cenadelli, S., Parati, K., Vidal, M.-O., Vergnet, A., Chatain, B., 2009. Response to domestication and selection for growth in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in separate and mixed tanks. *Aquaculture* 286, 20-27.

Ainsi, les variations des différents éléments composant le comportement alimentaire et natatoire, le potentiel de croissance et le statut physiologique ont été interprétées en termes de tolérance au stress, de capacité d'adaptation, de modification du métabolisme et de personnalité. Les interconnexions existantes entre comportement et physiologie, et les interprétations déduites des résultats ont été abordés de façon novatrice et pluridisciplinaire. Il reste encore des questions auxquelles nous n'avons pas pu répondre, soit parce que les résultats obtenus ne nous ont pas permis de conclure, soit parce que des expériences complémentaires doivent être réalisées. Cependant, au vu de ces résultats, il est évident que ces travaux ont tous contribué à **la création et au développement d'indicateurs comportementaux sensibles et pertinents pour l'évaluation du degré d'adaptation des poissons aux contraintes de leur milieu** et notamment dans l'étude des effets du stress et des processus de domestication et de sélection.

En particulier, les principaux comportements modifiés après exposition aux facteurs de stress étaient: 1) la prise et le rythme alimentaire, 2) l'activité de nage, 3) la prise de risque, 4) l'exploration de l'habitat et la fuite face à un danger, 4) les interactions sociales (statut social, apprentissage et transmission de comportements entre individus). Pour chacun de ces indicateurs, des méthodes et des outils ont été développés dans mon groupe et le transfert de ces indicateurs sur d'autres espèces et dans d'autres contextes est en cours, notamment celui de l'exposition à des contaminants (cf. section 3.4.).

Les perspectives à ces travaux qui seront menées, entre autre, dans le cadre du GDR **AG INRA-Ifremer**, sont **d'approfondir les connaissances sur certains mécanismes particuliers liés à la cognition** et sur la base génétique qui sous-tend la variabilité des réponses mises en évidence :

- En évaluant, au fil d'autres générations de domestication et de sélection et/ou selon les pratiques d'élevage, **l'évolution des réponses comportementales et cognitives** et celles concomitantes du potentiel de croissance et du statut physiologique à l'aide des indicateurs et méthodes de mesure (glucose et lactate sanguin, sérotonine cérébrale etc....) validés dans ces travaux.
- Puis par la suite, en déterminant la variabilité génétique des réponses au stress observées entre les individus et/ou entre les souches et en estimant **l'héritabilité de ces différentes stratégies adaptatives**.

3.3 Dynamique spatiale, conséquences sur l'étendue de l'habitat.

Dans les écosystèmes côtiers, la variabilité environnementale, naturellement plus forte que dans les mers ouvertes, est à l'origine de contraintes pesant sur les espèces qui occupent ces milieux. Cette variabilité est à l'origine d'adaptations au niveau des organismes et des populations. La détermination des caractéristiques physiologiques de ces espèces côtières permet de décrire en termes énergétiques ces capacités d'adaptations, qui conditionnent leur rendement biologique, mais qui contraignent les populations dans le cas des espèces sessiles. Les espèces vagiles dont les poissons, possèdent une **capacité d'évitement** qui leur permet de se situer dans les conditions d'une dépense énergétique optimisée. Une approche d'ordre physiologique présente donc un intérêt particulier pour aborder la question des capacités d'adaptation de ces espèces. Cependant, l'approche écophysiologique ne suffit pas à elle seule pour décrire la capacité d'adaptation des espèces vagiles dans le domaine côtier. En effet, les poissons en particulier effectuent leurs déplacements selon des contraintes qui sont, entre autres origines, dues aux facteurs du milieu. Ils sont susceptibles d'adopter des types de comportement (*e.g.* hypo- ou hyperactivité) en relation avec ces facteurs du milieu, la recherche de nourriture, ou les caractères physiques du biotope fréquenté. S'il semble complexe de vouloir établir les déterminismes de la fréquentation d'un biotope par une espèce, j'ai cependant souhaité, par **une analyse multi marqueurs dont celle du comportement en relation avec certains facteurs**, aborder la question de l'**utilisation, partielle ou globale, d'un habitat** (habitat potentiellement accessible vs. habitat effectivement utilisé – *i.e.* réalisé) aux différents stades (juvéniles vs. adultes) afin de répondre à deux questions principales :

Comment l'habitat est-il sélectionné sous la pression de l'environnement ?

L'obtention de données quantifiées sur l'activité locomotrice et la distribution spatiale des poissons en milieu naturel permet d'acquérir les informations nécessaires à la modélisation de la dynamique d'ensemble des relations poisson-milieu avec un bon degré de prévisibilité. Il s'agit ensuite de déterminer les mécanismes de sélection des habitats particuliers aux différents stades (habitats juvéniles puis adultes qui peuvent être distants dans l'espace), et d'estimer dans quelle mesure les déplacements des poissons résultent de modifications de l'habitat et/ou des ressources disponibles et/ou de leur propre état nutritionnel (Gillanders et al. 2003). Cette meilleure compréhension des **relations poisson-milieu** est une étape essentielle avant son intégration dans les modèles bio-démographiques d'une part, et l'étude de la **connectivité, i.e. des échanges, entre habitats juvéniles et adultes** d'autre part, voire des micro habitats des poissons en milieux côtiers (Beck et al. 2001, Able 2005).

Quelles sont les conséquences de la sélection de l'habitat sur l'accès aux ressources trophiques et sur l'étendue de l'habitat réalisé ?

Les pertuis Charentais (écosystèmes estuariens caractérisés par la présence de dessalures, la forte influence des marées, une forte turbidité, et une production biologique généralement élevée), constituent une zone de nourricerie⁴ d'un certain nombre d'espèces d'intérêts halieutiques installées. En particulier, les juvéniles de sole présents dans ces pertuis, dépendent directement pour leur alimentation du réseau de production d'invertébrés benthiques lui-même soutenue par la production microphytobenthique et les apports d'origine terrigène (Le Pape, comm. Pers.). Cependant, les activités conchylicoles y sont également largement développées mais aussi celles liées à la pêche et aux loisirs. Des projets d'extension conchylicoles, de parc marin (Gironde-Pertuis) mettent au premier au plan la question de l'impact des activités humaines sur la structure, le fonctionnement et la production de ces nourriceries côtières. Les objectifs poursuivis dans mes recherches visent à contribuer en particulier à **la connaissance de l'occupation spatiale et temporelle de la nourricerie**, à évaluer dans quelle mesure **le forçage anthropique agit sur le comportement des juvéniles** et à **identifier les facteurs environnementaux dirigeant les variations de la croissance** de ces juvéniles.

Les campagnes TELPER et MAZDA (PNEC) ont fourni des informations nouvelles sur le déplacement des soles et sur l'occupation de l'espace dans le bassin de Marennes-Oléron. En raison des difficultés à mettre en œuvre une mesure quantitative de l'abondance des juvéniles au sein des installations conchylicoles, une expérimentation de type mésocosme est venue en appui des travaux de terrain, pour vérifier l'effet des activités conchylicoles sur la répartition et le comportement alimentaire des juvéniles, ainsi que sur la structuration de la nourricerie qui en résulte. C'est au cours de ces travaux sur les juvéniles de sole des pertuis que l'observation de kystes (métacercaires de Trématodes) a été faite lors de la dissection de ces juvéniles pour d'autres types d'analyses (extraction des otolithes et prélèvement du foie notamment). Une collaboration initiée avec P. Sasal a permis dans un premier temps l'identification du parasite (Laffargue et al. 2004) puis a conduit au doctorat de E.D.H. Durieux qui a eu comme objectifs d'établir le cycle biologique de ce trématode dont la sole est hôte intermédiaire et de mesurer les implications de cette infestation sur la biologie

⁴ *Les nourriceries côtières sont des habitats restreints et instables par lesquelles passent de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés au cours de leur cycle de vie (lors de la période juvénile, Miller et al. 1984). Selon Beck et al. (2001), un habitat est considéré comme nourricerie si sa contribution à la production d'individus est supérieure à celles des autres habitats.*

(croissance), l'éthologie (déplacements) et l'écologie de la sole. Dans le même temps, j'ai développé l'application de marqueurs complémentaires à ceux que sont les marques électroniques et les parasites afin d'aborder par d'autres outils le fonctionnement de cette nurserie. D'abord à l'aide de la microchimie de l'otolithe : une action est toujours en cours sur l'utilisation de cet outil pour établir la participation de la zone des pertuis au stock de sole (collaboration H. de Pontual Ifremer et IUEM Brest). Puis, j'ai initié une étude en génétique des populations sur les soles des nurseries (collaboration avec B. Guinand, Univ. Montpellier) afin de caractériser les cohortes arrivant dans les pertuis. Les principaux résultats obtenus lors de ces travaux sont présentés ci-après ainsi que leurs perspectives en cours développées dans le domaine de l'écotoxicologie appliquée aux ressources halieutiques.

Contexte programmatique : L'ensemble de ces travaux a été réalisé dans le cadre de programmes régionaux (CPER Poitou-Charentes, 2000-2006, 2007-2013) et nationaux (PNEC 'Chantier Golfe de Gascogne' Axe 6 Projet NURCE 2001-04 et Défi GG 2002-04, ORE REPER) et du programme Ifremer 'DYSCO', projet 'Habitats perturbés' (2004-2007).

Equipe et collaborations : Pour réaliser ces travaux j'ai encadré l'équipe suivante E.D.H. Durieux (Doctorant), M. Le Duigou (M2) ; M. Vignon, A. Leclercq, G. Pineaudau (M1) avec les soutiens techniques de D. Leguay, P. Prineau, Ph. Pineau, L. Joassard, C. Arnaud et J. Grizon. J'ai collaboré principalement avec F. Lagardère et son doctorant P. Laffargue, J.P. Lagardère (CNRS), P. Sasal (CNRS Perpignan), H. de Pontual (Ifremer, Brest) et B. Guinand (MCF Univ. Montpellier II).

3.3.1 Approche *in situ* des interactions Pêche-Conchyliculture

Ecosystèmes côtiers et estuariens à vocation conchylicole, les pertuis Charentais abritent aussi une ichthyofaune diverse alimentant la pêche côtière. Avec le Bassin de Marennes-Oléron comme site de référence, la sole commune (*Solea solea*) a été choisie comme espèce-cible de cette étude parce que ses juvéniles y représentent une fraction constante et souvent la plus abondante de l'ichthyofaune. Bassin ostréicole de 1^{er} rang, les pertuis Charentais sont aussi une nurserie majeure de la sole du golfe de Gascogne (Le Pape et al. 2003). Dans une perspective de gestion durable, la question était de savoir dans quelle mesure les emprises conchylicoles agissent sur l'étendue et la qualité de la nurserie. Avec une approche intégrée, les recherches entreprises dans les pertuis Charentais ont eu pour objectifs : de définir l'habitat réellement occupé par les juvéniles de la sole au sein de la nurserie potentielle que représentent les zones de substrats meubles et de préciser la valeur écologique de cet habitat à travers le comportement alimentaire et les variations en croissance de ses hôtes.

Au cours de deux campagnes exploratoires (TELPER1 et 2), le pistage de soles par télémétrie acoustique a été utilisé en milieu côtier afin de **déterminer l'extension des mouvements et l'étendue de l'habitat des juvéniles de sole**. Ces campagnes ont confirmé le rôle de nurricerie majeure joué par le bassin conchylicole de Marennes-Oléron. Cette nurricerie soutient l'ensemble des classes d'âge qui y trouvent nourriture et probablement refuge. Les marques électroniques, émetteurs d'un poids moyen de 3,9 g dans l'air, permettaient d'appareiller des soles de 24 cm minimum (~2 ans), soit un poids moyen de 120 g. Le pistage de soles par télémétrie (soles de 24 à 27 cm de longueur totale) semble vérifier une forte liaison entre les déplacements et, d'une part, les rythmes tidaux et les conditions de vives ou de mortes eaux (Figure 10, Bégout Anras et al. 2002), mais aussi, d'autre part, avec les cycles nycthémeraux.

Ces liaisons font que ce milieu, bien que très fortement structuré par les activités conchylicoles, ne limite pas l'extension des déplacements des soles.

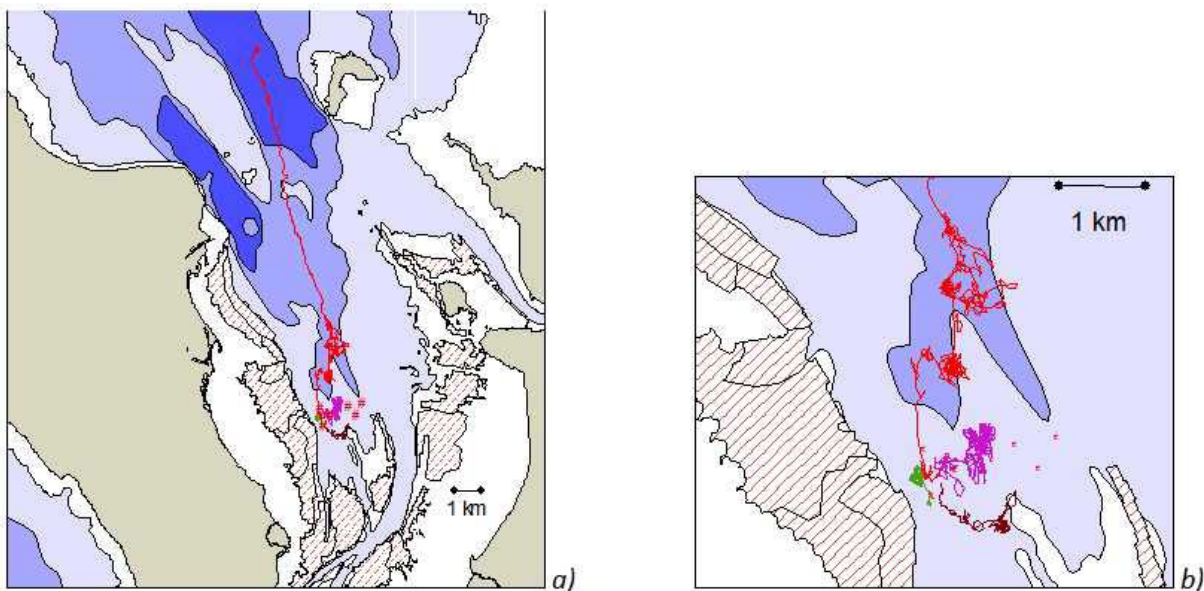


Figure 10 : (a) Carte du site des campagnes TELPER, (b) Déplacements des différentes soles suivies pendant près de 48h chacune (en rouge : sole n°1, en vert : sole n°2, en violet : sole n°3 et en marron : sole n°4). L'extension des déplacements est de l'ordre de 700 m pour la sole n°2, à 14 km pour la sole n°1. Les symboles rouges correspondent aux points de mouillage des bouées de télémétrie. Les zones hachurées figurent les parcs ostréicoles.

Suite à cette première analyse, j'ai co-encadré (doctorat P. Laffargue) des investigations sur une base expérimentale pour vérifier la capacité des juvéniles à utiliser la partie d'habitat placée sous emprise conchylicole.

3.3.2 Approche expérimentale des interactions Pêche-Conchyliculture

Dans un enclos positionné dans un mésocosme (marais maritime) et structuré par la présence de tables à huîtres, le comportement natatoire de 9 individus a été enregistré par télémétrie acoustique pendant 15 jours. 8/9 soles ont une activité natatoire rythmée par l'alternance jour/nuit et le niveau d'activité est dirigé par la température ambiante. L'occupation de l'espace se fait prioritairement vers les zones sous l'abri des tables (Figure 11, 6 soles sur 9 occupent la zone des huîtres vivantes, 2/9 celle des coquilles et 1 seule sole, la zone libre L, Laffargue et al. 2006).

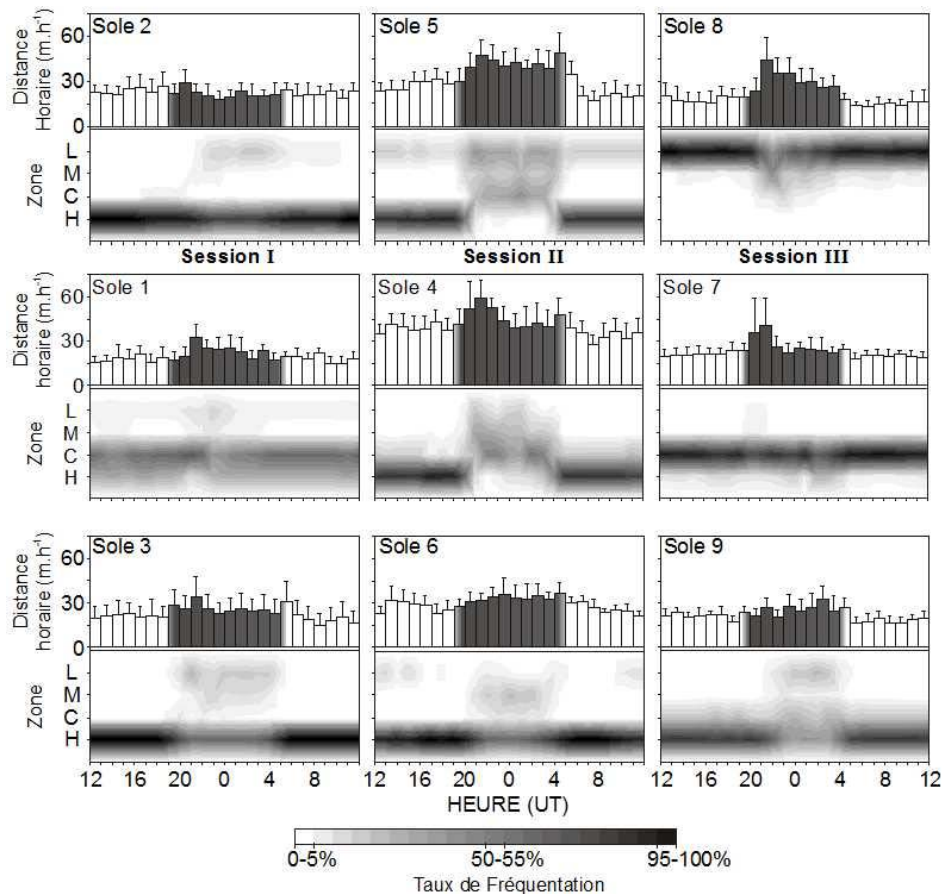


Figure 11 : Comportement de 9 soles enregistrées au cours des 3 sessions de 15 jours chacune dans un enclos délimitant 3 zones (2 zones de tables avec des huîtres vivantes H et des coquilles C et 1 zone libre L) interconnectées par une zone médiane M. Moyenne horaire de l'activité natatoire (histogrammes, distance horaire \pm écart-type - jour = blanc et nuit = noir) et de l'occupation des différentes zones du mésocosme (graphiques inférieurs, taux de fréquentation en %) (Laffargue et al. 2006).

A partir de ces expérimentations faites en mésocosme, aucun élément ne permet de dire que les soles éviteraient les vasières intertidales qui se trouvent sous l'emprise des élevages d'huîtres.

En conclusion de cet ensemble de travaux, il apparaît que les juvéniles de sole sont capables d'accéder à l'intégralité de la nourricerie des pertuis Charentais et d'y hiverner dans le contexte climatique actuel, du moins pour une grande partie d'entre eux. Leur croissance paraît plafonner dès

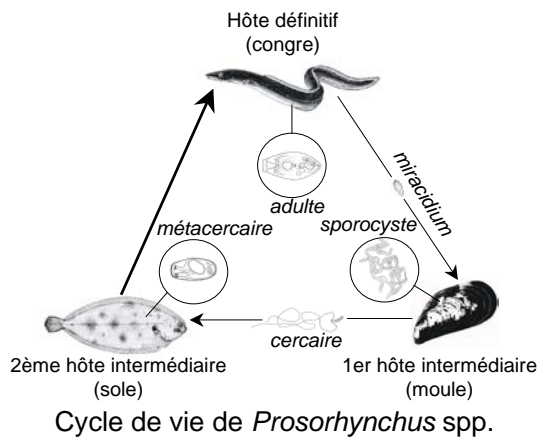
le début de l'automne (Laffargue, 2004). Si cet état résulte de l'émigration des plus grands individus de la classe annuelle, cela signifie que ces derniers ont atteint la taille critique d'émigration (Cabral, 2000) dès la fin de l'été et qu'ils quittent la nourricerie sans y être incités par des signaux thermiques. Toutefois, il faut rappeler que si la mer de pertuis fonctionne comme la partie externe d'un grand estuaire (plus de 1200 km² au total), elle reçoit très peu d'eau douce : par pertuis, environ 200 m³ s⁻¹ en crues d'hiver, réduits à 10-20 m³ s⁻¹ l'été (base de données hydrologique de la DIREN). Alors que dans un estuaire où débouche un grand fleuve, les juvéniles quittent les nourriceries devenues inhospitalières l'hiver. Les conditions de la mer des pertuis en font un lieu d'hivernage plus marin et tempéré.

Des questions restent en suspens : Dans quelle mesure **les juvéniles non migrants ne sont-ils pas piégés et / ou en surnombre** dans un milieu où un ensemble d'événements concourt pour amoindrir, de l'été à l'automne, la qualité de l'habitat (parasitisme, polluants ...) ? Cela pourrait expliquer la moins bonne condition de ces résidents par rapport à ceux d'autres nourriceries (Gilliers et al. 2004). Cependant, la nature exacte et l'ordre dans lequel ces événements interviennent est encore difficile à établir parce qu'ils interagissent selon un mode saisonnier. Ces développements ont modifié notre hypothèse initiale relative à l'emprise des élevages d'huîtres, mais ils n'invalident pas **le concept d'habitat estuarien essentiel au cycle biologique de la sole**. C'est d'ailleurs le paradoxe de ce type d'habitat estuarien : bien que générateur de stress, il représente un compromis plus profitable à la survie des juvéniles de poissons plats que d'autres types d'habitat (Yamashita et al. 2003).

