

15 > Évaluation des populations de migrateurs amphihalins

51 > Évaluation des impacts anthropiques sur les populations de migrateurs amphihalins et leur environnement

87 > Expertise et aide à la décision pour la conservation, la restauration et l'adaptation aux changements globaux

N° 47 - 2025

Sciences Eaux & Territoires



© Yannick Gouguenheim/Image & rivière

**LA GESTION DES MIGRATEURS AMPHIHALINS
DANS LEUR ENVIRONNEMENT
EN FRANCE**

INRAE



Introduction

- 1 Le pôle pour la gestion des migrateurs amphihalins dans leur environnement (MIAME)**
Jean-Marc ROUSSEL, Marie-Laure ACOLAS, Anthony ACOU, Guillaume EVANNO, Quentin JOSSET, Karl KREUTZENBERGER, Frédéric MARCHAND, Étienne PRÉVOST, Étienne RIVOT, Laurent BEAULATON
- 7 Poissons migrateurs amphihalins, espèces diadromes : de quoi parle-t-on ?**
Éric ROCHARD, Patrick LAMBER, Géraldine LASSALLE

Évaluation des populations de migrateurs amphihalins

- 17 Développement d'un marqueur moléculaire pour l'identification des lamproies au stade juvénile**
Ahmed SOUSSI, Anne-Laure BESNARD, Guillaume EVANNO
- 21 Construction d'un modèle d'estimation du nombre de lamproies sur frayère en utilisant un simple comptage de nids**
Marius DHAMELINCOURT, Cédric TENNELIER, Laurent BEAULATON
- 29 Automatisation de l'analyse de données des caméras acoustiques par un réseau de neurones convolutifs**
François MARTIGNAC, Guglielmo FERNANDEZ-GARCIA, Thomas CORPETTI, Marie NEVOUX, Laurent BEAULATON
- 35 Peut-on utiliser l'ADN environnemental pour le suivi quantitatif des populations de poissons migrateurs ?**
Erwan QUÉMÉRÉ, Zoé RAPHALEN, Anne-Laure BESNARD, Marine VAUTIER, Natacha NIKOLIC
- 41 Microchimie comparative des otolithes et des écailles de saumon Atlantique (*Salmo salar*)**
Matthias VIGNON, Gilles BAREILLE, Christophe PEYCHERAN, Hélène TABOURET

Évaluation des impacts anthropiques sur les populations de migrateurs amphihalins et leur environnement

- 53 Synthèses sur l'état des populations, des pressions et des modalités de gestion des poissons migrateurs amphihalins en France : aloses, lamproies, saumon et truite de mer**
Guirec ANDRÉ, Pierre-Marie CHAPON, Maud CHARLES, Johann CLERMONT-LEDEZ, Omar DIOUACH, Noémie GUILLERME, Quentin JOSSET, Sophie LAUNEY, Marion LEGRAND, Marie NEVOUX, Coralie SAUVADET, Laurent BEAULATON

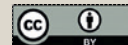


- 57 Pour une meilleure connaissance des espèces amphihalines : la mise en place de suivis de la pêche récréative et professionnelle du saumon (*Salmo salar*), de la truite de mer (*Salmo trutta*) et de l'anguille (*Anguilla anguilla*)**
Clarisse BOULENGER, Guirec ANDRÉ, Adly KOUBAA, Cécile TREHIN, Sophie LAUNEY, Anne-Laure BESNARD, Marie NEVOUX, Élise GAUTEUR, Laurent BEAULATON, Frédéric MARCHAND
- 63 Le projet PastSatAb pour reconstruire des séries temporelles d'abondance et de taux d'exploitation du saumon atlantique en France**
Clément LEBOT, Étienne RIVOT, Marie NEVOUX, Étienne PRÉVOST, Mathieu BUORO, Guirec ANDRÉ, Laurent BEAULATON
- 71 La photogrammétrie subaquatique pour l'étude des habitats en cours d'eau**
Guillaume FORGET, Alan BAZIN, Karl KREUTZENBERGER, Émilien LASNE, Jean-Marc ROUSSEL, Alain CRAVE, Olivier DÉZERARD
- 77 Combiner la télémétrie et le biologging pour étudier la réponse écophysiological des poissons migrateurs aux pressions d'origine anthropique**
Émilien LASNE, Guillaume FORGET, Mathieu ANFRAY, Théo CHAUBET, Kevin DERoyer, Armand MICHELOT, Julien TREMBLAY, François MARTIGNAC



Expertise et aide à la décision pour la conservation, la restauration et l'adaptation aux changements globaux