3.3.3 *Un facteur biotique lié aux interactions Pêche-Conchyliculture : le parasitisme*

C'est donc dans ce cadre de l'étude du fonctionnement de la nourricerie de sole des pertuis Charentais que nous avons, d'une part, identifié la sole comme deuxième hôte intermédiaire de parasites digènes et, d'autre part, précisé un effet attractif certain des structures conchyliques sur les choix de résidence des juvéniles alors que les niveaux d'activité sont très liés aux conditions environnementales (Laffargue et al. 2006). Ces résultats ont suscité le démarrage d'une thèse avec des travaux couplant éco-éthologie, écologie parasitaire et biologie moléculaire afin de préciser le rôle du parasitisme en tant que facteur pouvant affecter les **performances biologiques des juvéniles de sole dans ces habitats ainsi que le comportement de nage**. Les objectifs de cette thèse étaient de déterminer la dynamique spatio-temporelle de l'infestation des juvéniles du groupe 0 (G0) de sole par des métacercaires de Digènes à différentes échelles ; d'évaluer les effets de cette infestation au niveau individuel à différents niveaux d'intégration biologique (immunité moléculaire, expression de gènes d'intérêt tel que C3), condition lipidique, croissance et caractéristiques comportementales de

nage. Afin de répondre à ces objectifs, des approches descriptives et expérimentales ont été utilisées. Certains résultats sont illustrés ci-après.



Ces travaux menés ont permis de montrer d'une part, que les GO de sole accumulent, localement dans les nourriceries côtières, différents taxons de métacercaires de Digènes : *Prosorhynchus* spp. (Bucéphalidés), *Timoniella* spp. Acanthostomidés) et *Podocotyle* sp. (Opécoelidés) et, ont d'autre part, **confirmé le cycle de vie de *Prosorhynchus* spp.** (Ci-contre, Durieux, 2007)).

La détermination de la variabilité spatiale de l'infestation parasitaire entre différentes nourriceries de Manche et du Golfe de Gascogne a aussi été décrite (Durieux et al. 2007).

Grâce au couplage de l'analyse morpho-anatomique et de l'analyse moléculaire (séquençage de l'ITS 1), les espèces de métacercaires du genre *Prosorhynchus* infestant les GO de sole, à savoir *P. crucibulum* et *Prosorhynchus* sp. A (proche de *P. aculeatus*) ont été distinguées. Le cycle de *P. crucibulum* dans les pertuis Charentais a été confirmé et l'implication de la mytiliculture sur bouchots (moule = premier hôte intermédiaire) dans la transmission de ce parasite mise en évidence. A environ 1 mois post-infestation (période où les métacercaires sont libres dans l'hôte), une relation positive entre *P. crucibulum* et l'expression du gène C3 (mesuré en RT-PCR quantitative en temps réel) des GO de sole a été montrée suggérant une activation d'une réponse immunitaire faisant intervenir le système du complément.

Afin de préciser la **dynamique spatiale de l'infestation et les performances de croissance**, la mesure de la variabilité spatio-temporelle intra-nourricerie dans les pertuis Charentais et une infestation *in situ* de juvéniles GO de sole par *P. crucibulum* ont été réalisées. Ces infestations *in situ* ont été réalisées en cage en contrôlant à la fois la durée d'exposition et la distance par rapport au premier hôte intermédiaire, à savoir la moule. Des soles non-parasitées issues d'une aquaculture hollandaise ont été individuellement identifiées à l'aide de marques VI alpha (NMT, Ltd) et élevées à partir de mai 2005 dans les conditions contrôlées. Les infestations *in situ* ont eu lieu dans le pertuis Breton (Charente-Maritime) en juillet, période d'infestation maximale des juvéniles de sole par *P. crucibulum*. Quatre cages (n = 40 par cage) ont été placées en plongée subaquatique sur le fond à une profondeur d'environ 3 m sur deux stations situées respectivement dans une zone mytilicole de bouchots (B) et hors-bouchots (HB) éloignées de 500 m. Un lot témoin (n = 40) a été gardé dans les conditions contrôlées. Après respectivement 4 et 11 jours d'exposition, les cages ont été retirées et

les soles remises en conditions contrôlées pendant 3 mois. Durant l'expérience, un suivi biométrique a été effectué tous les 14 jours afin de calculer le coefficient de condition de Fulton et le taux de croissance absolu. En octobre, les soles ont été sacrifiées et disséquées ; les parasites ont été localisés, identifiés et comptés. Il y a une différence significative d'infestation (prévalence et abondance) entre les cages dans les bouchots et hors des bouchots pour les deux durées. Il existe une relation positive significative entre la taille des poissons au moment de l'infestation et le nombre de parasites. De plus, dans les bouchots et en 11 jours, l'abondance moyenne maximale observée en milieu naturel est atteinte. Par contre, il n'existe aucune différence significative entre les traitements pour la condition ou la croissance.

*Ces résultats ont précisé la dynamique spatio-temporelle de l'infestation par *P. crucibulum*, en confirmant qu'elle se produit essentiellement en juillet et qu'elle est essentiellement contrôlée par les facteurs locaux que sont la présence (probablement aussi l'abondance) des premiers hôtes intermédiaires et la capacité de dispersion des cercaires. Les niveaux d'infestation, sont particulièrement élevés dans les baies (par rapport aux grands estuaires), ce qui montre le succès des cycles de vie de ces parasites dans ce type d'habitat. Par ailleurs, l'infestation est caractérisée par une très forte hétérogénéité spatiale à petite échelle.*

*Activité natatoire et capacités cryptiques des juvéniles G0 de sole commune (*Solea solea*) : Effets de la charge parasitaire de *Prosorhynchus* spp. :*



Chez les Digènes marins, **l'altération comportementale du deuxième hôte intermédiaire**, facilitant la transmission trophique vers l'hôte définitif, est connue pour certaines espèces (Barber et al. 2000). L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets de *Prosorhynchus* spp. sur le comportement natatoire et cryptique des juvéniles G0 de sole. L'activité natatoire a été mesurée par vidéo-analyse sur deux jours (dans une arène circulaire de 90 cm de diamètre avec un fond de sable noir), sur deux lots de poissons : 32 individus sauvages infestés naturellement prélevés en juin, juillet, septembre et novembre (2004) ; 18 individus issus d'aquaculture dont deux groupes soumis à une infestation *in situ* et un groupe témoin (cf. ci-dessus). Sur ce dernier lot, des expériences d'adaptation à la couleur du substrat et de choix de couleur de substrat ont été menées. Les résultats indiquent que l'activité natatoire des juvéniles G0 diminue de juin à novembre, ce qui, indépendamment du parasitisme, met clairement en évidence, de manière quantitative, le processus de **sédentarisation sur la nourricerie** (Figure 12, Durieux et al. 2009). Cependant, en 2004, l'effet de *Prosorhynchus* spp. n'a pu être apprécié spécifiquement du fait de l'infestation par d'autres Digènes. Les individus

infestés de 2005 présentent des niveaux d'activité et des temps de nage nettement inférieurs, ainsi que des fréquences d'enfouissement significativement plus importantes, par rapport aux individus témoins. Cette activité ralentie refléterait **une stratégie de réduction des dépenses énergétiques par l'hôte en compensation du coût métabolique de l'infestation**. L'activité plus élevée de certains individus les plus infestés laisserait supposer un seuil d'infestation au dessus duquel l'activité serait exacerbée, ce qui pourrait éventuellement correspondre à une stratégie de manipulation de l'hôte par le parasite et /ou à une nécessité de consommer davantage de nourriture. Alors que la capacité des juvéniles à adapter leur coloration au substrat ne semble pas altérée par l'infestation, des différences marquées dans la préférence de couleur de substrat ont été relevées entre les individus témoins et les individus faiblement à moyennement infestés. Cette différence de stratégie cryptique pourrait potentiellement favoriser le parasite qui pénètre à travers le tégument au stade cercaire.

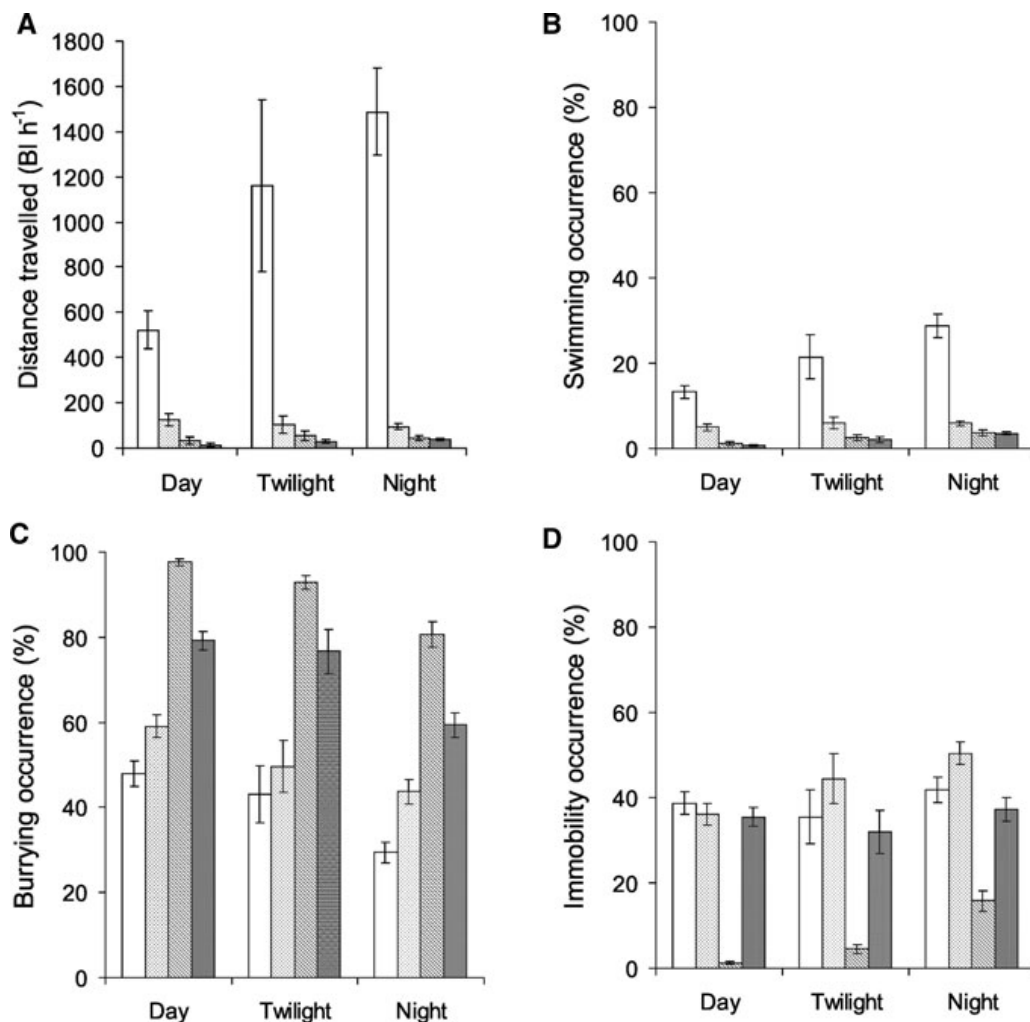


Figure 12 : Distance moyenne parcourue (en longueur de corps, BI h⁻¹) (A) et fréquence d'apparition (%) des trois différents types d'activité : la nage (B), l'enfouissement (C) et l'immobilité (D) par mois échantillonnés (de blanc à gris foncé : juin, juillet, septembre et novembre) et par période de lumière (jour, crépuscule, nuit) pour des soles communes (*Solea solea*) du groupe-0 capturées en 2004 dans la zone des pertuis Charentais (France). La période de lumière artificielle a été définie comme suit : jour, 8:00–21:00 ; crépuscule, 7:00–8:00 et 21:00–22:00 ; nuit, 22:00–7:00. Les valeurs ont été calculées sur une période d'observation totale de 48 heures. D'après Durieux et al. 2009.

*L'infestation par *Prosorhynchus* spp. est donc susceptible d'affecter l'immunité et la condition, et peut aussi induire des **altérations comportementales de l'activité natatoire et de la capacité cryptique** des juvéniles de sole. Dans le futur, des expériences complémentaires focalisées sur les indicateurs les plus pertinents devraient être menées en conditions d'infestation contrôlées, avec des effectifs plus importants afin de confirmer ces résultats et en particulier la modulation des ces effets par le développement du parasite, le statut physiologique de l'hôte et les facteurs environnementaux.*

3.3.4 Marqueurs naturels de l'utilisation de l'espace

3.3.4.1 Les parasites



L'exemple suivant illustre l'usage des parasites comme marqueurs biologiques de l'utilisation de l'habitat par l'hôte. Des juvéniles G0 de sole ont été capturés en avril, mai, juin, août et octobre 2005 sur 9 stations des pertuis Charentais à l'aide d'un chalut à perche standard, ce qui a permis le calcul de leurs densités. Des individus sous-échantillonnés ($n = 498$) ont été disséqués afin d'identifier et compter les métacercaires de Digènes. Les individus se concentrent dans les zones peu profondes (0 – 5 m) de l'habitat des pertuis Charentais à partir de mai avec une variabilité spatiotemporelle des densités (entre 0,3 et 189 individus 1000 m^{-2} suivant les stations échantillonnées). L'infestation présente une très forte variabilité spatiotemporelle qui apparaît fortement liée à la présence locale des premiers hôtes intermédiaires (moule cultivée, hydrobies et littorines). Les analyses factorielles discriminantes réalisées présentent des taux élevés de reclassements corrects des individus dans les stations (de 74 % à 84 % en moyenne) de juin à octobre, ce qui montre **la forte sédentarité des individus dans les différentes sous-parties de l'habitat (microhabitats) des pertuis Charentais**. En octobre, l'augmentation de la densité sur les stations plus profondes (5 – 10 m) et la forte variabilité de l'infestation sur ces stations reflètent vraisemblablement l'initiation de la migration pré-hivernale. Par ailleurs, la station de la baie de l'Aiguillon présente les plus fortes densités d'août à octobre et les performances de croissance (suivi de la longueur standard) les plus élevées par rapport aux autres stations. Il existe ainsi une **variabilité spatiale de la qualité de l'habitat à petite échelle** dans les pertuis Charentais, qui pourrait être liée à la disponibilité en nourriture. En milieu naturel, seule une relation négative entre l'abondance des métacercaires de *P. crucibulum* et l'indice de condition morphométrique K des G0 a été détectée en novembre. La forte diminution de température à cette période ajoutée au très faible statut nutritionnel (indice lipidique TAG / ST) des individus de cette partie de l'habitat, conduit à diminuer

leurs capacités de compensation face à des taux d'infestation élevés de *P. crucibulum*, ce qui pourrait limiter leur capacité de survie au premier hiver (Durieux et al. 2006).

*Les parasites tels que les **métacercaires de Digènes** peuvent ainsi être utilisées comme **marqueurs biologiques** et ils permettent d'inférer sur les mouvements des juvéniles G0 de sole à petite échelle (Durieux et al. 2010). La prise en compte des parasites semble donc être une approche pertinente dans l'étude du fonctionnement des nurseries côtières pour les juvéniles de Pleuronectiformes.*

3.3.4.2 La microchimie des otolithes



Outre les marqueurs électroniques ou naturels tels que les parasites présentés ci-avant, d'autres marqueurs sont disponibles pour déterminer le périmètre d'une nurserie puis sa contribution à un stock (Beck et al. 2001). Les nurseries des pertuis sont des habitats restreints qui présentent des différences spatiales en termes de quantité et de qualité. *In fine*, la qualité d'un habitat pour une espèce donnée s'exprime par sa contribution au recrutement dans la population adulte. Ainsi comprendre la connectivité entre les habitats des juvéniles et des adultes, et donc savoir évaluer la contribution de chaque nurserie au stock adulte est essentiel en terme de gestion halieutique et d'identification des enjeux pour la conservation de la zone littorale (Gillanders et al. 2003). La microchimie de l'otolithe pourrait contribuer à l'étude de ce lien critique encore mal connu pour le stock de sole du golfe de Gascogne en utilisant la composition élémentaire des otolithes comme marqueur discriminant des nurseries.

Ces travaux ont été entrepris grâce à des juvéniles de sole nés dans l'année (G0) et collectés dans les 6 principales nurseries (baies et estuaires) du golfe de Gascogne en septembre/octobre 2003 dans le cadre de la campagne MISOLRE réalisée par l'Ifremer. La composition multi élémentaire a été déterminée dans les otolithes entiers (n = 119) par analyse ICP-MS en solution (en collaboration avec H. de Pontual Ifremer et l'IUEM Brest, Poster 2). Les signatures élémentaires différaient significativement suivant les sites en particulier pour les éléments 7Li, 23Na, 25Mg, 43Ca, 55Mn, 86Sr, 63Cu, 69Ga, 85Rb et 135Ba (Figure 13). Une analyse factorielle discriminante a permis d'affecter 68 % des individus à leur nurserie d'origine à partir de la signature multi élémentaire de leurs otolithes (Figure 14). Les informations fournies par cette étude pourront donc être utilisées pour estimer assez correctement la contribution relative des différentes nurseries au stock adulte (pour une même cohorte) de sole du golfe de Gascogne. Dans le cadre du contrat de projet avec la région Poitou-Charentes, cette thématique est actuellement poursuivie avec des analyses

microchimiques portant sur les otolithes d'adultes de 4 ans (G4) pêchés en 2007 sur les 3 frayères principales du Golfe de Gascogne. Nous espérons pouvoir mettre en correspondance les compositions élémentaires mesurées chez les juvéniles de 2003 et celles du nucleus des G4 de 2007 afin de mettre en évidence la connectivité entre ces deux types d'habitats pour ce stock de sole. Pour une centaine d'individus par frayères nous avons réalisé l'extraction des otolithes en conditions propres. Après validation de l'âge de ces échantillons, nous réaliserons fin 2010 une analyse microchimique (Collaboration UPPA-LCABIE) sur un sous-échantillon d'une trentaine d'individus par frayères afin de reconstruire le profil microchimique selon le principe récemment décrit par Fromentin et al. (2009).

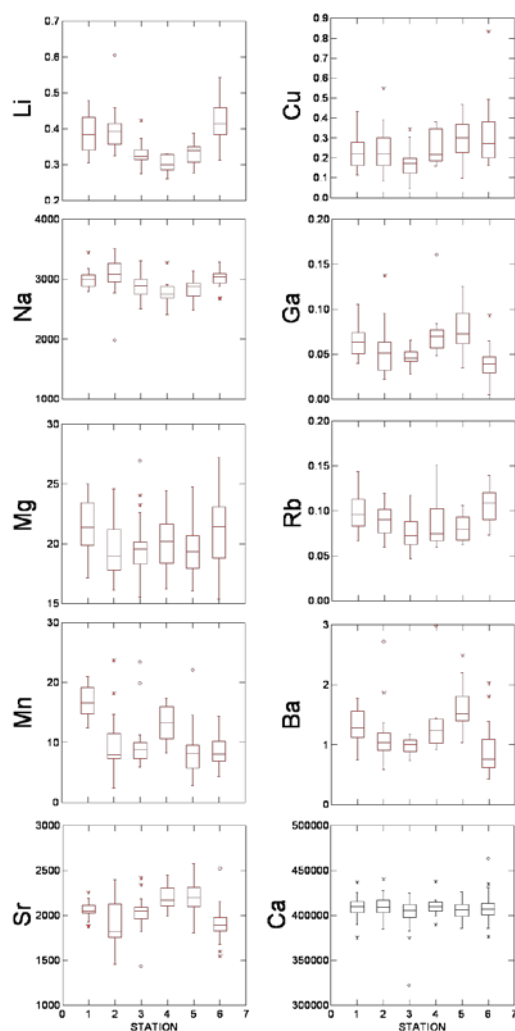


Figure 13 : Concentrations moyennes (en ppm) pour les éléments analysés dans les otolithes de GO de sole pour les différents sites.

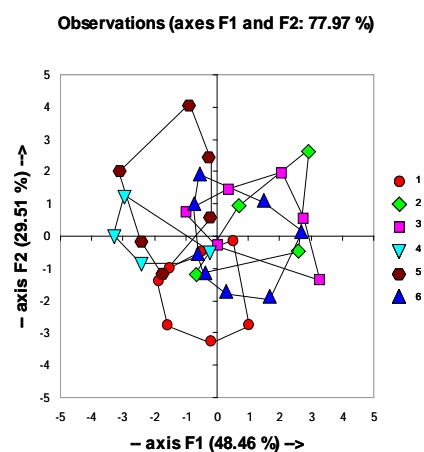


Figure 14 : Représentation graphique en enveloppe de l'analyse factorielle discriminante : projection des individus des différentes nurseries sur un plan factoriel à partir de la composition multi élémentaire de leur otolithe.

Discrimination of *Solea solea* nurseries along the French Atlantic coast using otolith elemental signatures

Eric D.H. Durieux¹, Maylis Labonne², Marie-Laure Bégout³, Claire Bassoulet⁴ & Hélène de Pontual²

¹ University of California Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, USA; ² Laboratoire de Scierochronologie des Animaux Aquatiques, IFREMER - IRD, BP 70, 29280 Plouzané, France; ³ IFREMER, Place du Sémaphore, BP 5 - 17137 L'Hourmeau, France; ⁴ Institut Universitaire Européen de la Mer, Place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané, France

Introduction

The common sole *Solea solea* (L.) is a commercially important and widely distributed flatfish of the North-East Atlantic. Like most demersal marine fishes around the world, sole stocks suffer from overexploitation. For the Bay of Biscay stock, sole nurseries display differences in terms of quantity (Le Pape *et al.* 2003) and quality (Gilliers *et al.* 2003). *In fine* the measure of the quality of a habitat for juveniles of a particular species is expressed by the contribution to the recruitment into the adult population (Beck *et al.* 2001). Understanding this connectivity between juvenile and adult habitats, *i.e.* evaluating the contribution of each nursery to a single adult stock appears essential in terms of stock management. However, this critical link is still missing for the Bay of Biscay sole stock.

Otoliths are calcium carbonate structures located in the inner ear of fish. Throughout the life of fish, otoliths grow continuously through accretion forming easily identifiable daily, seasonal and annual marks. During this process, they incorporate chemical elements that indirectly reflect the ambient conditions (e.g. temperature, chemical composition of the water) experienced by the fish. Due to these unique properties, otolith elemental composition analysis has become a powerful tool to determine the nursery origin in adult fish, to discriminate between stocks and sub-populations, and to reconstruct lifetime migration patterns (Campana & Thorold 2001).

The aim of the present study was to determine if the main sole nurseries along the French Atlantic coast could be discriminated using otolith elemental composition analysis of age 0-group juveniles. This study constitutes the first step in evaluating the relative contribution of the different nurseries into the adult stock of the Bay of Biscay.

Material and methods

Fish collection and otolith preparation

0-group sole juveniles were sampled in 6 nurseries (embayed and estuarine) as part of the IFREMER sole nursery survey in the Bay of Biscay (Fig. 1) during September/October 2003 using a beam trawl (2.9 m wide and 0.5 m high, mounted with a 20 mm stretched mesh net at the codend) at 5-20 m depths. Fish were immediately frozen and stored individually at -20°C. Subsequently fish were measured (nearest mm), weighed (nearest 0.01 g) (Table 1) after which the sagittal otoliths were extracted, thoroughly cleaned of adhering tissue and then individually stored in plastic tubes. Only left otoliths were selected for multi-elemental analysis. Otoliths (n=119) were cleaned and decontaminated under a laminar flow positive pressure fume hood by: (1) immersion in ultrapure water, (2) immersion in 0.1% HNO₃ for 1 min (induced less than 2% loss in otolith weight), (3) double immersion in ultrapure water, (4) air dried for 24 hours and (5) stored in decontaminated polypropylene tubes.

Sample analysis

Multi-elemental composition was determined in whole otoliths using solution-based inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Thermo Element 2). The preparation for analysis was performed in a class 100 (ISO class 5) clean room.

Decontaminated otoliths were weighed on a precision scale to the nearest 0.1 µg (Table 1). Otoliths were dissolved in 10N HNO₃ and diluted proportionally to otolith mass (x1500) in ultrapure water overnight. The following elements were quantified: Li, ²³Na, ²⁷Al, ³⁹K, ⁴³Ca, ⁵⁵Mn, ⁵⁹Co, ⁶³Cu, ⁷⁵As, ⁸⁷Rb and ¹³⁷Ba. To ensure precision and accuracy between sessions, Thulium was used as an internal standard to correct for instrumental drift during analytical sessions. Otolith samples were read sequentially in random sets of 3; a multi-element laboratory standard was analyzed between each sample set; the NIES 22 otolith standard was measured at the beginning, the middle and the end of each session; blanks were measured at the start and at the end of each session. The limit of detection (mean of 10 measurements of the procedural blank + 3 x SD in ppt) were: Li = 0.03, Na = 23.63, Mg = 0.91, Ca = 145.58, Mn = 0.06, Sr = 0.06, Cu = 0.14, Ga = 0.07, Rb = 0.01, Ba = 0.02. No samples were below these limits of detection. Differences between our analyses and the NIES standard certified concentrations were 4%, 2%, 1%, 7% and 7% for Na, Mg, Cu, Sr and Ba respectively.

Data analysis

Data were transformed to ratio elements to Ca (element:Ca) and then Ln transformed in order to reach normality and equality of variances. Differences between estuaries were analyzed for each element:Ca ratio using ANOVA. In order to remove any otolith effect, the relationship between otolith mass and each element:Ca ratio was analyzed using linear regression. When the regression was significant the residuals were used instead of the original transformed element:Ca ratios in the subsequent analysis. Otolith multi-elemental compositions were compared using MANOVA. Linear discriminant function analysis (L DFA) was used to classify individuals to the different sampling sites. The individuals from each site were represented in the first two factors plane of the L DFA for illustrative purposes and then each individual was assigned a posterior to a site of origin which was compared with the real site.



Table 1. Site code, river flow, average fish size (L_T), average fish mass (M_W), mean otolith (left) mass (M_O) and sample size (n)

Site code	River flow (m ³ s ⁻¹)	L _T ± SE (mm)	M _W ± SE (g)	M _O ± SE (mg)	n
1	72	121.7 ± 3.0	13.2 ± 0.9	2.8 ± 0.1	20
2	855	123.9 ± 3.0	14.8 ± 1.2	2.7 ± 0.1	19
3	5	126.0 ± 2.5	14.7 ± 1.0	3.1 ± 0.1	21
4	10	121.1 ± 3.9	13.7 ± 1.5	2.7 ± 0.1	10
5	58	110.5 ± 1.6	9.5 ± 0.5	2.6 ± 0.1	22
6	1000	102.7 ± 2.0	8.0 ± 0.5	1.9 ± 0.1	27



Fig. 1. Locations of the 6 main *Solea solea* nurseries sampled along the French Atlantic coast off the Bay of Biscay (Sites 1 to 6).

Results

Otolith element concentrations showed different patterns (Fig. 2) and were significantly different between the different sites (nurseries) in terms of element:Ca ratio (Table 2). Element:Ca ratios were significantly correlated to otolith weight (Fig. 3). Multi-elemental composition was significantly different between sampling sites (MANOVA, F = 5.853, P < 0.0001). The L DFA correctly classified 68.1% of the individuals to their respective nursery of origin (Table 3). Best reclassification scores were obtained for embayed nurseries compared to estuarine nurseries. Individuals from Gironde estuary (site 6) were relatively poorly reclassified.

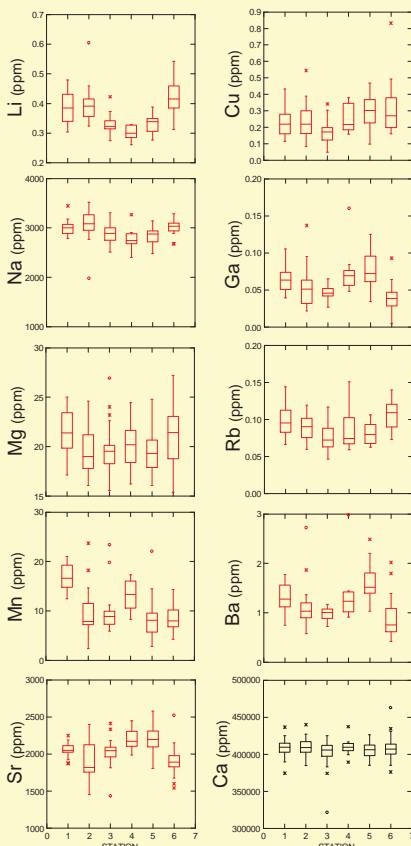


Fig. 2. Average element concentration (in ppm) in otoliths of 0-group *Solea solea* sampled in 6 different nurseries of the Bay of Biscay.

Table 2. Results of ANOVAs comparison individual element:Ca ratios in collected 6 different nurseries.

Element	Fisher's F	P
Li:Ca	14.767	< 0.0001***
Na:Ca	6.963	< 0.0001***
Mg:Ca	2.045	0.078
Mn:Ca	15.664	< 0.0001***
Sr:Ca	13.770	< 0.0001***
Cu:Ca	5.439	< 0.0002***
Ga:Ca	10.259	< 0.0001***
Rb:Ca	7.126	< 0.0001***
Ba:Ca	10.284	< 0.0001***

Table 3. Cross-validated classification results (%) of linear discriminant function analysis of juveniles to the different nurseries sampled. Bold % represent % of individuals correctly classified to their nursery of origin.

Nursery	Predicted nursery					
	1	2	3	4	5	6
1	65.0%	0	0	10.0%	0	25.0%
2	10.5%	63.2%	10.5%	0	0	15.8%
3	0	4.8%	71.4%	4.8%	4.8%	14.3%
4	0	0	0	80.0%	10.0%	10.0%
5	4.5%	4.5%	0	4.5%	81.8%	4.5%
6	14.8%	11.1%	14.8%	0	3.7%	55.6%

68.1% of all individuals correctly classified to their nursery of origin

Summary of findings

Otolith elemental signatures can be used to distinguish the six main nurseries of *Solea solea* in the Bay of Biscay.

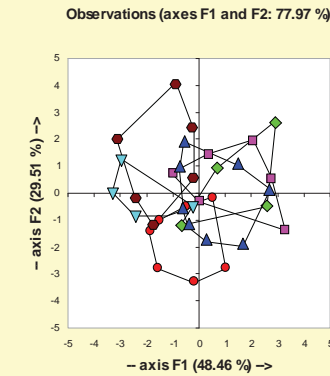


Fig. 4. Convex hulls representation on the first factorial plane from the linear discriminant analysis performed on the six sampling sites using 9 elements (element:Ca used, corrected for otolith mass).

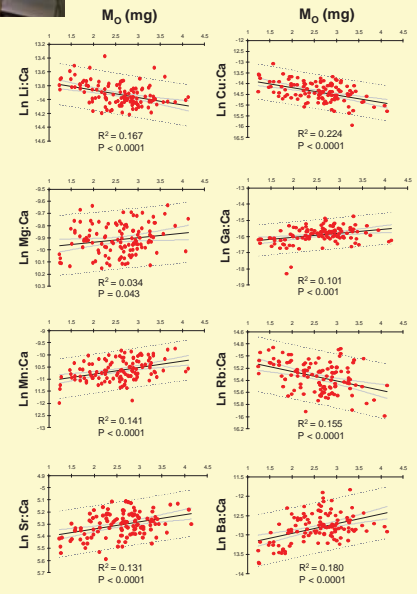


Fig. 3. Significant linear regression between Ln transformed element:Ca ratios and otolith mass (M_O).

Discussion-Conclusion

0-group sole from the six main nurseries of the Bay of Biscay displayed different multi-elemental signatures that allowed to correctly reclassify 68.1% of the individuals. These results confirm previous studies performed on *Solea solea* in the Bay of Biscay (De Pontual *et al.* 2000) and on the Portuguese coast (Vasconcelos *et al.* 2007) using a similar approach.

In conclusion, this study provides otolith elemental signatures of 0-group sole *Solea solea* in the Bay of Biscay. This information can now be used to determine the relative contribution of the different nurseries to the adult stock (of the same cohort) using Laser Ablation ICP-MS (LA-ICP-MS). This overall approach might provide useful information in terms of fisheries and coastal habitat management.

In the future, improvement in otolith elemental signatures of this flatfish species might be obtained by:

- Measuring additional trace elements;
- Analyzing the isotopic composition of specific elements such as Sr, S or O;
- Taking into account the within habitat small-spatial scale variation.



Acknowledgements

We thank Yves Desautour and Olivier Le Pape for providing sole samples from IFREMER surveys. We are grateful to Manu from the UEM Bas for assistance during ICP-MS runs. EDH Durieux received support from IFREMER and UC Davis to attend the conference.



7th IFS International Flatfish Symposium
Sesimbra, Portugal, 2-7 November 2008

References

Beck et al. 2001. *Bioscience* 51: 633-64. Campana & Thorold 2001. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 30-35. De Pontual et al. 2000. *Oceanologica Acta* 23: 497-513. Gilliers et al. 2003. *Science maritime* 70: 183-192. Le Pape et al. 2003. *Journal of Sea Research* 50: 139-146. Vasconcelos et al. 2007. *Marine ecology progress series* 350: 117-126.

Ifremer

3.3.4.3 La génétique des populations

Au cours de travaux d'E. Durieux, des échantillonnages très proches dans le temps ont été réalisés sur les juvéniles arrivants dans les pertuis. Afin d'exploiter au mieux ce matériel, j'ai souhaité mobiliser des compétences en génétique des populations (B. Guinand, MCF Montpellier II) afin d'examiner si les juvéniles pouvaient être discriminés sur des bases génétiques ou si ils présentaient une homogénéité d'origine et de vécu. Dans le cadre du projet 'Habitats perturbés' du programme 'DYSCO', nous avons alors co-encadré un stage de recherche.

Analyse de l'évolution de la structure génétique de la population de sole (Solea solea) des pertuis Charentais au cours de la 1^{ère} année sur le site de nourricerie :

La sole est une espèce présente en Méditerranée et en Atlantique qui a fait l'objet de nombreuses recherches notamment quant à la structure génétique de ces populations à grande échelle. L'objectif de cette collaboration était d'abord de compléter les données existantes sur la différenciation des populations en Atlantique et Méditerranée par l'étude de trois marqueurs microsatellites. Cette étude avait également pour but d'étudier chez cette espèce comment s'établit la différenciation génétique lors de leur arrivée au stade larvaire/juvenile sur les nourriceries et après une courte période (Mai - Octobre) dans cet habitat. Deux nourriceries du Golfe de Gascogne, adjacentes, ont été étudiées : pertuis Breton et d'Antioche en émettant l'hypothèse qu'un phénomène de chaotic genetic patchiness (CGP), menant à une différenciation génétique entre nourriceries, soit possible. Deux cent trente trois individus ont été analysés sur 3 loci microsatellites et un locus intronique (intron du gène de la métallothionéine). Les résultats des microsatellites montrent tout d'abord, à une large échelle spatiale, la présence de 3 grandes populations génétiquement différentes : la population d'Atlantique, celle de Méditerranée orientale, et les autres populations Méditerranéennes ; établissant ainsi un cadre neutraliste de la différenciation génétique chez la sole (Guinand et al. 2008). A une échelle réduite, dans les pertuis Charentais, les valeurs de F_{ST}^5 calculées démontrent qu'il n'existe **pas de différenciation entre les pertuis Breton et d'Antioche lors de l'installation sur les nourriceries** en Mai ($F_{ST} = -0.00065$, NS ; absence de CGP au recrutement, Guinand et al. soumis.). Par contre, en Octobre, certains loci (comme celui de la métallothionéine ; $F_{ST} = 0.04692$) présentent des valeurs de F_{ST} significatives. De plus les valeurs de F_{IS}^6 semblent évoluer différemment au sein de chaque nourricerie au cours du temps. Différentes hypothèses peuvent expliquer ces résultats notamment celle d'une **mortalité différentielle** liée aux contaminations rencontrées par les juvéniles dans les pertuis.

⁵ Proportion de la variation génétique totale contenue dans une sous-population.

⁶ Proportion de la variation dans la sous-population contenue dans un individu.

3.3.5 Perspectives

Les travaux réalisés jusque là ont à plusieurs reprises souligné l'intérêt majeur de combiner les approches et les marqueurs afin d'aborder l'approche écosystémique individu centrée de façon pluridisciplinaire. En conséquence, j'ai coordonné ces dernières années plusieurs réponses à des appels d'offre, sans succès jusqu'à présent, sur cette thématique : **Comprendre et prédire la connectivité entre les populations de poissons marins** - liaisons inter-stocks, et entre les habitats juvéniles et adultes -'.

Ces projets avaient comme objet d'analyser les phénomènes de densité, croissance, survie des juvéniles, et les migrations vers les habitats adultes pour permettre à terme une meilleure **évaluation des stocks** et fournir de nouvelles informations cruciales pour la **gestion côtière**, les schémas de **migration et le traçage des populations**. Le concept central est d'utiliser une gamme de **techniques indépendantes des pêcheries**, chacune fournissant des informations à une échelle spatiale et temporelle spécifique, et pouvant être utilisée pour comprendre et prédire la connectivité entre les populations de poissons marins à travers leur histoire : **téléométrie** (tag acoustique et électronique), **microchimie** des otolithes, isotopes stables, **parasites** et **génétique** moléculaire.

Je vais participer à un tel projet qui va démarrer sur le bar en 2010, action Ifremer 'BarConnect' (responsable H. de Pontual, Ifremer Brest). Il s'agit d'un projet utilisant le bar comme modèle d'étude de la connectivité des populations par une approche multi marqueurs (marques électroniques, marqueurs génétiques et biochimiques). Les objectifs sont d'acquérir des connaissances pour la gestion durable de la ressource par l'analyse de la dynamique spatio-temporelle de la métapopulation et la résolution de conflits socioprofessionnels (pêche professionnelle vs. récréative) et conflits inter-métiers. C'est aussi un modèle d'étude du rôle des Aires Marines Protégées (Parc Marin d'Iroise dans un premier temps) dans le maintien de la biodiversité intra spécifique et enfin c'est un modèle d'étude des effets du changement climatique sur l'évolution de la dynamique spatio-temporelle des populations (modifications des limites biogéographiques, routes migratoires etc..).

Pour poursuivre et développer 'BarConnect', nous envisageons de déposer un projet INTERREG Espace Atlantique (dans la lignée de FISHECO que j'ai déposé en tant que coordinatrice en 2009) qui inclurait ce modèle bar, mais aussi le modèle maigre (migrateur très lié aux grands écosystèmes estuariens Gironde et Tage) et la sole comme modèle de poisson plat qui malgré une large distribution de sa population le long du plateau continental de l'Atlantique, est gérée en unités séparées (populations ou stocks) et a tendance à avoir des habitats juvéniles côtiers séparés, qui ne se chevauchent généralement pas avec la distribution des adultes.

3.4 Réponses comportementales des poissons exposés aux polluants

Les travaux menés sur le fonctionnement des nourriceries de sole n'ont donc pas montré d'effets directs marqués du parasitisme sur les performances écologiques des juvéniles de sole. Par contre, les déficits de croissance avérés dans les pertuis Charentais en comparaison avec les autres nourriceries côtières du Golfe de Gascogne et les probables mortalités différentielles révélées par la génétique des populations conduisent à émettre l'hypothèse d'une altération des performances écologiques liée éventuellement à la présence de contaminants dans les eaux côtières. C'est sur ce nouvel axe de recherche que se placent mes efforts actuellement avec une attention particulière sur les éventuelles synergies entre les facteurs précités et les contaminations par des polluants organiques en particulier. Je contribue donc aux programmes ci-dessous en apportant **ma double compétence en éthologie et en écologie halieutique** à ces recherches en écotoxicologie.

Les polluants organiques persistants (POP) regroupent plusieurs familles de polluants (PCB, PBDE, HAP...) qui de par leurs propriétés physico-chimiques s'accumulent dans le milieu et dont le niveau d'émission est variable selon les composés. Les poissons peuvent se contaminer selon différentes voies en fonction de leur mode de vie (pélagique ou benthique) ou de leur stade de vie (embryon, larve, juvénile etc...). Par ailleurs, certains contaminants, ou leurs métabolites, s'accumulent après transfert maternel dans les œufs et/ou les œufs se développent au contact de substrats contaminés (Nye et al. 2007).

De nombreuses données, généralement obtenues par comparaison de poissons issus de zones contaminées et de poissons issus de zones propres, indiquent que les POP affectent plusieurs aspects de la physiologie des poissons, en particulier le développement embryonnaire (Couillard et al. 2002, Incardona et al. 2006) mais également des fonctions ou caractéristiques tardives telles que la croissance (Moles, 1998), la reproduction (Johnson et al. 2008) et **le comportement** (Carvalho et al. 2008, Gonçalves et al. 2008, Nakayama et al. 2005). Mais les mécanismes conduisant à ces altérations sont globalement méconnus et en particulier les conséquences à long terme des altérations précoces touchant des stades extrêmement sensibles et plastiques. Il en est de même des conséquences au niveau des populations. En effet, pour participer au recrutement, c'est à dire à **l'entrée de juvéniles dans le stock de géniteurs d'une population**, il faut que soient réunies les conditions permettant d'amener un individu du stade embryon au stade adulte dans un **état compatible avec la reproduction et disposant des capacités de reproduction** (Elliot et al. 2003). Cela intègre un grand nombre de fonctions physiologiques sous-jacentes au nombre desquelles on trouve, **la croissance, le comportement et bien sur la reproduction.**

Contexte programmatique : Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des programmes INSU EC2CO CYTRIX GénérationPOP, et les projets ANR SOLEBEMOL et ConPhyPOP, et le CPER (2007-2013).

Equipe et collaborations : Pour réaliser ces travaux j'ai encadré l'équipe suivante S. Péan (Doctorant), A.-L. Mayeras (M2) ; M. Besson (L3) avec les soutiens techniques de D. Leguay et P. Prineau. J'ai collaboré principalement avec X. Cousin (INRA-Ifremer L' Houmeau), V. Loizeau (Ifremer Brest), C. Lefrançois, H. Thomas-Guyon, et N. Imbert (MCF Univ. La Rochelle).

3.4.1 SOLEBEMOL : Devenir et des Effets des contaminants organiques sur la sole

Ces travaux en écotoxicologie se sont d'abord développés à travers une problématique autour du **Devenir et des Effets des contaminants organiques sur la sole** (ANR VMC SOLEBEMOL 2007-2010, projet Région Poitou-Charentes FONSOLE et CPER, 2007-2013). Cette action dont est responsable V. Loizeau (Ifremer Brest) a pour principal objectif d'appréhender le devenir et les effets des contaminants de l'individu à la population afin de prédire le potentiel de réponse des poissons à la contamination chimique. Un des objectifs est de déconvoluer, dans un milieu qui a été identifié comme étant perturbé, la part des perturbations générées par les contaminants des autres variations naturelles. L'un des enjeux de cette approche est donc de réussir à prévoir l'effet des polluants sur les populations *in situ* à partir de leurs effets sur les individus en termes de « traits biologiques ». Cela pose deux problèmes majeurs : trouver les clefs qui permettent de passer de l'individu à la population (changement d'échelle) et appréhender au mieux les conditions du milieu naturel (variables selon les secteurs). Cette action relève d'une démarche résolument pluri (et inter) disciplinaire qui allie la chimie des contaminants (organiques dans un premier temps), **la physiologie, le comportement, l'écologie halieutique et l'écotoxicologie**.

Dans ce cadre de SOLEBEMOL, j'ai en particulier coordonné les activités de prélèvements dans les pertuis pour les laboratoires LBCO et LBEX (Ifremer), LPTC (Univ. Bordeaux) et LIENSs (Univ. de La Rochelle). J'ai réalisé une salle expérimentale pour les contaminations des soles hébergée par la plateforme PEPs (Physiologie et Ecotoxicologie des Poissons). J'ai fédéré les interactions avec les collègues de LIENSs travaillant sur le métabolisme respiratoire (C. Lefrançois), l'immunité (H. Thomas) et la fonction cardiaque (N. Imbert). Suite aux premiers résultats obtenus et en association avec le projet GénérationPOP, coordonné par X. Cousin), j'ai décidé de développer une analyse comportementale des individus exposés aux contaminants. Ces travaux ont débuté avec le doctorat de S. Péan portant sur la « **Caractérisation des altérations des comportements natatoires, alimentaires et sociaux des poissons en réponse aux polluants organiques persistants** » (2008-2011).

Les POP sont donc des contaminants d'origine anthropique dont certains sont présents en concentration importante dans les zones côtières, lieux de nourriceries pour de nombreuses espèces de poisson. Ces POP ont des effets toxiques avérés chez les poissons et perturbent entre autre l'endocrinologie avec des conséquences associées sur la physiologie et le comportement, ce qui tend à modifier leurs performances écologiques. Le doctorat de S. Péan vise la **caractérisation des altérations des comportements essentiels à la réalisation de certaines fonctions (alimentation et locomotion), et des relations sociales** chez les juvéniles et adultes de poissons soumis à des expositions précoces à des doses environnementales de PCB. Cette caractérisation comportementale réalisée expérimentalement par vidéo analyse est intégrée avec d'autres résultats physiologiques acquis en parallèle dans les projets de soutien SOLEBEMOL et GénérationPOP afin d'interpréter les syndromes comportementaux exprimés au niveau individuel. Au cœur des tendances actuelles de l'écotoxicologie, ce projet apporte des clés pour comprendre les effets des POP sur les performances écologiques des populations naturelles et évaluer les effets possibles sur la contribution des juvéniles au stock d'adultes. Ce doctorat utilise la sole comme poisson benthique d'intérêt halieutique et un poisson modèle, le poisson zèbre, qui permet d'aborder en particulier l'étude de la fonction de reproduction et certains aspects transgénérationnels grâce à un cycle de vie de 3 mois. Un des objectifs de cette thèse est de contribuer à l'élaboration d'outils de diagnostic des effets de polluants organiques sur les poissons par expérimentation en milieu contrôlé. La première étape passe par la mise au point des protocoles de contamination et **d'analyses des comportements en adaptant les indicateurs comportementaux précités (sections 3.2 et 3.3) à cette problématique** chez les deux modèles d'étude. Les variables comportementales pertinentes et reproductibles ainsi que les protocoles expérimentaux sont maintenant caractérisés sur les deux modèles biologiques et sont adaptés en fonction de leur biologie respective. Les premiers résultats obtenus sur la sole et le poisson zèbre (*Danio rerio*) sont présentés ci-après.

Effet de l'exposition à des PCB sur le comportement anti-prédateur de la sole commune :

Tant en raison de possibilité de pollutions accidentelles que pour mieux analyser les différences qui pourront être constatées dans les contributions des différentes nourriceries à l'alimentation du stock d'adultes, il est intéressant de mieux pouvoir évaluer l'impact des polluants organiques persistants. Comme détaillé précédemment, ces POP affectent la physiologie, l'immunologie, la croissance et la reproduction, cependant **leurs effets sur les comportements exploratoire et anti-prédateur** sont peu connus alors que ces derniers peuvent affecter la capacité à s'alimenter et celle à échapper aux prédateurs (*e.g.* enfouissement, mimétisme par homochromie au substrat) qui sont deux composantes de la survie des juvéniles. Au cours de notre étude nous avons identifié l'effet de l'exposition trophique à quatre congénères de PCB (149, 118, 153 et 105) à une

dose environnementale telle que mesurée en Seine ($\Sigma\text{PCB} = 2100 \mu\text{g}/\text{kg}$ d'aliment) ou à 1/3 de celle-ci, sur ces deux types de comportement exploratoire et anti-prédateur de soles juvéniles. Les PCB n'ont pas de conséquences sur l'efficacité de l'enfouissement mais affectent la capacité exploratoire (en la réduisant), le comportement de groupe, le choix des soles pour la couleur du fond ainsi que les capacités d'homochromie. Les PCB pourraient donc réduire la survie des juvéniles dans les pertuis puisque les soles contaminées sont moins mobiles et choisissent un fond noir sur lequel elles ont pourtant des performances mimétiques plus faibles que les poissons non contaminés. (Mayeras 2009, Péan et al. 2009, Poster 3).

Effet de l'exposition à des PCB sur le comportement natatoire du poisson zèbre :

Le poisson zèbre étant une espèce beaucoup plus mobile, l'étude des variables locomotrices chez des adultes contaminés par voie orale (*F0*) a permis de mettre en évidence un effet des PCB, notamment en fin de nuit, où l'activité de nage est plus élevée chez les individus contaminés. D'autres résultats sont en cours d'analyse chez cette espèce, comme le choix de la couleur de fond (noir vs. blanc), le comportement exploratoire et l'étude de la nage en groupe. Enfin, un système d'analyse de réponse à la lumière chez les larves de poissons zèbre a été mis en place. Ce test réalisé à un stade précoce (5 jours après éclosion) est rapide (15 minutes séquencées en 5 min de lumière, puis 5 min d'obscurité, puis à nouveau 5 min de lumière). Il a été réalisé sur 400 larves *F1* et a permis de montrer que les PCB augmentaient significativement l'activité de nage des larves (ce qui a été observé chez les adultes) et que la réponse des poissons contaminés au challenge lumineux était significativement différente des contrôle (Péan et al. 2010). Ces réponses comportementales peuvent être par exemple interprétées en termes de dépense énergétique (*e.g.* l'hyperactivité des adultes entraînant des dépenses liées à la locomotion et un déphasage des rythmes d'activité) ou de risque accru de prédation liée à une plus grande détection des larves.

En perspectives aux travaux de S. Péan, une partie des expériences réalisées sur le poisson zèbre adulte devraient être reproduites sur la génération *F1* de poissons contaminés aux PCB (déjà testée à l'état larvaire), en introduisant la notion de réponse à la lumière aussi chez les adultes. Les tests de réponse à la lumière sur les larves de poissons zèbre seront aussi reproduits sur la génération *F2*. De cette façon nous souhaitons identifier la présence d'effets transgénérationnels de type épigénétique en examinant le comportement de larves non exposées directement par la voie maternelle comme les *F1*. Enfin, de nouvelles expériences sur la sole commune seront mises en place à l'automne en se focalisant sur les capacités cryptiques et sur le comportement natatoire sur 24h. Des tests larvaires seront également transposés à cette espèce début 2011 sur les poissons reproducteurs maintenus en contamination depuis plus de 30 mois à Brest.

Effets des polluants organiques sur le comportement des poissons

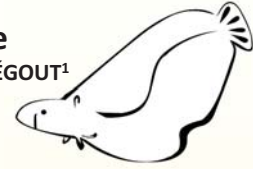
Étude présentée :

Effets des PCB sur le comportement de la sole

Samuel PÉAN¹, Anne-Lise MAYERAS¹, Véronique LOIZEAU², Marie-Laure BÉGOUT¹

1 – IFREMER, place Gaby Coll BP 5, 17137 L'Houmeau - FRANCE

2 – IFREMER, Z.I. Pointe du Diable BP 70, 29280 Plouzané - FRANCE



Que sont les PCB ?

Les PCB sont des polluants dits « organiques », créés par l'Homme, très stables dans l'environnement (demi-vie de 2700 ans). Ces composés hydrophobes sont très présents dans les sédiments marins et s'accumulent dans les organismes vivants.

Pourquoi étudier le comportement ?

L'étude du comportement est une approche non invasive et non destructrice, qui permet d'obtenir une grande quantité d'information par simple observation. L'utilisation d'outils informatiques (comme les logiciels d'analyse d'images) permet d'obtenir des données de plus en plus précises.

Pourquoi choisir la sole ?

La sole commune *Solea solea* est une espèce d'intérêt économique. C'est une espèce benthique (« qui vit au fond »). Cette espèce est donc très exposée aux sédiments contaminés.

Voici les expériences qui ont été menées sur des soles juvéniles, après 30 jours de contamination aux PCB par voie alimentaire. Quatre groupes ont été constitués, en fonction de leurs aliments : **Témoin** : aliment commercial standard, non contaminé; **Solvant** : aliment contenant uniquement du solvant (isooctane), nécessaire pour intégrer les PCB dans l'aliment; **PCB_{faible}** : aliment contenant du solvant et une faible dose de PCB; **PCB_{forte}** : aliment contenant du solvant et une forte dose de PCB (équivalent à la concentration observée en Baie de Seine).

COMPORTEMENT EXPLORATOIRE

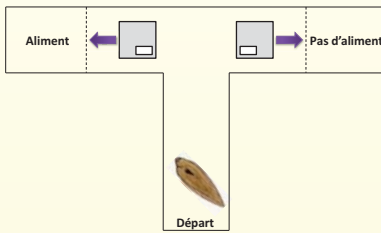


Figure 1 : Labyrinthe utilisé pour le comportement exploratoire.

Cette expérience a pour but de suivre l'évolution d'un poisson dans un labyrinthe (fig.1) pendant 2h grâce à une caméra et un logiciel de détection de mouvements (Noldus Ethovision).

Plusieurs variables ont été analysées (temps pour atteindre la zone d'alimentation, temps de mobilité, etc.). Le plus représentatif d'entre eux est la distance parcourue moyenne (fig.2) qui montre que le groupe PCB_{forte} se déplace significativement moins que les autres.

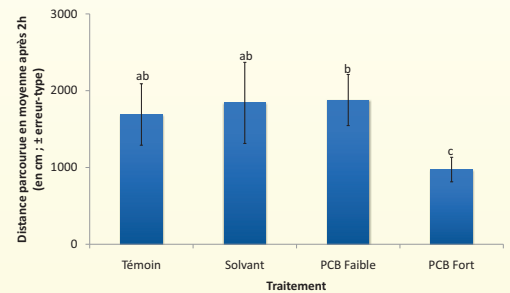


Figure 2 : Distance parcourue moyenne (en cm). Les lettres représentent les différences entre traitements (Kruskal-Wallis – $p < 0.05$ – Dunns post-test)

CHOIX DE COULEUR DE FOND



Figure 3 : Bac expérimental pour l'étude du choix de couleur de fond.

Pendant 2h, cinq soles sont filmées sur un substrat bicolore (noir vs blanc ; fig.3). Les vidéos sont traitées par le plugin MTrack du logiciel ImageJ (tracking manuel). Ceci permet d'obtenir les coordonnées de chaque individu, et donc de calculer leur position exacte dans le bac ainsi que la distance qui les sépare les uns des autres.

Le niveau de contamination n'explique pas la variation du coefficient de dispersion (fig.4). En revanche, plus le niveau de contamination augmente, plus les individus passent plus de temps en zone noire (fig.4).

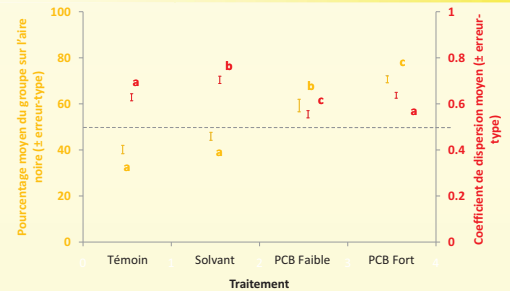


Figure 4 : Pourcentage du groupe sur fond noir et coefficient de dispersion. Les lettres représentent les différences entre traitements (Kruskal-Wallis – $p < 0.05$ – Dunns post-test)

CAPACITÉS CRYPTIQUES ET ENFOUISSEMENT

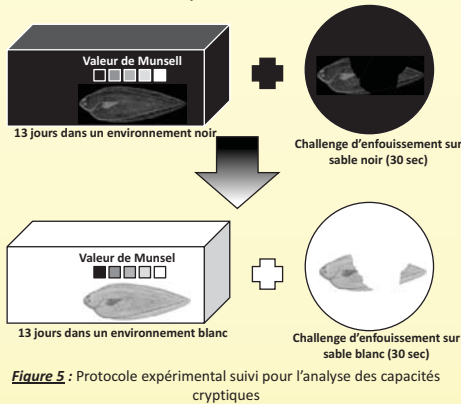


Figure 5 : Protocole expérimental suivi pour l'analyse des capacités cryptiques

Durant 13 jours, les soles sont placées dans un environnement noir (fig.5). Régulièrement, leur pigmentation est comparée à une gamme de Munsell® (table 2.5Y). Immédiatement après, un challenge d'enfouissement dans du sable noir est effectué. Les 13 jours suivants, elles sont placées dans un environnement blanc, et challengées dans du sable clair.

Les résultats montrent qu'en terme de cinétique de pigmentation (fig.6), le groupe PCB_{forte} se pigmente plus difficilement que le groupe Témoin en environnement noir et se dépigmente plus facilement sur environnement blanc.

Au niveau des capacités d'enfouissement (fig.7), le groupe PCB_{forte} met significativement plus de temps à s'enfouir que le groupe Témoin.

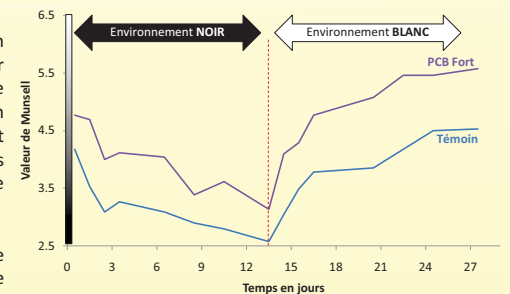


Figure 6 : Evolution de la valeur de Munsell® moyenne (table 2.5Y)

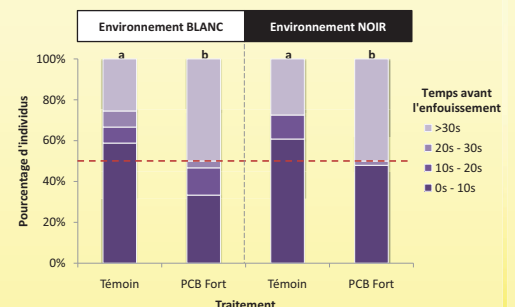


Figure 7 : Proportions d'individus pour chaque classe de latence d'enfouissement en fonction de la couleur de fond. Les lettres représentent les différences entre traitements et environnements (Test de χ^2)

CONCLUSION

En conclusion une exposition à une forte dose de PCB : i) **diminue** la distance parcourue lors de l'exploration d'un nouveau milieu (fig.2) ; ii) **diminue** les capacités de pigmentation (fig.6) et d'enfouissement (fig.7) et iii) **augmente** la préférence pour les milieux de couleur noire (fig.4).

Les individus contaminés préfèrent les couleurs sombres mais ont une pigmentation plus claire : ces deux résultats peuvent s'expliquer par le stress métabolique dû aux phénomènes de décontamination.

A cause de leurs capacités cryptiques réduites, les individus contaminés peuvent donc être plus facilement visibles par leurs prédateurs, ce qui peut avoir des conséquences négatives quant à la survie de la population.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Didier LEGUAY et Michel PRINEAU, sans qui l'aménagement de la salle d'expérimentation n'aurait pas été possible.

3.4.2 ConPhyPOP : Contamination et Physiologie des Poissons exposés aux Polluants

Dans le cadre du projet ConPhyPOP, ANR Contaminants Ecosystème Santé démarré en janvier 2010 et coordonné par X. Cousin, les conséquences d'exposition d'un poisson modèle, le poisson zèbre, à des HAP en mélange seront analysées en veillant à respecter au maximum la pertinence écologique au niveau des voies d'exposition et des doses.

Dans le cas des HAP, le niveau d'émission est en constante augmentation du fait de l'activité anthropique et ils s'accumulent dans les matrices sédimentaires à des concentrations pouvant aller jusqu'à 48 µg/g de poids sec (pour les côtes européennes mais jusqu'à 4 fois plus dans des zones fortement contaminées en Amérique du nord) ou dans les premiers maillons de la chaîne alimentaire jusqu'à 10µg/g de poids sec dans des bivalves (Albers, 2003; Zhang et Tao, 2009). En fonction de leur biologie et de leur cycle de vie, les poissons peuvent être exposés à ces HAP soit par contact avec le sédiment, soit par la voie trophique. Il est maintenant clairement démontré que les HAP altèrent la physiologie des poissons et que les stades embryo-larvaires sont particulièrement sensibles à toutes perturbations. En outre, il a été clairement illustré que plusieurs niveaux doivent être pris en considération lorsque l'on s'adresse à l'étude des effets des contaminants (Hinton et al. 2005, Figure 15) afin d'améliorer la compréhension des mécanismes mais aussi la pertinence écologique des résultats. C'est dans cet esprit d'intégration que je suis responsable au sein du consortium ConPhyPOP de la tâche 5 '**Intégrité fonctionnelle**' et des recherches en **éthologie sur les poissons contaminés**. Cela se traduit aussi dans la codirection du doctorat de C. Vignet (2010-2013) présenté ci-dessous.

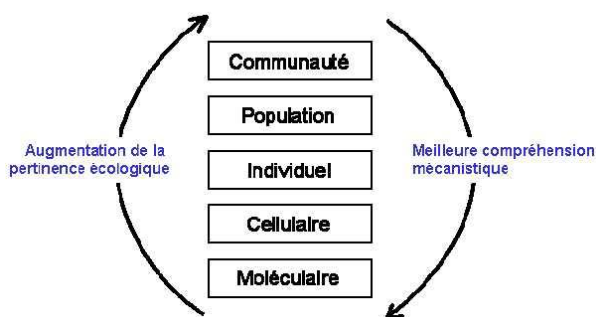


Figure 15 : Ce schéma illustre les différents niveaux considérés dans l'étude des effets des contaminants ainsi que les changements d'échelle nécessaires d'une part à la compréhension des mécanismes, et d'autre part à l'intégration de ces mécanismes pour appréhender leurs effets au niveau de la population (d'après Hinton et al. 2005).

Dans ConPhyPOP, la contamination (composés parents et métabolites) ainsi que l'activation des mécanismes de métabolisation seront analysés. Les effets d'une exposition aux HAP seront évalués sur les grands processus physiologiques : développement, croissance, immunité, digestion, osmorégulation, **comportement**, métabolisme et reproduction. Ces évaluations réalisées tout au long du cycle de vie de l'animal porteront sur l'ontogenèse et l'analyse de l'intégrité fonctionnelle de

ces processus ainsi que la possibilité de transmission aux générations suivantes et permettront d'évaluer les conséquences à long-terme d'une exposition à des HAP, les relations entre altération de l'ontogénèse et dysfonctionnement d'un processus physiologique et donc d'identifier des indicateurs précoces de phénotypes tardifs et de proposer des hypothèses mécanistiques sur l'apparition de ces phénotypes symptomatiques d'une exposition aux HAP. Les résultats principaux, en particulier les indicateurs précoces de phénotypes tardifs, obtenus chez le poisson zèbre seront généralisés à 2 autres espèces de poissons utilisés en écotoxicologie (médaka (*Oryzias latipes*) et truite arc-en-ciel). L'objectif de ce volet appliqué est double et s'inscrit dans le cadre de la mise en place de la réglementation REACH qui exige de tester l'écotoxicité des molécules chimiques et de limiter en même temps les tests sur animaux. Les tests actuels sont réalisés en voie aqueuse ce qui est satisfaisant pour des molécules hydrosolubles mais pas pour des molécules hydrophobes. Par ailleurs, les tests recommandés actuellement et la restriction des tests sur poissons au stade embryolaire (considérés comme test *in vitro*) pour satisfaire les recommandations de REACH nécessitent pour caractériser pleinement l'écotoxicité de molécules chimiques de disposer d'un panel le plus large possible d'indicateurs précoces d'effets tardifs.

Dans ConPhyPoP, les objectifs sont donc de prendre en compte les aspects toxicologiques, physiologiques et les traits de vie des poissons pour 1) construire une image pertinente des effets des HAP, 2) fournir des informations sur les mécanismes d'action des HAP sur les organismes vertébrés, 3) transférer à d'autres espèces de poissons et 4) produire un test embryolaire adaptés aux produits chimiques hydrophobes grâce à un large panel d'indicateurs précoces de phénotypes tardifs.

Mon implication dans ce projet va en particulier débiter cet automne avec le doctorat de C. Vignet : « **Altération de la physiologie des poissons exposés à des HAP – Ontogénèse et intégrité fonctionnelle** ». Dans cette thèse les objectifs sont de caractériser les altérations de la croissance, de certains comportements et de la fonction reproduction et d'évaluer les répercussions à long terme d'une exposition à des HAP au cours des stades embryolaire en lien avec la capacité d'un embryon à participer à terme au recrutement. Dans ce cadre, et en complément à l'étude de l'ontogénèse des systèmes musculaire squelettique et neurosensoriel, l'étude du comportement sera réalisée en tant qu'indicateur de **l'intégrité fonctionnelle du système nerveux central, périphérique et sensoriel** mais également du **système musculaire** et des capacités métaboliques. Nous étudierons la capacité de nage d'individu isolé, la nage en groupe, les capacités de cognition et de réponse à un stimulus de larves et juvéniles. Les aspects comportementaux de la reproduction, le frai, seront également analysés en soutien à l'évaluation de la qualité de la reproduction en termes de fécondité, fertilité et viabilité des juvéniles.

3.5 Conclusion générale

Au fil des 15 années écoulées depuis la soutenance de ma thèse, je me suis attachée à l'étude de LA RELATION POISSON-ENVIRONNEMENT DANS LE FONCTIONNEMENT DES POPULATIONS à travers une discipline particulière : l'écologie comportementale. Plusieurs étapes ont franchies, il m'a d'abord fallu acquérir les moyens expérimentaux et maîtriser voire développer un certain nombre d'approches méthodologiques en analyse comportementale puis les décliner selon qu'il s'agissait de mettre au point des indicateurs comportementaux révélateurs de la relation poisson-environnement, de réaliser et diriger des études multidisciplinaires intégratives et enfin, de concevoir des actions de recherche pour le futur.

Il est intéressant de noter que ma motivation initiale pour partir en postdoctorat à Winnipeg (Canada) au laboratoire d'écotoxicologie du Ministère des Pêches et Océans, a été la lecture d'un article de E. Scherer (1992) intitulé 'Behavioural responses as indicators of environmental alterations: approaches, results, developments'. En fin de cet article, cet auteur soulignait l'importance des **réponses comportementales comme indicateurs des perturbations environnementales**. Ce constat est toujours d'actualité et est même présenté comme une clef essentielle pour parvenir au passage d'échelle, des individus aux populations et enfin aux communautés, pour les réponses aux polluants en particulier (Elliot et al. 2003) mais cela est également vrai pour tout type perturbateur environnemental majeur (*e.g.* destruction d'habitat, réchauffement climatique etc....). Il est en effet nécessaire de comprendre les effets potentiels d'un perturbateur sur le **comportement** des poissons et les phénomènes de **compétition car ces composantes influencent la structure des communautés**. Les concepts, connaissances de base et principes qui soutiennent la compétition et le comportement des espèces de poisson devant être considérés.

Pour la compétition, elle apparaît lorsque les ressources sont limitées (ce qui est le cas le plus fréquent) et peut s'exprimer de deux façons : i) la **compétition par interférence** lorsqu'un individu ou une espèce dominante bloque l'accès aux ressources, cela a principalement des conséquences négatives sur le potentiel de reproduction des subordonnés ; ii) la **compétition par exploitation** des ressources simplement par la consommation directe de la ressource qui conduit à des fluctuations de la densité des populations car les ressources peuvent n'être que temporairement abondantes (Nicholson et al. 1954, Elton et Miller 1954, *in* Elliot et al. 2003).

Pour le comportement, il existe un bon cadre conceptuel des réponses qui soit relèvent de la **tolérance** aux perturbateurs soit de leur **évitement**. Ainsi, chez les poissons, ces réponses peuvent être mises en évidence à travers deux types d'étude : i) celles qui mesurent la capacité des organismes à **atténuer** les effets des perturbateurs environnementaux et ii) celles qui mesurent les

écarts aux comportements normaux qui ne sont pas léthaux immédiatement, mais peuvent réduire la probabilité de survie (Olla et al. 1980).

Le lien entre compétition et comportement se retrouve au niveau de la démographie des populations, et la compétition peut être exacerbée lorsque les ressources sont surexploitées. Dans ce cas, les organismes doivent anticiper les changements environnementaux et y répondre de façon appropriée à travers leur morphologie, physiologie et comportement en fonction du stress et afin de le réduire. C'est ainsi que les organismes modifient leurs phénotypes et qu'ils mettent en place, en plus des traits habituels de leur cycle de vie, des **stratégies physiologiques et comportementales alternatives d'urgence** pour faire face à des changements brusques de leur environnement (Elliot et al. 2003). L'efficacité de ces stratégies repose sur la plasticité phénotypique dont le 'coping style' et sur les mécanismes de survie 'coping mechanisms' qui en situation extrême redirigent les activités vers celles essentielles à la survie.

Ainsi compétition et comportement sont étroitement liés, mais leur interaction en situation de perturbation reste peu étudiée bien que cela soit très important pour la démographie des populations et la structuration des communautés.

En conclusion, il me semble que j'ai abordé certaines facettes de cette interaction compétition-comportement dans différents contextes, et il m'apparaît désormais important de poursuivre dans cette direction en valorisant au mieux les acquis pour **contribuer à lier écologie comportementale des poissons et écotoxicologie aux échelles individu et population, dans une perspective d'écologie halieutique.**

3.6 Références citées

- Acolas M.-L., Bégout Anras M.-L., Véron V., Jourdan H., Sabatié M.R., Baglinière J.L. 2004. Allis Shad upstream migration and reproductive behaviour: assessment using acoustic tracking methodologies. *ICES Journal of Marine Science*, 61 : 1291-1304.
- Acolas M.-L., Véron V., Jourdan H., Bégout M.-L., Sabatié R.M., Baglinière J.L. 2006. Upstream migration and reproductive patterns of the population of allis shad in a small river (L'Aulne, Brittany, France). *ICES Journal of Marine Sciences*, 63 : 476-484.
- Able K. W. 2005. A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 5-17
- Albers PH. 2003 Petroleum and individual polycyclic hydrocarbons. In: Hoffman DJ, Rattner BA, Burton GA, Cairns. J. (Eds), *Handbook of Ecotoxicology*. Lewis Publishers, USA, pp1-32
- Barber I., Hoare D., Krause J. 2000. Effects of parasites on fish behaviour: a review and evolutionary perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10 : 131-165.
- Beck M., Heck K., Able K., Childers D., Eggleston D., Gillanders B.M., Halpern B., Hays C., Hostino K., Minello T.J., Orth R., Sheridan P. & M.P. Weinstein, 2001. The role of nearshore ecosystems as fish and selfish nurseries. *Bioscience*, 51: 633-641.
- Bégout-Anras M.-L. 1995. Demand-feeding behaviour of sea bass kept in ponds: diel and seasonal patterns, and influences of environmental factors. *Aquaculture International*, 3 : 186-195.
- Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Lafaye J.Y. 1997. Diel activity rhythm of seabass tracked in a natural environment: effects of fish density on swimming patterns and amplitudes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54 : 162-168.

- Bégout Anras M.-L., Bodaly R.A., McNicol R.E. 1998. Use of an acoustic beam actograph to assess the effects of external tagging procedure on lake whitefish swimming activity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127 : 329-335.
- Bégout Anras M.-L., Cooley P., Bodaly R.A., Anras L., Fudge R.J.P. 1999a. Movement and habitat use by lake whitefish during spawning season in a boreal lake integrating acoustic telemetry and G.I.S. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128 : 939-952.
- Bégout Anras M.-L., Gyselman E.C., Jorgenson J.K., Kristofferson A.H. 1999b. Habitat preferences and residence time for the freshwater to ocean transition stage in Arctic charr. *Journal of the marine Biological Association of the U.K.*, 79 : 153-160.
- Bégout Anras M.-L., Laffargue P., Lagardère F., Lagardère J.P., Bodoy A., Dupont G., Robert S., Fillon A. 2002. Interactions between shell-fish culture and the inshore nursery function of the Marennes Oléron Basin (Bay of Biscay, France): do experimental studies support field observations? *Fifth International Symposium on Flatfish Ecology*, Isle of Man, 3-7 Nov. 2002.
- Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 2004a. Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture*, 240 : 175-186.
- Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 2004b. Domestication et comportement chez les poissons téléostéens. *INRA Productions Animales*, 17: 211-215.
- Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Covès D. 2004. Swimming activity of seabass: comparing patterns obtained in natural environment and in re-circulating tanks under high density. *Journal of Fish Biology*, 65: 314-315.
- Brambell F. W. R. 1965. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive husbandry systems. London: Command Report 2836, Her Majesty's Stationary Office.
- Brown C., Laland K.N. 2006. Social learning in fishes. In: Brown, C., Laland, K.N., Krause, J. (Eds.), *Fish cognition and behavior*. Blackwell publishing, Ltd., Oxford, pp. 186-202.
- Cabral H.N. 2000. Distribution and abundance patterns of flatfishes in the Sado Estuary, Portugal. *Estuaries*, 23: 351-358.
- Carvalho P.S., Kalil Dda C., Novelli G.A., Bainy A.C., Fraga A.P. 2008. Effects of naphthalene and phenanthrene on visual and prey capture endpoints during early stages of the dourado *Salminus brasiliensis*. *Mar Environ Res.*, 66: 205-7.
- Chatain B. 1994. Estimation et amélioration des performances zootechniques de l'élevage larvaire de *Dicentrarchus labrax* et de *Sparus auratus*. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. d'Aix-Marseille II 199 pp.
- Chevassus, B., Quillet, E., Krieg, F., Hollebecq, M.-G., Mambrini, M., Fauré, A., Labbé, L., Hiseux, J.P., Vandeputte, M., 2004. Enhanced individual selection for selecting fast growing fish: the « PROSPER » method, with application on brown trout (*Salmo trutta* fario). *Genetics Selection Evolution*, 36: 643-661.
- Couillard C.M. 2002. A microscale test to measure petroleum oil toxicity to mummichog embryos. *Environ. Toxicol.*, 17: 195-202.
- Covès D., Gasset E., Lemarié G., Dutto G. 1998. A simple way of avoiding feed wastage in European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, under self-feeding conditions. *Aquatic Living Resources*, 6 : 395-401.
- Covès D., Beauchaud M., Attia J., Dutto G., Bouchut C., Bégout Anras M.L. 2006. Long-term monitoring of individual fish triggering activity on a self-feeding system: An example using European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 253 : 385-392.
- Dill L.M. 1987. Animal decision making and its ecological consequences: the future of aquatic ecology and behaviour. *Can. J. Zool*, 65: 803-811.
- Di Poi C. 2008. Déterminisme de la structure sociale chez le bar juvenile *Dicentrarchus labrax* en conditions d'auto-nourrissage : Approches neuro-éthologique et physiologique. Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet de Saint Etienne, 257 pp.
- Di-Poi C., Attia J., Bouchut C., Dutto G., Covès D., Beauchaud M. 2007. Behavioural and neurophysiological responses of European sea bass groups reared under food constraint. *Physiology and Behavior*, 90 : 559-566.
- Durieux E.D.H., Galois R., Bégout M.-L., Sasal P., Lagardère F. 2006. Temporal changes in lipid condition and parasitic infection by digenean metacercariae of young-of-year common sole *Solea solea* (L.) in an Atlantic nursery ground (Bay of Biscay, France). *Netherlands Journal of Sea Research*, 57 : 162-170.
- Durieux E.D.H. 2007. Ecologie du système hôte-parasite, juvéniles G0 de sole (*Solea solea*) – métacercaires de Digènes : dynamique et effets de l'infestation. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 187 pp.
- Durieux E.D.H., Bégout M.-L., Sasal P. 2007. Spatial variability in digenean metacercariae infection of 0-group common sole *Solea solea* among nurseries along the French Atlantic coast. *Diseases of Aquatic Organisms*, 75 : 221-228.

- Durieux, E. D.H., Labonne M., Bégout M-L, Bassoulet C., de Pontual H. 2008. Discrimination of *Solea solea* nurseries along the French Atlantic coast using otolith elemental signatures. *7th International Flatfish Symposium*, Sesimbra, Portugal, 2-7 nov. 2008.
- Durieux E.D.H., Le Duigou M., Millot S., Sasal P., Bégout M.-L. 2009. Sedentary behaviour establishment in 0-group common sole *Solea solea*: a laboratory video-tracking study. *J. Marine Biol. Assoc. of the UK*, doi:10.1017/S0025315409991159.
- Durieux E.D.H., Bégout M.L., Pinet P., Sasal P. 2010. Digenean metacercariae parasites as natural tags of habitat use by 0-group common sole *Solea solea* in nearshore coastal areas. *Netherland Journal of Sea Research*, 64: 107-177.
- Dusenbery, D.B. 1992. *Sensory Ecology : How organisms acquire and respond to information*. W.H. Freeman and Company, New York, 558 pp.
- Elliot M., Hemingway K.L., Krueger D., Thiel R., Hylland K., Arukwe A., Förlin L., Sayer M. 2003. From the individual to the population and community responses to pollution. *In: Lawrence A.J. and Hemingway K.L. (Eds), Effects of pollution on fish*. Blackwell Publishing, UK, pp 221-255.
- Ellis T., North B.P., Scott A.P., Bromage N.R., Porter M.J., Gadd D. 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61: 493-531.
- Endler J.A. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- F.S.B.I. 2002. *Fish Welfare*, Briefing Paper 2, Granta Information Systems, Sawston, Cambridge CB 4H, p. 25.
- Faucher K., Millot S., Blancheton J.P., Lemarié G., Dutto G., Bégout M.-L. 2007a. Effect of stocking density on cultured fish swimming behaviour: First results on sea bass using acoustic telemetry in flow through tanks. *7th Conference on Fish Telemetry*, Silkeborg, Denmark, 17-21 June 2007.
- Faucher K., Millot S., Struski C., Bégout M.-L., 2007b. Assessment of sea bass swimming activity and preferential space use in sea cages using acoustic telemetry and archival tags. *7th Conference on Fish Telemetry*, Silkeborg, Denmark, 17-21 June 2007.
- Fraser D.F., Gilliam J.F., Daley M.J., Le A.N., Skalsk G.T. 2001. Explaining leptokurtic movement distributions: intrapopulation variation in boldness and exploration. *Am. Nat.*, 158 : 124-135
- Fromentin J.-M., Ernande B., Fablet R., de Pontual H. 2009. Importance and future of individual markers for the ecosystem approach to fisheries *Aquat. Living Resour.*, 22.
- Gienapp P., Teplisky C., Alho J.S., Mills J.A., Merilä J. 2008. Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Molecular Ecology*, 17: 167-178.
- Gillanders B.M., Able K.W., Brown J.A., Eggleston D.B., Sheridan P.F. 2003. Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries. *Mar Ecol Prog Ser*, 247 : 281-295.
- Gilliers C. Amara R., Bergeron J.-P., Le Pape O. 2004. Comparison of growth and condition indices of juvenile flatfish in different coastal nursery grounds. *Environmental Biology of Fishes*, 71: 189-198.
- Godin J.G., Dugatkin L.A. 1996. Female mating preference for bold males in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93: 10262-10267.
- Gonçalves R., Scholze M., Ferreira A.M., Martins M., Correia A.D. 2008. The joint effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on fish behavior. *Environ Res.*, 108: 205-13.
- Groger J.P., Rountree R.A., Thygesen U.H. et al. 2007. Geolocation of Atlantic cod (*Gadus morhua*) movements in the Gulf of Maine using tidal information. *Fisheries Oceanography*, 16: 317-335.
- Guinand B., Rolland J.-L., Bonhomme F. 2008. Genetic structure of the common sole (*Solea solea*) in the Bay of Biscay: nurseries as units of selection? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 78: 316-326.
- Hinton D.E., Kullman S.W., Hardman R.C., Volz D.C., Chen P.J., Carney M., Bencic D.C. 2005. Resolving mechanisms of toxicity while pursuing ecotoxicological relevance? *Mar Pollut Bull.*, 51: 635-48.
- Huntingford F.A., Adams C. 2005. Behavioural syndromes in farmed fish: implications for production and welfare. *Behaviour*, 142: 1207-1221.
- Huntingford F.A., Adams C.E., Braithwaite V.A., Kadri S., Pottinger T.G., Sandoe P., Turnbull J.F. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of fish biology*, 68: 332-372.
- Incardona JP, Day HL, Collier TK, Scholz NL. 2006 Developmental toxicity of 4-ring polycyclic aromatic hydrocarbons in zebrafish is differentially dependent on AH receptor isoforms and hepatic cytochrome P4501A metabolism. *Toxicol Appl Pharmacol.*, 217: 308-21.
- Johnson L.L., Arkoosh M.R., Bravo C.F., Collier T.K., Krahn M.M., Meador J.P., Myers M.S., Reichert W.L., Stein J.E. 2008. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish from Pudget Sound, Washington. *In Di Giulio RT and Hinton DE eds, The toxicology of fish*, CRC press, pp 877-923.
- Kawecki T.J., Ebert D. 2004. Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7: 1225-1241.

- Kooijman S.A.L.M., 2000. Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge University Press, Cambridge, 424 p.
- Laffargue P. 2004. Interactions entre comportement et variations de la croissance des juvéniles de la sole (*Solea solea*) dans les nourriceries des pertuis Charentais. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, xpp.
- Laffargue P., Bégout M.L., Lagardère F. 2006. Testing the potential effects of shellfish farming on swimming activity and spatial distribution of sole (*Solea solea*) in a mesocosm. - *ICES Journal of marine Science*, 63 : 1014-28
- Laland K.N., Brown C., Krause J. 2003. Learning in fishes: from three-second memory to culture. *Fish and Fisheries*, 4: 199-202.
- Le Pape O., Chauvet F., Mahevas S., Lazure P., Guérault D., Désaunay Y. 2003. Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population. *Journal of Sea Research*, 50 : 139-149.
- Luna Acosta A., Lefrançois C., Millot S., Chatain B., Bégout M.-L. Physiological response in different strains of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): swimming and aerobic metabolic capacities. *Aquaculture*, in press.
- Mayeras A.-L. 2009. Effet de l'exposition à des polluants organiques persistants, les polychlorobiphényles (PCB), sur le comportement anti-prédateur de la sole commune, *Solea solea*. M2Pro Ethologie, spécialité Ethologie Appliquée, 36pp.
- McKenzie D. J., Martínez R., Morales A., Acosta J., Morales R., Taylor E. W., Steffensen J. F., Estrada M. P. 2003. Effects of growth hormone transgenesis on metabolic rate, exercise performance and hypoxia tolerance in tilapia hybrids. *Journal of fish biology*, 63 : 398-409.
- McKenzie, D.J., Pedersen, P.B., Jokumsen, A., 2007. Aspects of respiratory physiology and energetics in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) families with different size-at-age and condition factor. *Aquaculture*, 263: 280-294.
- McNicol R.E., Bégout Anras M.-L., Scherer E. 1999. Influence of light preferences on the avoidance responses of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) to Cadmium. *Environmental Biology of Fishes*, 55 : 295 - 306.
- Miller J.M., Reed J.P., Pietrafesa L.J. 1984. Patterns, mechanisms and approaches to the study of migrations of estuarine dependent fish larvae and juveniles. *Mechanisms of migration in fishes* (éd. J.D Mc Cleave et al.), New York : Plenum, pp. 209-225.
- Millot S., Bégout M.L, Person-le Ruyet J., Breuil G., Di-Poï C., Fievet J., Pineau P., Roué M., Sévère A., 2008. Feed demand behaviour in sea bass juveniles: effects on individual specific growth rate variation and health (inter-individual and inter-group variation). *Aquaculture*, 274: 87-95.
- Millot S., Bégout M.L., 2009. Individual fish rhythm directs group feeding: a case study with sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) under self-demand feeding conditions. *Aquatic Living Resources*, 22: 363-370.
- Millot S., Bégout M.L., Chatain B., 2009a. Risk-taking behaviour variation over time in sea bass *Dicentrarchus labrax*: effects of day-night alternation, fish phenotypic characteristics and selection for growth. *Journal of Fish Biology*, 75: 1733-1749.
- Millot S., Bégout M.L., Chatain B., 2009b. Exploration behavior and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *Applied Animal Behaviour Sciences*, 119: 108-114.
- Millot S., Péan S., Leguay D., Vergnet A., Chatain B., Bégout M.L. 2010. Early effect of fish domestication and selection processes on self-feeding behaviour, growth performance and repeated acute stress tolerance. *Aquaculture*, in press.
- Moles A. 1998. Sensitivity of ten aquatic species to long-term crude oil exposure. *Bull Environ Contam Toxicol.*, 61: 102-7.
- Nakayama K., Oshima Y., Hiramatsu K., Shimasaki Y., Honjo T. 2005. Effects of polychlorinated biphenyls on the schooling behavior of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Environ Toxicol Chem.*, 24: 2588-93.
- Nielsen E.E., Hemmer-Hansen J., Foged Larsen P., Bekkevold D. 2009. Population genomics of marine fishes: identifying adaptive variation in space and time. *Molecular Ecology*, 18: 3128-3150.
- North B.P., Ellis T., Turnbull J.F., Davis J., Bromage N.R. 2006. Stocking density practices of commercial UK rainbow trout farms. *Aquaculture*, 259: 260-267
- Nye J.A., Davis D.D., Miller T.J. 2007 The effect of maternal exposure to contaminated sediment on the growth and condition of larval *Fundulus heteroclitus*. *Aquat Toxicol.*, 82 : 242-50.
- Olla, B. L., Pearson, W.H., Studholme, A.L., 1980. Applicability of behavioral measures in environmental stress assessment. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer*, 179 : 162-173.
- Pampoulie C., Jakobsdottir K.B., Marteinsdottir G., Throrsteinsson V. 2008. Are vertical behaviour patterns related to the pantophysin locus in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Behaviour Genetics*, 38: 76-81.

- Péan S., Daouk T., Loizeau V., Cousin X., Bégout M.-L. Effects of PCBs on zebrafish behavior. *9th International Congress on the Biology of Fish. Barcelona, Espagne, June 2010.*
- Péan S., Mayeras A.-L., Loizeau V., Bégout M.-L. 2009. Do PCBs affect fish personality and behavior? *31st International Ethological Conference, August 19-24, Rennes, France.*
- Pottinger T.G., Pickering A.D., 1997. Genetic basis to the stress response: selective breeding for stress-tolerant fish. In: Iwama, G.K., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck, C.B. (Eds.), *Fish Stress and Health in Aquaculture*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 171-193.
- Qian X., Cui Y., Xie S., Lei W., Xiong B., Yang Y. 2002. Individual variations in growth, food intake and activity in juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* Gray. *J. Appl. Ichthyol.*, 522 : 695-698.
- Scherer, E. 1992. Behavioural responses as indicators of environmental alterations: approaches, results, developments. *J. Appl. Ichthyol.*, 8 : 122-131.
- Slobodkin L.B., Rapoport A. 1974. An optimal strategy of evolution. *The Quarterly Review of Biology*, 49 : 181-200.
- Smith J.M., Price G.R., 1973. The logic of animal conflict. *Nature*, 246: 15-18.
- Sneddon L.U. 2003. The bold and the shy: individual differences in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 62: 971-975.
- Umino T., Arai K., Nakagawa H. 1997. Growth performance in clonal crucian carp, *Carassius langsdorfii*. Effects of genetic difference and feeding history. *Aquaculture*, 155 : 271-283.
- Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., Haffray, P., Chavanne, H., Cenadelli, S., Parati, K., Vidal, M.-O., Vergent, A., Chatain, B., 2009. Response to domestication and selection for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in separate and mixed tanks. *Aquaculture*, 286: 20-27.
- Veissier I., Beaumont C., Lévy F. 2007. Les recherches sur le bien-être animal : buts, méthodologies et finalité. *INRA Productions Animales*, 20 : 3-10
- Wahlberg M., Westerberg H., Bégout Anras M.-L. 2000a. A new sound source for acoustic fishing. *Meddlande fran Havsfiskelaboriet Lysekil*, 329 : 7-21.
- Wahlberg M., Lunneryd S.G., Bégout Anras M.-L., Westerberg H. 2000b. Reactions of whitefish to leader nets : possible role of auditory cues. In *Advances in fish telemetry*, A. Moore & I. Russell (eds), CEFAS Lowesoft publication, 137-147.
- Westerberg H. et Bégout Anras M.-L. 2000. The orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. In *Advances in fish telemetry*, A. Moore & I. Russell (eds), CEFAS Lowesoft publication, 149-158.
- Wilson D.S., Clark A.B., Biederman L. 1993. Shy bold continuum in pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*): an ecological study of a psychological trait. *J. Comp. Psychol.*, 107 : 250-260.
- Wilson D.S., Clark A.B., Coleman K., Dearstyne T. 1994. Shyness and Boldness in humans and other animals. *Trends Ecol. Evol.*, 9 : 442-446.
- Yamashita Y., Tominaga O., Takami H., Yamada H., 2003. Comparison of growth, feeding and cortisol level in *Platichthys bicoloratus* juveniles between estuarine and nearshore nursery grounds. *Journal of Fish Biology*, 63 : 617-630.
- Zhang Y., Tao S. 2009. Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. *Atmospheric Environment*, 43: 812-819.

4 Programmes de recherche et responsabilités

- *Programmes régionaux :*

- 2000 - 2006 : **Contrat de Plan Etat-Région Poitou-Charentes**. Participation au programme 2 : Eléments pour une gestion des pertuis Charentais / baie de l'Aiguillon et bassin de Marennes-Oléron : Etude du fonctionnement des nourriceries de sole dans les pertuis Charentais (responsable F. Lagardère). Campagnes TELPER 2000 et 2002, Co-encadrement de la thèse P. Laffargue et encadrement de celle de E. Durieux.

- 2007 - 2013 : **Contrat de Projet Etat-Région Poitou Charentes** (responsables J. Prou, G. Biais): Développement Durable dans les pertuis Charentais, projet GEREPECH : Quelles contributions régionales aux plans européens de gestion ou de restauration de la sole et de l'anguille ? Coordination du sous-projet SP4 'Solang' et 'Maigre'.

- 2007 - 2008 : **Contrat Régional FONSOLE** (responsable G. Biais) : Fonctionnement de la nourricerie à sole des pertuis Charentais. Participation aux déterminations de l'abondance et de la croissance des soles. Interfaçage avec le projet SOLEBEMOL.

- *Programmes nationaux :*

- 2002 - 2006 : **DEFI-Golfe de Gascogne** : NPC : Nourriceries de la sole des pertuis Charentais : interactions entre conchyliculture et fonctionnement des nourriceries (responsable F. Lagardère). Participation à la campagne MAZDA 2002 (Migration et Alimentation des soles dans une Zone de Développement Aquacole) et aux activités de recherche associées.

- 2000 - 2004 : **Programme National Environnement Côtier** projet NourCE (responsable F. Lagardère) : Fonctionnement des Nourriceries de sole sous Contraintes Environnementales dans les pertuis Charentais. Participation aux activités de recherche associées.

- 2004 - 2006 : **Programme National Environnement Côtier** : Action Transversale 'Impact des parasites sur les organismes et populations marines, modulation par les facteurs environnementaux'. Responsable M.-L. Bégout de l'action 'Impact des trématodes sur le comportement et la physiologie de la sole' en collaboration avec l'UMR 5555 CNRS-Univ. de Perpignan. [Gestionnaire d'un budget de 4 k€].

- 2002-2008 : **ORE-REPER** Observatoire de Recherche sur les Ecosystèmes des PERTuis Charentais. Participation à la fiche 'Sole' et aux activités de recherche associées (responsable F. Lagardère).

- 2007 - 2009 : **ANR ADD COSADD** : Critères et objectifs innovants de sélection animale pour un développement durable. Responsable M.-L. Bégout des recherches en éthologie sur les clones de truite arc-en-ciel en collaboration avec l'INRA de Jouy en Josas. [Gestionnaire d'un budget de 13 k€].

- 2007 - 2009 : **ANR Programme Vulnérabilité** : milieux et climat 'Projet SOLEBEMOL-Pop': Devenir et effet des contaminants dans les soles : réponse biologique à l'échelle de l'individu et de la population (responsable V. Loizeau). Responsable M.-L. Bégout des campagnes terrain dans les pertuis Charentais. [Gestionnaire d'un budget de 38 k€].

- 2008 : **Programme national EC2CO** 'Ecosphère Continentale et Côtière, CYTRIX 'Cycles hydro-biogéochimiques, transferts et impacts écotoxicologiques' : Projet SOLEBEMOL_Individu - Sole Bioaccumulation Ecotoxicologie Modélisation (responsable V. Loizeau). Responsable M.-L. Bégout des activités de recherche conduites à L'Houmeau et des activités en collaboration avec l'Université de La Rochelle. [Gestionnaire d'un budget de 15 k€].

- 2007 - 2009 : **Programme national EC2CO** - CYTRIX : Projet GénérationPOP - Effet d'une exposition précoce d'embryons de poissons aux polluants organiques persistants et conséquence sur la population par étude des effets sur plusieurs générations (Responsable X. Cousin). Responsable M.-L. Bégout des recherches en éthologie sur les poissons contaminés [Gestionnaire d'un budget de 17 k€].

- 2010 - 2012 : **ANR CES** 'Projet ConPhyPOP': Contamination et Physiologie des Poissons exposés aux Polluants (Responsable X. Cousin). Responsable M.-L. Bégout de la tâche 5 'Intégrité fonctionnelle' et des recherches en éthologie sur les poissons contaminés.

- *Programmes européens :*

Action 6^{ème} PCRDT

- 2006 - 2011 - Expert et membre du comité de gestion du réseau européen **COST 867 'WELFISH** : Welfare in European farmed fish'. <http://www.fishwelfare.com/>

- 2004 – 2007 EU STREP '**WEALTH** : Welfare and health in sustainable aquaculture'.

Co-responsable du WP2 et des analyses du comportement natatoire des bars en élevage (en circuit ouvert sous contrainte de densité croissante et en cages). [Gestionnaire d'un budget de 3 k€].

- 2004 – 2008 EU IP '**SEAFOODplus** : Health promoting, safe seafood of high eating quality in a consumer driven fork-to-farm concept'. Responsable du WP 3 dans le sous projet 'Seafood from aquaculture source: ETHIQUAL'. Analyse de la variabilité interindividuelle des réponses comportementales et physiologiques du bar. [Gestionnaire d'un budget de 93 k€].

- 2006 – 2008 EU STREP '**FASTFISH** : On farm assessment of stress level in fish', Responsable du WP 1.2 : Analyse de la motivation à s'alimenter et du comportement natatoire sous l'effet de stress aigus et chroniques chez le bar. Responsable de la thèse de Sandie Millot [Gestionnaire d'un budget 79 k€].

- 2007 – 2009 EU STREP '**BENEFISH** Evaluation and Modelling of Benefits and Costs of Fish Welfare Interventions in European Aquaculture'. Participation au WP4 'Deviation from voluntary feed intake' et co-encadrement avec M. Alunno-Bruscia du postdoctorant Ifremer A. Campéas.

Action 7^{ème} PCRDT

- 2011 – 2014 EU Infrastructure **AQUAEXCEL**: AQUAculture infrastructures for EXCELlence in European Fish research. Participation via les collaborations avec B. Chatain à Ifremer Palavas.

- 2011 - 2013 EU STREP '**FISHCOPE**: Mechanisms underlying coping strategies and welfare in farmed salmon, sea bass and sea bream'. Co-responsable du WP3 Emotional reactivity and stress. *Demande en cours d'évaluation auprès de l'UE KBBE-2010.1.2-07.*

- *Activités internationales :*

- 1999 – 2007 : Membre du comité scientifique de la '**Conference on Fish Telemetry held in Europe**', Editions de mai 1999, (Lowesoft, U.K.) ; juin 2001, (Trondheim, Norvège) ; juin 2003 (Ustica, Italie), juin 2005 (Sesimbra, Portugal), et juin 2007 (Silkeborg, Danemark).

- 2002 - **Expert évaluateur auprès de revues internationales** Journal of Fish Biology, Aquaculture, Chronobiology International etc...

- 2004 – **Expert évaluateur pour des dossiers ANR** et dossiers **Régionaux** (Aquitaine et Languedoc-Roussillon).

- 2008 : Expert auprès de l'EFSA : **European Food Safety Authority** for the Working Group on Sea Bass/Bream & European Eel Welfare.

http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902193915.htm

- *Animation et gestion de la recherche*

- Membre du Groupe de réflexion INRA / IFREMER « Domestication en aquaculture ».
- 2002 - 2006 : Membre du groupe de travail Ifremer « Récifs artificiels ».
- 2002 - 2005 : Elue au conseil de laboratoire du CREMA L'Houmeau.
- 2006 - 2007 : co-responsable de l'équipe AMARE du CRELA et membre du Bureau. Animation scientifique, gestion du budget et des personnels (13 MCF et chercheurs et 13 doctorants).
- 2004 - 2008 : Membre du comité de pilotage du Projet « Domestication » du programme QUALIPRO.
- 2004 - 2008 : Membre de la CSE08, Université de La Rochelle.
- 2004 - 2009 : Responsable pour l'Ifremer des actions ETHIQUAL et FASTFISH ; et ANR COSADD (gestion CNRS).

~

- 2003-2006 : Participation au GDR 'IMOPHYS : intégration de réponses MOléculaires et PHYSiologiques aux contaminants chimiques en milieu côtier
- 2007-2011 : Participation au GDRE **AquaDEB** (responsable M. Alunno-Bruscia).
- 2009-2012 : Participation au GDR 'EXECO : exposition aux contaminants chimiques et effets ecotoxicologiques le long du continuum milieu continental-milieu côtier'.
- 2009-2012 : Membre du GDR INRA-Ifremer **Genet** 'Amélioration génétique pour une pisciculture durable'.

5 Collaborations au niveau national et international

- **Internes :**

- | | |
|------------------------------|---|
| ✓ Département HGS - LRH-LR | - G. Biais, J.P. Léauté (CPER PC, FONSOLE) |
| ✓ Département AGSAE | - T. Renault, LGP Ifremer La Tremblade (CPER PC) |
| ✓ Département LER | - J. Prou, J. Grizon, A. Fillon (CPER PC Sole) |
| ✓ Département BE | - V. Loizeau, C. Munsch, F. Akcha (SoleBEMOL), X. Cousin (<u>Thèse S. Péan</u> , GénéPOP, ConPhyPOP) |
| ✓ Département BOME – Palavas | - B. Chatain, G. Lemarié (<u>Thèse S. Millot</u> , FASTFISH, BENEFISH, AQUAEXCEL) |
| ✓ GDR-IFREMER-INRA | - M. Vandeputte, M. Dupont-Nivet (ANR COSADD) |
| ✓ Département PFOM | - J. Person Le Ruyet (ETHIQUAL) |
| | - M. Alunno-Bruscia (BENEFISH) |
| ✓ Département STH – Brest | - H. de Pontual, M. Drogou (Bar_Connect) |

- **Nationales**

- | | |
|------------------------------------|---|
| ✓ Univ. de La Rochelle, UMR LIENSs | - C. Lefrançois, N. Imbert, H. Thomas |
| Univ. de La Rochelle, L3I | - J.Y. Lafaye, C. St Jean |
| ✓ Univ. de Saint Etienne | - J. Attia, M. Beauchaud (<u>Thèse C. Di Poi</u> ETHIQUAL) |
| ✓ UMR 5244 et UMS 2978 | - P. Sasal (<u>Thèse E. Durieux</u>) |
| ✓ UMR 5171 GPIA | - B. Guinand (CPER PC et Hab. Perturbés) |

- **Internationales**

- | | |
|-------------------------------|---|
| ✓ NOFIMA Tromsø (NO) | - B. Damsgaard, H. Toften (ETHIQUAL) |
| ✓ Univ. de Glasgow (UK) | - F. Huntingford, S. Kadri (ETHIQUAL) |
| ✓ IMR Bergen (NO) | - T. Kristiansen, F. Oppedal (FASTFISH) |
| ✓ HCMR / Univ. de Crete (GR) | - M. Pavlidis (FASTFISH) |
| ✓ Univ. de Lisbonne, IO, (PO) | - H. Cabral, P. Raposo |
| ✓ Univ. De Murcia (ES) | - J. Sanchez-Vazquez |

6 Activités d'enseignements- participation à des jurys

Cours à l'université de La Rochelle :

Master 1^{ère} année EEL-Environnement et Espaces Littoraux, option écophysiologie (2005-2008, 3 h)

Master 2^{ème} année EDEL-Exploitation Durable des Ecosystèmes Littoraux, option écophysiologie (2006-2008) (3 h)

Cours thématiques internationaux

Université de Goteborg : « A Ph.D. Class in Marine Bioacoustics », juin 2005. Tjärnö Marine Biological Station, Suède. Conférencière invitée sur la partie Télémétrie Acoustique.

Université des Açores : « A Ph.D. Class in Marine Bioacoustics », juin 2006. Université des Açores, Horta, Portugal. Conférencière invitée sur la partie Télémétrie Acoustique.

Participation à des jurys de Doctorat

Jadot C. Déc. 2003. « Caractérisation des populations et de la biologie des poissons Sparidés dans un herbier de Posidonies de la Baie de Calvi ». Université de Liège, Belgique. **Examinatrice.**

Durieux E.D.H. Juin 2007. « Ecologie du système hôte-parasite, juvéniles G0 de sole-métacercaires de Digènes : dynamique et effets de l'infestation. » Université de La Rochelle. **Directrice de thèse.**

Di Poi. C. Sept. 2008. Déterminisme de la structure sociale chez le bar juvénile *Dicentrarchus labrax* en conditions d'auto-nourrissage : Approches neuro-éthologique et physiologique ». Université de Saint Etienne. **Examinatrice.**

Millot S. Oct. 2008. « Domestication, sélection et comportement du bar : Variabilité des aptitudes comportementales et de la tolérance au stress de groupes génétiquement distincts de bar, *Dicentrarchus labrax* ». Université de La Rochelle. **Responsable scientifique, examinatrice.**

Participation à des comités de thèse

Trancart T. « Analyse comparative des stratégies de colonisation des bassins versants par les poissons migrateurs thalassotoques », (2008-2011), Co-encadrants : Eric Rochard, Patrick Lambert et Françoise Daverat. Cemagref Cestas.

Bergé J. « Les stratégies d'utilisation de l'habitat par les poissons, dans un système fluvial hydrologiquement et thermiquement perturbé, le Rhône », (2008-2011), Co-encadrants : Nicolas Lamouroux, Hervé Capra, Michael Ovidio. Cemagref Lyon.

7 Encadrement d'étudiants

Encadrement scientifique de Doctorant et de Postdoctorant

Jadot C., 1999-2003. Caractérisation des populations et de la biologie des poissons Sparidés dans un herbier de Posidonies de la Baie de Calvi. Directeur de thèse J. Voss, Université de Liège, Belgique. Co-encadrement scientifique avec E. Baras (FNRS, Belgique).

Actuellement enseignant-chercheur pour 'The School for Field Studies', station de terrain de Turk et Caicos, MA, USA.

Laffargue P., 2000-2004. Interactions entre comportement individuel et variations de la croissance des juvéniles de la sole (*Solea solea*) dans le réseau trophique des pertuis Charentais. Co-encadrement scientifique avec F. Lagardère. Actuellement cadre de recherche Ifremer à Nantes.

Durieux E., 2003-2007. Ecologie du système hôte-parasite, juvéniles G0 de sole-métacercaires de Digènes : dynamique et effets de l'infestation. Doctorant Ifremer - Conseil Régional Poitou-Charentes ; Univ. de La Rochelle. **Directrice de thèse en dérogation d'HDR**, soutenance le

14/06/07. Après un Postdoctorat à L'Université de Californie à Davis (USA), actuellement en postdoctorat à Ifremer Nantes.

Faucher K., 2005-2007. Postdoctorante IFREMER, Bien-être des poissons en Aquaculture.

Après un an de postdoctorat à L'University Hospital de Tromsø (Norvège), actuellement en postdoctorat au FNRS à Liège, Belgique, puis à au CEA à Cadarache (07/2010).

Millot S., 2005-2008. Domestication, sélection et comportement du bar : Variabilité des aptitudes comportementales et de la tolérance au stress de groupes génétiquement distincts de bar, *Dicentrarchus labrax*. Doctorant CG 17. **Responsable scientifique** avec Béatrice Chatain directrice (Ifremer Palavas). Actuellement en postdoctorat à l'Université de Liège, Belgique

Campéas A., 2008-2009. Postdoctorant IFREMER, DEB_BAR Modèle individuel bio-énergétique de croissance du bar (*Dicentrarchus labrax*) en élevage. Co-encadrement scientifique avec M. Alunno-Bruscia.

- ~ -

Péan S., 2008-2011. Caractérisation des altérations des comportements natatoires, alimentaires et sociaux des poissons en réponse aux polluants organiques persistants. Doctorant IFREMER-Conseil Régional Poitou-Charentes, **co-directrice** avec X. Cousin (INRA-Ifremer L'Hourmeau).

Benhaïm D., 2008-2011. Caractérisation de la plasticité comportementale chez les poissons. Doctorant CNAM INTECHMER, **co-directrice** avec Béatrice Chatain (Ifremer Palavas).

Direction de stage de DEA / DESS / DES / M2

Petit P., 1999. Effet de la destruction de la ligne latérale sur le comportement du bar, *Dicentrarchus labrax* (Linné 1758), évoluant en marais maritimes. Mémoire de DIRS (Diplôme d'Initiation à la Recherche Scientifique), Univ. François Rabelais de Tours. Codirection avec J.P. Lagardère.

Dupont G., 2001-2002. Déplacements et comportement alimentaire des juvéniles de la sole commune (*Solea solea*) dans les nourriceries des pertuis Charentais, zone de développement aquacole. Mémoire de DES, Univ. de Bordeaux. Codirection avec F. Lagardère.

Savary M., 2000. Le comportement individuel des saumons adultes lors de leur migration estivale dans l'Adour. DESS Ecosystèmes méditerranéens et littoraux, Univ. de Corse, Corte. CDI à la DDASS de Manche.

Acolas M.-L., 2002. Etude de la phase reproductrice comme élément de fonctionnalité des populations de grande Alose. Mesure des déplacements par pistage acoustique - Collecte et traitement des données. DEA Sciences Appliquées à L'Environnement, Univ. de Corse, Corte. Doctorat soutenu le 7/02/08 à L'Univ. de Rennes, actuellement en postdoctorat au CEMAGREF.

Millot S., 2005. Variabilité inter-individuelle du comportement de demande alimentaire et statut social du bar (*Dicentrarchus labrax* L.) sous contraintes d'élevage. – Mémoire de D.E.A. : Biologie du Comportement : Paris 13, UFR lettres, sciences de l'homme et des sociétés.

Doctorat soutenu le 14/10/08, actuellement en postdoctorat à l'Université de Liège, Belgique.

Le Duigou M., 2006. Activité natatoire et capacités cryptiques des juvéniles G0 de sole commune (*Solea solea*) : Effets de la charge parasitaire de *Prosorhynchus spp.* (Trématodes, Digènes). Mémoire de Master 2 Recherche EDEL, Univ. La Rochelle.

Actuellement en Doctorat à L'Univ. de La Rochelle.

Luna Acosta A., 2007. Variabilité physiologique chez le bar (*Dicentrarchus labrax*) : Analyse des capacités natatoires et métaboliques de différentes souches d'élevage et sauvage. Mémoire de Master 2 Recherche en Océanographie, Biologie et Écologie Marine, Univ. Aix-Marseille II.

Actuellement en Doctorat à L'Univ. de La Rochelle.

Durand E. 2008. Effet d'un stress sur les comportements natatoires du bar (*Dicentrarchus labrax*) sous contraintes d'élevage. Mémoire de Master 2, Université d'Océanologie biologique - Université du Littoral Côte d'Opale.

Péan S. 2008. Etude des effets d'un stress aigu sur le comportement alimentaire du bar européen (*Dicentrarchus labrax*) sous contraintes d'élevage. Mémoire de Master 2 Recherche EDEL Université de La Rochelle. Actuellement en Doctorat cf. ci-dessus.

Mayeras A.-L. 2009. Effet de l'exposition à des polluants organiques, les PCB, sur le comportement anti-prédateur de la sole commune, *Solea solea*. Mémoire de Master 2 Pro Ethologie Appliquée, Université Paris 13, UFR lettres, sciences de l'homme et des sociétés.

Direction de stage de Maîtrise de Biologie / MST / M1

Breton H., 1992. Etude de la variabilité de la réponse comportementale du turbot, *Psetta maxima* (L.), aux facteurs environnementaux : température et oxygène dissous. Mémoire de maîtrise d'océanographie appliquée de l'Univ. de Perpignan

Ingrand F., 1992. Etude du rythme d'activité de la dorade, *Sparus aurata* (L.), en bassin aquacole par la technique de télémétrie acoustique. Mémoire de maîtrise de sciences et techniques de l'Univ. de Tours.

Vertueux C., 1993. Etude de l'influence des facteurs environnementaux sur la prise alimentaire d'un groupe de poissons, *Dicentrarchus labrax* (L.), dans un bassin d'élevage en milieu naturel. Mémoire de maîtrise de sciences et techniques de l'Univ. de Tours.

Acolas M.-L., 2001. Etude de la phase reproductrice comme élément de fonctionnalité des populations de grande Alose (*Alosa alosa*). Mémoire de maîtrise de Sciences et Techniques, Ecosystèmes méditerranéens et littoraux, Univ. de Corse, Corte.

Dupont G., 2001. Le comportement individuel des saumons adultes lors de leur migration estivale dans l'Adour, 1999-2000 et 2001. Mémoire de maîtrise de biologie des populations, Univ. de La Rochelle.

Vignon M., 2003. Etude de la communauté parasitaire des congres (*Conger conger* (L.)) des pertuis Charentais et identification morphologique et moléculaire des digènes du genre *Proisorhynchus* spp. Magistère de biologie de l'ENS d'Ulm, Paris.

Leclercq A., 2003. Détermination des bases comportementales de l'activité natatoire de juvéniles de soles : synthèse bibliographique et mise en œuvre de méthodologies nouvelles par vidéo-analyses. Mémoire de maîtrise d'océanologie de l'Univ. de Paris VI.

Pinaudeau G., 2004. Détermination de la condition des juvéniles de sole (*Solea solea*) à leur arrivée dans les pertuis Charentais et suivi de son évolution saisonnière d'avril à août. Mémoire de DESS dynamique des écosystèmes aquatiques, UFR Sciences et Techniques Côte Basque.

Roué M., 2006. Analyse de la variabilité individuelle de la réponse physiologique du bar en condition d'élevage. Mémoire de Master 1 : Biologie intégrée et physiologie : Univ. de Paris VI.

Direction de stage de Licence de Biologie / L3

Vallée N., 2001. Le comportement individuel des saumons adultes lors de leur migration estivale dans l'Adour, 1999-2000 et 2001. Mémoire de Licence de biologie des populations, Univ. de La Rochelle.

Pinet P., 2005. Dynamique temporelle de l'infestation de la sole *Solea solea* (L.) par les métacercaires de Trématodes Digènes, *Proisorhynchus* spp. et *Timonellia* spp., dans les nourriceries des pertuis Charentais. Mémoire de L3 : biologie des populations et des écosystèmes: Univ. La Rochelle.

Mayeras A.-L., 2007. Comportement natatoire du bar européen (*Dicentrarchus labrax*) en conditions d'élevage. Mémoire de L3, Univ. de La Rochelle.

Lebon A., 2007. Développement d'un outil informatique pour l'analyse d'images vidéo : SEE_FISH. L3 IMAE Mémoire de L3 Prépa IUP - Génie Informatique.

Raunet G., 2007. Etude de la croissance individuelle de la sole (*Solea solea*) en vue i) d'analyser l'influence du substrat et ii) de recueillir des données pour définir un modèle DEB-Sole. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Mémoire de 2^{ème} année.

- Lopez Romain, 2008. Caractérisation du comportement exploratoire de la sole commune (*Solea solea*) en réponse à un environnement complexe. Rapport de stage de Licence 3 S 6, Université de La Rochelle.
- Hernandez C. 2008. Impact d'une contamination par voie trophique aux PCB sur la sole (*Solea solea*) : Effets sur la croissance. Rapport de stage de Licence Pro production animale ACA, Université de Nancy.
- Besson M. 2010. Evaluation des comportements cryptiques chez la sole commune (*Solea solea*). Rapport de stage de Licence 3 S 6, Université de La Rochelle.
- Ducci L. 2010. : Effet de marquages internes sur l'alimentation et la croissance du maigre, *Argyrosomus regius*. LPro AGDE, Université de La Rochelle.

Direction de stage de DUT

- Lièvre A., 1992. Analyse statistique du comportement du bar *Dicentrarchus labrax* (L.) en élevage : analyse de la répartition spatiale et analyse temporelle de l'activité natatoire. Mémoire de D.U.T. statistiques et informatique, IUT de l'Univ. de Poitiers.
- François A., 2005. Variabilité comportementale du bar. Mémoire de DU Technicien Aquacole, CREUFOP, Univ. de Montpellier II.
- Sandillon L., 2005. Réalisation d'une application de visualisation. Mémoire de DUT de l'IUT Informatique de l'Univ. de La Rochelle.
- Gonzalez R., 2006. Amélioration d'automates de mesure et d'enregistrement de paramètres biologiques et environnementaux. Mémoire de DUT TI de l'IUT Mesures Physiques de l'Université de Bordeaux I.
- Brisset B. 2009. Influence du tri sur le comportement alimentaire et les performances d'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*). INTECHMER, TTSM filière Génie Biologique et productions marines.
- Manca M. 2010. Influence de l'aliment à forte substitution des protéines animales par des protéines d'origine végétale sur le comportement et les performances d'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*). INTECHMER, TTSM filière Génie Biologique et productions marines.

8 Publications scientifiques et valorisation

Synthèse		
Revue à comité de lecture	Facteur d'Impact (JCR 2009)	Nombre
Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	1.95	2
ICES Journal of Marine Science	1.92	6
Aquaculture	1.92	6
Applied Animal Behaviour	1.82	1
Journal of Sea Research	1.80	2
Hydrobiologia	1.75	1
Comptes Rendus Biologies	1.71	1
Diseases of Aquatic Organisms	1.69	2
Fisheries Research	1.53	1
Journal of the Acoustical Society of America	1.52	1
Journal of Fish Biology	1.23	3
Aquatic Living Resources	1.23	1
Transactions of the American Fisheries Society	1.26	2
Environmental Biology of Fishes	1.15	1
Journal of the Marine Biological Association of the U.K	0.99	2
Aquaculture International	0.75	1
Marine and Freshwater Behaviour and Physiology	0.69	1
INRA Productions Animales	0.38	1
Facteur H = 8.88		35
Meddlande fran Havsfiskelaboratoriet Lysekil		1
Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries		1
PROCEEDINGS A COMITE DE LECTURE		
Actes de congrès Internationaux		6
Actes de congrès nationaux		2
OUVRAGES		3

1. Lagardère J.P., Bégout M.-L., Lafaye J.Y., Villotte J.P. 1994. Influence of wind-produced noise on orientation in the flatfish *Solea solea* (L.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51 : 1258-1264.
2. Bégout M.-L. et Lagardère J.P. 1995. An acoustic telemetry study of seabream (*Sparus aurata* (L.)) : first results on activity rhythm, effects of environmental variables and space utilisation. *Hydrobiologia*, 300/301 : 417-423.
3. Lagardère J.P., Bégout M.-L., Breton H., Company i Claret J.B. 1995. The effects of illumination, and temperature on swimming activity of turbot *Psetta maxima* L. *Fisheries Research*, 24 : 165-171.
4. Bégout Anras M.-L. 1995. Demand-feeding behaviour of sea bass kept in ponds: daily and seasonal patterns, and influences of environmental factors. *Aquaculture International*, 3 : 186-195.
5. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Lafaye J.Y. 1997. Diel activity rhythm of seabass tracked in a natural environment: effects of fish density on swimming patterns and amplitudes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54 : 162-168.
6. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 1998. Variabilité météorologique : conséquences sur l'activité natatoire d'un poisson marin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série III, Sciences de la Vie*, 321 : 641-648.
7. Mallekh R., Lagardère J.P., Bégout Anras M.-L., Lafaye J.Y. 1998. Variability in appetite of turbot, *Scophthalmus maximus* under intensive rearing conditions: the role of environmental factors. *Aquaculture*, 165 : 123-138.
8. Bégout Anras M.-L., Bodaly R.A., McNicol R.E. 1998. Use of an acoustic beam actograph to assess the effects of external tagging procedure on lake whitefish swimming activity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127 : 329-335.
9. Bégout Anras M.-L., Gyselman E.C., Jorgenson J.K., Kristofferson A.H. 1999. Habitat preferences and residence time for the freshwater to ocean transition stage in Arctic charr. *Journal of the marine Biological Association of the U.K.*, 79 : 153-160.
10. McNicol R.E., Bégout Anras M.-L., Scherer E. 1999. Influence of light preferences on the avoidance responses of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) to Cadmium. *Environmental Biology of Fishes*, 55 : 295 - 306.
11. Bégout Anras M.-L., Cooley P., Bodaly R.A., Anras L., Fudge R.J.P. 1999. Movement and habitat use by lake whitefish during spawning season in a boreal lake integrating acoustic telemetry and G.I.S. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128 : 939-952.
12. Lagardère F., Thibaudeau K., Bégout Anras M.-L. 2000. Feasibility of otolith markings in large juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*, using immersion in alizarin-red S solutions. *ICES Journal of Marine Science*, 57 :1175-1181.
13. Wahlberg M., Westerberg H., Bégout Anras M.-L. 2000. A new sound source for acoustic fishing. *Meddlande fran Havsfiskelaboratoriet Lysekil*, 329 : 7-21.
14. Andrew J.E., Bégout Anras M.-L., Kadri S., Holm J., Huntingford F.A. 2003. Feeding responses of hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) to a commercial diet and natural prey items. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 36 : 77-86.
15. Bégout Anras M.-L., Covès D., Dutto G., Laffargue P., Lagardère F. 2003. Tagging juvenile seabass and sole: medium term effects on growth. *ICES J. Marine Science*, 60 (6) : 1327-1333.
16. Laffargue P., Baudouin G., Sasal P., Arnaud C., Bégout Anras M.-L., Lagardère F. 2004. Parasitic infection of sole (*Solea solea*) by *Prosorhynchus* spp. metacercariae (Digenea, Bucephalidae) in Atlantic nurseries under mussel cultivation influence. *Diseases of Aquatic Organisms*, 58:179-184.
17. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 2004a. Measuring cultured fish swimming behaviour : first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture*, 240 : 175-186.
18. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 2004b. Domestication et comportement chez les poissons téléostéens. *INRA Productions Animales*, 17: 211-215.

19. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Covès D. 2004. Swimming activity of seabass: comparing patterns obtained in natural environment and in re-circulating tanks under high density. *Journal of Fish Biology*, 65 : 314-315.
20. Acolas M.-L., Bégout Anras M.-L., Véron V., Jourdan H., Sabatié M.R., Baglinière J.L. 2004. Allis Shad upstream migration and reproductive behaviour: assessment using acoustic tracking methodologies. *ICES Journal of Marine Science*, 61 : 1291-1304.
21. Jadot C., Donnay A., Acolas M.-L., Cornet Y., Bégout Anras M.-L. 2006. Activity patterns, home-range size, and habitat utilization of *Sarpa salpa* (Teleostei: Sparidae) in the Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Sciences*, 63, 128-139.
22. Acolas M.-L., Véron V., Jourdan H., Bégout M.-L., Sabatié R.M., Baglinière J.L. 2006. Upstream migration and reproductive patterns of the population of allis shad in a small river (L'Aulne, Brittany, France). *ICES Journal of Marine Sciences*, 63 : 476-484.
23. Covès D., Beauchaud M., Attia J., Dutto G., Bouchut C., Bégout M.-L. 2006. Long-term monitoring of individual fish triggering activity on a self-feeding system: an example using European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 253 : 385–392.
24. Laffargue P., Bégout M.-L., Lagardère, F. 2006. Testing the potential effects of shellfish farming on swimming activity and spatial distribution of sole (*Solea solea*) in a mesocosm. *ICES Journal of Marine Science*, 63 : 1014-1028.
25. Durieux E.D.H., Galois R., Bégout M.-L., Sasal P., Lagardère F. 2006. Temporal changes in lipid condition and parasitic infection by digenean metacercariae of young-of-year common sole *Solea solea* (L.) in an Atlantic nursery ground (Bay of Biscay, France). *Netherlands Journal of Sea Research*, 57 : 162-170.
26. Durieux E.D.H., Marques J.F., Sasal P., Bégout M.-L., Cabral H.N. 2007. Comparison of *Solea solea* macroparasites between two nursery-continental shelf systems in the Bay of Biscay and the Portuguese coast. *Journal of Fish Biology*, 70 : 1921-1930.
27. Durieux E.D.H., Bégout M.-L., Sasal P. 2007. Spatial variability in digenean metacercariae infection of 0-group common sole *Solea solea* among nurseries along the French Atlantic coast. *Diseases of Aquatic Organisms*, 75 : 221-228.
28. Millot S., Bégout M.-L., Person-Le Ruyet J., Breuil G., Di-Poï C., Fievet J., Pineau P., Roué M., Sévère, A. 2008. Feed demand behavior in sea bass juveniles: effects on individual specific growth rate variation and health (inter-individual and inter-group variation). *Aquaculture* 274 : 87-95.
29. Wilson M., Acolas M.-L., Bégout M.L., Madsen P., Wahlberg M. 2008. Ultrasound detection and intensity-graded anti-predator response in allis shad (*Alosa alosa*). *Journal of the Acoustical Society of America*, 124: 243-247
30. Jolivet A., de Pontual H., Garren F., Bégout M.-L. 2009. Effects of conventional and DST tagging on survival and growth of European hake. *J.L. Nielsen et al. (eds.), Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices, Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries* 9, 181-193.
31. Millot S., Bégout M.-L., Chatain B. 2009. Exploration behavior and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *Applied Animal Behaviour*, 119: 108-114.
32. Millot S. et Bégout M.-L. 2009. Individual fish rhythm directs group feeding: a case study with sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) under self-demand feeding conditions. *Aquat. Living Resour.*, 22, 363-370.
33. Millot S., Bégout M.-L., Chatain B. 2009. Risk taking behavior in a marine fish (*Dicentrarchus labrax*): influence of selection on responses. *Journal of Fish Biology*, 75, 1733–1749.
34. Durieux E.D.H., Le Duigou M., Millot S., Sasal P., Bégout M.-L. 2009. Sedentary behaviour establishment in 0-group common sole *Solea solea*: a laboratory video-tracking study. *J. Marine Biol. Assoc. of the UK*, doi:10.1017/S0025315409991159.

35. Durieux E.D.H., Bégout M.L., Pinet P., Sasal P. 2010. Digenean metacercariae parasites as natural tags of habitat use by 0-group common sole *Solea solea* in nearshore coastal areas. *Netherland Journal of Sea Research*, 64: 107-177.
36. Millot S., Péan S., Leguay D., Vergnet A., Chatain B., Bégout M.L. Evaluation of behavioral changes induced by a first step of domestication or selection for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): a self-feeding approach under repeated acute stress. *Aquaculture*, in press.
37. Luna Acosta A., Lefrançois C., Millot S., Chatain B., Bégout M.-L. Physiological response in different strains of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): swimming and aerobic metabolic capacities. *Aquaculture*, in press.

ARTICLES EN REVISION OU SOUMIS

Millot S., Péan S., Chatain B., Bégout M.L. Comparison of behavioural changes induced by a first and a second generation of domestication or selection for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): a self-feeding approach under acute stress" *J Fish Biol* (soumis).

PROCEEDINGS A COMITE DE LECTURE

Actes de congrès Internationaux (6)

1. Bégout M.-L. et Lagardère J.P. 1993. Acoustic telemetry : a new technology to control fish behaviour in culture conditions. In *Production, Environment and Quality*, Bordeaux Aquaculture'92, G. Barnabé & P. Kestemont (eds), *European Aquaculture Society*, special publication n°18, Ghent Belgium, 167-175.
2. Lagardère J.P., Bégout Anras M.-L., Buchet V. 1996. The acoustic positioning system as a valuable tool for estimating the well-being of fishes in aquaculture. In *Underwater biotelemetry*, Baras E. & Philippart J.C.(eds), Proceedings of the first Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe, University of Liège, Belgium, vi +177-186.
3. Bégout Anras M.-L., Kadri S., Juell J.E., Hansen T. 2000. Measuring individual and group swimming behaviour under production densities : test of a 3D multiple fish acoustic positioning system in a sea cage. In *Advances in fish telemetry*, A. Moore & I. Russell (eds), CEFAS Lowesoft publication, 75-78.
4. Wahlberg M., Lunneryd S.G., Bégout Anras M.-L., Westerberg H. 2000. Reactions of whitefish to leader nets : possible role of auditory cues. In *Advances in fish telemetry*, A. Moore & I. Russell (eds), CEFAS Lowesoft publication, 137-147.
5. Westerberg H., Bégout Anras M.-L. 2000. The orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. In *Advances in fish telemetry*, A. Moore & I. Russell (eds), CEFAS Lowesoft publication, 149-158.
6. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Gosset C., Rives J., Prouzet P. 2001. Comportement migratoire et structures hydrodynamiques : suivi individuel par pistage des saumons atlantiques dans l'Adour. In : *Océanographie du Golfe de Gascogne*. VII^e Colloq. Int., Biarritz, 4-6 avril 2000. Elbé J. (d') & Prouzet P. (coord.). Ed. Ifremer, Actes Colloq., 31 : 20-26.

Actes de congrès nationaux (2)

1. Bégout M.-L., Vertueux C., Lagardère J.P. 1994. Effets des fluctuations naturelles de l'environnement sur l'alimentation auto-régulée d'un groupe de poissons (*Dicentrarchus labrax* (L.)) élevé en marais maritime. In *Measures for success*, Kestemont P., Muir J., Sevilla F. & P. Williot (Eds). Cemagref Edition, 303-307.
2. Bégout Anras M.-L. 1998. Applications de la télémétrie acoustique à l'étude du comportement des poissons élevés en marais maritime. In : *Marais maritimes et aquaculture : Action durable pour la*

préservation et l'exploitation des zones humides littorales. Séminaire du 6 au 8 juin 1996, Centre International de la Mer, La Corderie Royale, Rochefort; Hussenot J., Buchet V. (eds.), IFREMER, Actes de Colloques, 19 : 266-267.

OUVRAGES

1. Lagardère J.P., Bégout Anras M.-L., Claireaux G. (eds). 1998. *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry, Proceedings of the Second conference on fish telemetry in Europe*. Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture, La Rochelle (France), April 5-9, 1997. *Hydrobiologia and Developments in Hydrobiology*, DH 130, 360 pp.
2. Bégout Anras M.-L., Beauchaud M., Juell J.E., Covès D., Lagardère J.P. 2001. Effects of environmental factors on fish feed intake: rearing systems. In *Feed Intake in Fish*, D. Houlihan, T. Boujard & M. Jobling (eds), Blackwell Sciences Ltd, 157-188.
3. Faucher K., Millot S., Lefrançois C., Bégout M.-L. Capacités sensorielles et comportement. In *Biologie de la truite arc-en-ciel*. B. Jalabert (Ed.), Editions QUAE, France. *Sous presse*.

COMMUNICATIONS A DES CONGRES NATIONAUX ET INTERNATIONAUX

Congrès internationaux (58 au total)

1. Bégout M.-L. et Lagardère J.P. 1992. Application de la biotélémetrie acoustique à l'investigation du comportement des poissons en élevage. Bordeaux Aquaculture'92 - International conference, 25-27 Mars 1992. Communication orale.
2. Bégout M.-L., Vertueux C., Lagardère J.P. 1994. Natural environmental fluctuations and demand feeding of a group of fish (*Dicentrarchus labrax* L.) in an earthen pond. Bordeaux Aquaculture'94 - International conference, 23-25 Mars 1994. Measures for success, S9-Stock behaviour II. Communication orale.
3. Lagardère J.P., Bégout Anras M.-L., Buchet V. 1995. The acoustic positioning system as a valuable tool for estimating the well-being of fishes in aquaculture. First conference and workshop on fish telemetry in Europe, Liège, 4-6 April 1995. University of Liège, Institute of Zoology, Belgium.
4. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 1996. Influence of hydrological and meteorological factors on seabass swimming behaviour. Fifth Wildlife Telemetry Conference, Strasbourg, Août 1996. Communication orale.
5. Bégout Anras M.-L., Cooley P.M., Bodaly R.A., Fudge R.J.P., Mills K.H. 1996. Swimming behaviour of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) during spawning season: an acoustic telemetry study at the Experimental Lakes Area (Northwestern Ontario, Canada). International Symposium on Biology and Management of Coregonid Fishes VI, Constance, Allemagne, Septembre 1996. Communication orale.
6. Bégout Anras M.-L., Bodaly R.A., McNicol R. 1996. Behavioural effects of an externally applied acoustic tag on lake whitefish. International Symposium on Biology and Management of Coregonid Fishes VI, Constance, Allemagne, Septembre 1996. Communication affichée.
7. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P. 1997. Swimming and feeding behaviour of seabream and seabass raised in ponds. First (Cost 827) Workshop on Voluntary Food Intake In Fish. Department of Zoology, Aberdeen University, Scotland, April 3-6 1997. Communication orale.
8. Bégout Anras M.-L., Gyselman E., Jorgenson J., Kristofferson A. 1997. Sea running arctic charr habitat utilization. Second conference on fish telemetry in Europe. Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture, La Rochelle (France), April 5-9, 1997. Communication orale.
9. Bégout Anras M.-L., Bodaly R.A., Cooley P.M., Fudge R.J.P., Mills K.H. 1997. Habitat utilization and swimming behaviour of lake whitefish during spawning season in a boreal lake integrating acoustic telemetry and G.I.S. Second conference on fish telemetry in Europe. Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture, La Rochelle (France), April 5-9, 1997. Communication orale.
10. Bodaly R.A., Bégout Anras M.-L., Cooley P., Cruikshank D., Huebert D., Mills K., Paterson M., Schindler E., Stainton M., Turner M., Wiens A. 1998. The lake 226 drawdown experiment : effects

- on habitat, productivity and fish populations. Society of the Canadian Limnologists, special session on Ecosystem Experiments, Kingston, Ontario, 3-4 January 1998.
11. Mallekh R., Lagardère J.P., Bégout Anras M.-L., Lafaye J.Y. 1998. Variability in appetite of turbot, *Scophthalmus maximus*, under intensive rearing conditions: the role of environmental factors. - *In* : The feeding behaviour of fish in culture. Second workshop of the COST 827 action on voluntary food intake in fish, 20-22 August 1998, Umea, Sweden. Communication affichée.
 12. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 1998. Environmental factors in ponds and voluntary food intake in fish. The Feeding Behaviour of Fish in Culture. - *In* : The feeding behaviour of fish in culture. Second Workshop of the COST 827 action on Voluntary Food Intake in Fish, 20-22 August 1998, Umeå, Sweden,. Communication orale.
 13. Bégout Anras M.-L., Kadri S., Juell J.E., Hansen T. 1998. Measuring individual swimming behaviour under production densities: Test of a 3D multiple fish acoustic positioning system in a sea cage. The Feeding Behaviour of Fish in Culture. Second Workshop of the COST 827 action on Voluntary Food Intake in Fish, Umeå, Sweden, 20-22 August 1998. Communication affichée.
 14. Bégout Anras M.-L., Block D, Dick T.A. 1999. Swimming activity and habitat selection in wild and aquaculture raised juvenile lake sturgeon. Third conference on fish telemetry in Europe, Norwich, U.K., 20-25 June 1999. Communication orale.
 15. Wahlberg M., Lunneryd S.G., Bégout Anras M.-L., Westerberg H. 1999. Reactions of whitefish to leader nets: possible role of auditory cues. Third conference on fish telemetry in Europe, Norwich, U.K., 20-25 June 1999.
 16. Westerberg H. et Bégout Anras M.-L. 1999. The orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field. Third conference on fish telemetry in Europe, Norwich, U.K., 20-25 June 1999.
 17. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 1999. Effects of stocking densities on swimming characteristics of rainbow trout : applying acoustic telemetry to the culture environment. ICES Annual Scientific Conference, Stockholm, Sweden, 29 Sept.- 2 Oct. 1999. Communication orale.
 18. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Gosset C., Rives J., Prouzet P. 2000. Comportement migratoire et structures hydrodynamiques : suivi individuel par pistage des saumons atlantiques dans l'Adour. VII Conférence du Golfe de Gascogne, Biarritz. Communication orale
 19. Bégout Anras M.-L. et Damsgård B. 2000. Swimming patterns of halibut in relation to culture conditions in flat-bottom sea cages. Third Workshop of the COST 827 action on Voluntary Food Intake in Fish, "Diet selection by fish – Variability in feeding behaviour", Acquafredda di Maratea, Potenza, Italy, 8-10 June 2000. Communication affichée.
 20. Bégout Anras M.-L., Durif C., Gosset C., Rives J., Travade F. 2001. First results of a behavioural study on seaward migrating european eel near the intake of a hydroelectric power station : comparison of radio and acoustic telemetry methods. IV Conference on Fish Telemetry in Europe, Trondheim (Norvège), Juin 2001. Communication orale.
 21. Bégout Anras M.-L., Covès D., Dutto G., Lagardère J.P. 2001. Comparing tagging techniques in seabass : effects on feed demand and growth performance. IV Conference on Fish Telemetry in Europe, Trondheim (Norvège), Juin 2001. Communication affichée.
 22. Bégout Anras M.-L., Fillon A., Robert S., Lagardère F., Lagardère J.P. 2001. Movements of sole in coastal areas under shellfish culture influence: analysis using G.I.S. and hydrodynamic models. IV Conference on Fish Telemetry in Europe, Trondheim (Norvège), Juin 2001. Communication orale.
 23. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Covès D., Gaumet F. 2001. Culture conditions and spatial distribution : Swimming patterns under high density in recirculating tanks around self-feeding events. Final Workshop of the COST 827 Action "Voluntary feed intake in fish", Reykjavik, 16-18 Août 2001. Communication orale.
 24. Bégout Anras M.-L., Laffargue P., Lagardère F., Lagardère J.P., Bodoy A., Dupont G., Robert S., Fillon A. 2002 Interactions between shell-fish culture and the inshore nursery function of the Marennes Oléron Basin (Bay of Biscay, France): do experimental studies support field observations? Fifth International Symposium on Flatfish Ecology, Isle of Man, 3-7 Nov. 2002. Communication orale.

25. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Gosset C., Rives J., Prouzet P. 2003 Atlantic salmon upstream spawning migration: A three year survey combining acoustic and radio tracking of the nearshore, estuarine and river phase. « V Conference on Fish Telemetry in Europe », June 2003. Book of abstract p 59. Communication orale.
26. Jadot C., Donnay A., Guyot E., Collart D., Acolas M.-L., Bégout Anras M.-L. 2003. Movement patterns and habitat preferences of *Sarpa salpa* using acoustic telemetry combined to a geographic information system. « V Conference on Fish Telemetry in Europe », June 2003. Book of abstract p 70.
27. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Gosset C., Rives J., Prouzet P. 2003. Présentation de systèmes de suivi de populations en milieu naturel : exemples d'une étude de la phase migratoire du saumon atlantique dans l'Adour. Communication orale. Résumé. - In : Izokin atlantiarra Iberiar Penintsulan = El salmon atlantico en la Peninsula Iberica, Urriak 22-24 Octubre 2003, San Sebastian. Komunikazioen laburpenak = Resumenes de ponencias / Ihardunaldiak V., Jornadas V., Ed. - San Sebastian : Eusko Jauriaritza Gobierno Vasco : 5.
28. Bégout Anras M.-L., Lagardère J.P., Covès D. 2004. Swimming activity of seabass: comparing patterns obtained in natural environment and in recirculating tanks under high density. The Fisheries Society of the British Isles, Annual International Symposium, Imperial College, London, England, 19-23 July 2004 "Nature and Culture: Comparative biology and Interactions of wild and farmed fish". Communication orale, abstract book, p 9.
29. Durieux E.D.H., Galois R., Bégout Anras M.-L., Sasal P., Lagardère F. 2005. Temporal changes in parasitic infection by digenean metacercariae and lipid condition of YOY common sole, *Solea solea* (L.), in an Atlantic nursery ground (Bay of Biscay, France). *Sixth International Symposium on Flatfish Ecology : Habitats in relation to recruitment variability - Generation of future direction*, 20th-25th October 2005, Maizuru, Kyoto, Japan. Communication affichée.
30. Marques J.F., Durieux E.D.H., Sasal P., Bégout Anras M.-L., Cabral H.N. 2005. Comparison of macroparasites' infection in juveniles and adults of the common sole, *Solea solea* (Linnaeus, 1758) in two different nursery-continental shelf systems (Tejo estuary, Portugal; Pertuis Charentais, France). *Sixth International Symposium on Flatfish Ecology : Habitats in relation to recruitment variability - Generation of future direction*, 20th-25th October 2005, Maizuru, Kyoto, Japan.
31. Kristiansen T.S., Bégout M.-L., Divanach P., Evensen O., Immink V., Juell J.E., Kentouri M. 2006. FASTFISH - On farm assessment of stress level in fish. World Aquaculture Society 2006, Firenze Italy, mai 2006.
32. Durieux E.D.H., Bégout M.-L., Pinet P., Sasal P. 2006. The use of digenean metacercariae as biological tags to understand the ecology of 0-group common sole, *Solea solea* (L.), in nursery ground., *11th International Congress of Parasitology ICOPA XI*, 6th-11th August 2006, Glasgow, Scotland, UK. Communication affichée.
33. Durieux E.D.H., Sasal P., Bégout M.-L. 2006. Complement component C3 gene expression in G0 sole juveniles, *Solea solea* (L.), infected by digenean metacercariae. *ICOPA XI, 11th International Congress of Parasitology*, 6th-11th August 2006, Glasgow, Scotland, UK. Communication affichée.
34. Di-Poi C., Millot S., Attia J., Bégout M.-L., Beauchaud M. 2007. Analysis of social dynamic and feeding behaviour in sea bass juveniles using X-radiography. *WellFish Conference, COST Action 867*, Varèse, Italy, May 2007. Communication orale.
35. Millot S. et Bégout M.-L., 2007. Risk taking behaviour in different sea bass strains (*Dicentrarchus labrax*). *Fourth SEAFOODplus Conference*, Bilbao, Spain, June 2007, Communication affichée.
36. Faucher K., Millot S., Blancheton J.P., Lemarié G., Dutto G., Bégout M.-L. 2007a. Effect of stocking density on cultured fish swimming behaviour: First results on sea bass using acoustic telemetry in flow through tanks. *7th Conference on Fish Telemetry*, Silkeborg, Denmark, 17-21 June 2007. Communication orale.
37. Faucher K., Millot S., Struski C., Bégout M.-L., 2007b. Assessment of sea bass swimming activity and preferential space use in sea cages using acoustic telemetry and archival tags. *7th Conference on Fish Telemetry*, Silkeborg, Denmark, 17-21 June 2007. Communication affichée.

38. Faucher K., Aas-Hansen Ø., Damsgård B., Bégout M.-L., Fuhr T., Laukli E., Stenklev N.C. 2007c. Aminoglycoside antibiotics and the sensory hair cells of inner ear and lateral line system in the atlantic cod, *gadus morhua*: effects on fish hearing threshold. Conference of Imaging in Neurosciences, Poster, Tromsø, April 2007.
39. Jolivet A., de Pontual H., Garren F., Bégout M.-L. 2007. Effects of conventional and DST tagging on survival and growth of European hake. Second International Symposium on Tagging and Tracking Marine Fish with Electronic Devices, 8-11 October 2007, San Sebastian, Espagne. **Prix du meilleur poster.**
40. Di-Poi C., Attia J., Millot S., Bégout M.-L., Schrama J., Beauchaud M. 2008. Monitoring of the self-feeding behavior in European sea bass juveniles using X-radiography: Analysis of food intake and feed efficiency". Wellfish meeting, COST 867, May 2008 Krakow.
41. Lefrançois C., Luna Acosta A., Millot S., Péan S., Bégout M.L., Domenici P. 2008. Swimming performance and aerobic metabolic scope in wild and domesticated strains of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. American Fisheries Society, Ottawa, Canada.
42. Millot S., Bégout M.L., Chatain, B., 2008. Risk-taking behavior in a marine fish (*Dicentrarchus labrax*): influence of selection for growth on responses. *European Conference on Behavioural Biology*, Dijon, France, 18-20 July, 2008.
43. Milinkovitch T., Bado-Nilles A., Durieux E.D.H., Mazurais D., Bégout M.L., Loizeau V., Thomas-Guyon H. 2009. *In vivo* effects of pollutants (PAHs, PCBs and PBDE) on immunological parameters in *Solea solea* (Linné). The 5th (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) SETAC World Congress, Sydney Australia, 3-7 August 2008.
44. Millot S., Bégout M.L., Chatain, B., 2008. Exploration behavior and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *The Fifth World Fisheries Congress 2008*, Yokohama, Japan, 20-24 October.
45. Durieux, E. D.H., Labonne M., Bégout M-L, Bassoulet C., de Pontual H. 2008. Discrimination of *Solea solea* nurseries along the French Atlantic coast using otolith elemental signatures. 7th International Flatfish Symposium, Sesimbra, Portugal, 2-7 nov. 2008. **Prix du meilleur poster.**
46. Durieux E. D. H., Bégout M.-L., Sasal P. 2008. Digenean metacercariae parasites as biological indicators of habitat use of 0-group *Solea solea* in coastal nurseries. 7th International Flatfish Symposium, Sesimbra, Portugal, 2-7 nov. 2008
47. Cannas M., Delage N., Bégout M.-L., Lefrançois C. 2008. The effect of hypoxia and PCBs on the energetic of juvenile common sole (*Solea solea*). 7th International Flatfish Symposium, Sesimbra, Portugal, 2-7 nov. 2008.
48. Eichinger M., Loizeau V., Bégout M.-L., Bacher C. 2008. Bioaccumulation of organic contaminant in the common sole (*Solea solea*): an investigation coupling experimentation, *in situ* sampling and modelling. 7th International Flatfish Symposium, Sesimbra, Portugal, 2-7 nov. 2008.
49. Campéas A., Millot S., Chatain B., Bégout M.-L., Alunno-Bruscia M. 2009. Effects of domestication, selection and stress on the energy balance of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in aquaculture. *Aquaculture Europe 2009* - August 14-17, 2009, Trondheim, Norway. Poster.
50. Cannas M., Atzori F., Bégout M.-L., Lefrançois C. 2009. Energetics of PCBs-contaminated juveniles of common sole (*Solea solea* L.): aerobic metabolism and tolerance to hypoxia. Society for Experimental Biology, 28 June-1st July, Glasgow U.K.
51. Millot S., Péan S., Mayeras A.-L., Labbé L., Dupont-Nivet M., Bégout M.-L. 2009. Fish personality as a measure of phenotypic plasticity in rainbow trout clones. *31st International Ethological Conference*, August 19-24, Rennes, France
52. Péan S., Mayeras A.-L., Loizeau V., Bégout M.-L. 2009. Do PCBs affect fish personality and behavior? *31st International Ethological Conference*, August 19-24, Rennes, France. Poster.
53. Milinkovitch T., Bado-Nilles A., Durieux E.D.H., Mazurais D., Bégout M.L., Loizeau V., Thomas-Guyon H. 2009. Biomarker responses in *Solea solea* exposed to PCBs. 14th EAFP International Conference on Diseases of Fish and Shellfish, Prague, 14 - 19 September 2009.
54. Lyphout L., Péan S., Schwartz M.-E., Bégout M.-L., Cousin X. 2009. Individual identification of zebrafish using NONATEC® RFID tags. DareNET workshop, Bilbao, Espagne, novembre 2009.

55. Péan S., Daouk T., Loizeau V., Cousin X., Bégout M.-L. Effects of PCBs on zebrafish behavior. International Congress on the Biology of Fish. Barcelone, Espagne, June 2010.
56. Péan S., Daouk T., Mayeras A.-L., Besson M., Loizeau V., Cousin X., Bégout M.-L. 2010. From model to fisheries species: Behavioural studies to reveal the potential effects of contaminant on fish population. ICES ASC, Nantes, Septembre 2010.
57. Aas-Hansen Ø., Evensen T.H., Tennøy T., Bjørnsen J.E., Sæther B.S., Karlsson A., Sivertsen A.H., Koren C., Alfredsen J.A., Toften H., Bégout M.-L. and Damsgård B. 2010. Recent developments in smart-tag fish telemetry for monitoring fish welfare in aquaculture. European Aquaculture Society, Octobre 2010, Porto Portugal.
58. Dupont-Nivet M., Prunet P., Bégout M.-L., Pellegrini P., Khaw H.L., Millot S., Péan S., Aupérin B., Valotaire C., Rolland J., Kerneis T., Goardon L., Quillet E. 2010. Genetics of adaptation in rainbow trout: a multidisciplinary approach. European Aquaculture Society, Octobre 2010, Porto Portugal.

Congrès nationaux (21 au total)

1. Lagardère J.P. et Bégout M.-L. 1993. Utilisation de l'espace et rythme d'activité de la dorade (*Sparus aurata* L.) analyses par tracking acoustique en marais maritime. 2^{ème} Congrès de Limnologie et d'Océanographie d'Evian, 25-28 mai 1993.
2. Bégout Anras M.-L. 1996. Influence des facteurs environnementaux sur le comportement du bar élevé en marais maritime. Marais maritimes et aquaculture : activité durable pour la préservation et l'exploitation des zones humides littorales. Séminaire du 6 au 8 juin 1996, Centre International de la Mer, la Corderie Royale, Rochefort. Communication orale.
3. Gosset C., Bégout Anras M.-L., Durif C., Travade F., Rives J., Garaicoechea C., Guibert A., Elie P. 2001. Premiers résultats relatifs au comportement de l'anguille de dévalaison à l'approche d'un aménagement hydroélectrique. Journées Anguilles du GRISAM, La Tour du Valat, 26-29 mars 2001.
4. Laffargue P., Bégout Anras M.-L., Sasal P., Arnaud C., Lagardère F. 2002. Présence de kystes des métacercaires d'un trématode digène chez les juvéniles de la sole des pertuis Charentais : quelles relations avec les épizooties de mollusques ? Les protistes dans le monde aquatique, 40^{ème} réunion du Groupement des Protistologues de Langue Française, La Rochelle, 29-31 mai 2002.
5. Bégout Anras M.-L., Laffargue P., Lagardère F., Lagardère J.P., Bodoy A., Arnaud C., Dupont G. Robert S., Fillon A. 2002. Comportement et croissance de la sole sous l'influence des élevages de mollusques dans les pertuis Charentais : approches expérimentales et de terrain. In : Colloque (1) du Défi Golfe de Gascogne, Brest, 11-13 déc. 2002. Communication affichée.
6. Acolas M.-L., Bégout Anras M.-L., Véron V., Baglinière J.L., Sabatié M.R. 2003. Comportement migratoire et reproducteur de la grande alose (*Alosa alosa*, L.) : investigation avec les outils de la télémétrie acoustique. RIF 2003 « Deuxièmes rencontres de l'Ichtyologie en France », Paris, mars 2003.
7. Bégout Anras M.-L. et Lagardère J.P. 2003. Comportements et domestication. Séminaire INRA/IFREMER Diversification-Domestication, Nantes 24-25 juin 2003.
8. Gosset C., Travade F., Durif C., Elie P., Bégout Anras M.-L., Rives, J., 2003. Dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée (*Anguilla anguilla*). Tests de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique d'Halsou (Nive-64). Communication GIS ECOBAG, 25 sept. 2003, Gujan-Mestras.
9. Durieux E.D.H., Sasal P., Vignon M., Alienne J.-F., Bégout M.-L. 2004. Life cycle of *Prosoorhynchus* spp. (Digenea, Bucephalidae) in the Charentais Straits: confirmation by ITS1 ribosomal DNA sequences. National Programme on the Coastal Environment (PNEC), European Workshop: Impact of parasites on marine organisms, modulation by environmental factors: status of art and project, 4th-5th November 2004, Brest, France.
10. Durieux E.D.H., Sasal P., Bégout M.-L. 2004. Biological and ecological performances of the common sole in the Charentais Straits: evaluation of the effects of Digenean parasitic infection on juveniles. National Programme on the Coastal Environment (PNEC), European Workshop: Impact

of parasites on marine organisms, modulation by environmental factors: status of art and project, 4th-5th November 2004, Brest, France.

11. Durieux E.D.H., Arnaud C., Sasal P., Lagardère F., Bégout Anras M.-L. 2005. Infestation parasitaire des juvéniles de *Solea solea* par des métacercaires de Digènes : Variabilité spatiale entre différentes nourriceries de la Manche et du Golfe de Gascogne ; Dynamique temporelle dans les pertuis Charentais. *Colloque Défi golfe de Gascogne*, 22th-24th March 2005, Brest, France.
12. Durieux E.D.H., Bégout M.-L., Sasal P. 2006. Infestation *in situ* de juvéniles G0 de sole, *Solea solea* (L.), par *Prosohynchus crucibulum* (Digènes, Bucephalidae) : effets sur la croissance et la condition. *Congrès Programme National Environnement Côtier (PNEC) "Développements récents de la recherche en environnement côtier"*, 26th-28th June 2006, Nantes, France.
13. Millot S., Di Poi C., Person-Le-Ruyet J., Sevère A., Pineau P., Bégout M.-L., 2006. Analyse des demandes alimentaires d'une population de bars (*Dicentrarchus labrax*) sous self-feeder: incidence de l'activité manipulatrice individuelle sur l'alimentation du groupe. *Troisième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 28-31 Mars 2006, Paris. **Premier prix de la communication orale décerné à S. Millot.**
14. Durieux E.D.H., Bégout M.-L., Sasal P. 2006. Infestation *in situ* de juvéniles G0 de sole, *Solea solea* (L.), par *Prosohynchus crucibulum* (Digènes, Bucephalidae) : effets sur la croissance et la condition. *Troisième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 28-31 Mars 2006, Paris, France.
15. Di Poi C., Millot S., Beauchaud M., Dutto G., Covès D., Bégout M.-L. & Attia J. 2006. Heterogeneity of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) feed-demand behaviour subjected to a constraint on food ("self-feeder"): behavioral and neuroendocrine approaches. *Troisième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 28-31 Mars 2006, Paris.
16. Pellegrini P., Quillet E., Prunet P., Bégout M.-L., Tocqueville A., Phocas F., Dupont-Nivet M. 2009. Approche multidisciplinaire du bien-être des poissons : anthropologie, génétique, physiologie et éthologie. *Quatrième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 24-27 Mars 2009, Paris, France.
17. Péan S., Millot S., Bégout M.-L., Chatain B. 2009. Effets des stress chroniques et aigus sur le comportement alimentaire et les performances de croissance de différentes souches de bar européen (*Dicentrarchus labrax*). *Quatrième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 24-27 Mars 2009, Paris, France.
18. Millot S., Bégout M.-L., Chatain B. 2009. Caractérisation de la personnalité des poissons : influence des processus de domestication et de sélection sur le caractère « timide » ou « audacieux » *Quatrième Rencontre de l'Ichtyologie en France*, 24-27 Mars 2009, Paris, France.
19. Campéas A., Chatain B., Millot S., Di-Poi C., Lemarié G., Person J., Bégout M.L., Alunno-Bruscia M. 2009. Bio-energetic modelling of growth of the European sea bass in aquaculture, based on Dynamic Energy Budget theory. *AquaDEB symposium*, Brest, Avril 2009.
20. Milinkovitch et al. Les PCBs dégradent-ils l'intégrité fonctionnelle du système immunitaire chez *Solea solea* ? Le 25em Forum des jeunes océanographes, La Rochelle, 28-29 octobre 2009.
21. Bégout M.-L., Dupont-Nivet M., Quillet E., Prunet P., Millot S., Péan S., Chatain B. 2009. Critères d'évaluation de l'adaptation et du bien-être. Second séminaire sur la Domestication en aquaculture, Montpellier 25 & 26 novembre 2009.

Conférences de vulgarisation

1. La communication des poissons avec leur environnement, IMAGES ET SCIENCES: les treizièmes rencontres internationales de l'audiovisuel scientifique. Conférencière invitée au Centre National de La Mer et des Eaux, Institut Océanographique, 5 octobre 1996, Paris.
2. Comptes rendus aux gestionnaires et pêcheurs professionnels des campagnes portant sur les modalités de la migration des saumons de l'Adour : février 2000, juin 2001, Ste Marie de Gosse.
3. Bégout M-L, Millot S, Vandeputte M, Chatain B, 2006. Analyse à long terme des demandes alimentaires dans une population de bar en situation auto-nourrissage : Incidence de l'activité manipulatrice individuelle sur l'alimentation du groupe. Réunion du Syndicat Français de l'Aquaculture Marine et Nouvelle, mars 2006, Montpellier.

4. Bégout M-L, 2007. Bien-être des poissons dans l'Aquaculture Européenne : Action Européenne COST 867. Journées Recherche de la filière Piscicole. Juillet 2007, Paris.
5. Evaluation de la tolérance au stress de différentes lignées génétiques de bar (*Dicentrarchus Labrax*) : exemples d'indicateurs comportementaux discriminants. Réunion du Syndicat Français de l'Aquaculture Marine et Nouvelle, mars 2008, Montpellier.
6. Vandeputte M, Chatain B, Millot S, Bégout M-L 2009. Effet d'une génération de sélection ou de domestication du bar sur les performances de croissance, de qualité et de comportement alimentaire (projet européen COMPETUS et issues) et testage de souches. 20^{ème} Journée technique piscicole SYSAAF, Mars 2009, Paris.
7. Bégout M-L, Millot S, Chatain B, 2009. Résultats du programme européen "FASTFISH" : démonstration d'un logiciel d'acquisition *in situ* des données de production, d'environnement et de bien-être des poissons en élevage. Journées Recherche de la filière Piscicole. Juillet 2009, Paris

RAPPORTS

1. Rapport à mi-parcours du projet européen 'FASTFISH :On farm assessment of stress level in fish: Juillet 2007. Responsable du WP 2 – Seabass.
2. Rapport final du projet européen 'WEALTH : Welfare and health in sustainable aquaculture'. Contribution au WP2. Mars 2008.
3. Bégout M.L. (2008). *Bibliomer n° S1* - Décembre, **analyse n° 2008-166S** : Qualités éthiques et bien-être des poissons en aquaculture, **d'après** : Fish welfare and ethical qualities in aquaculture. Damsgård B. In: Improving seafood products for the consumer, p. 490-510.
4. Rapport final du projet européen 'FASTFISH :On farm assessment of stress level in fish: Avril 2009. Responsable du WP 2 – Seabass.
5. Biais G., Bégout M.-L., Léauté J.-P., Robert S., Robert St., Bordeyne F., Cousin X., Daouk T., de Rafélis M., Mayeras A.-L., Péan S., 2009. Gestion des ressources des Pêches de Poitou-Charentes, rapport du sous-projet 4 du contrat de plan Etat-Région Poitou-Charentes, 34p. + annexes.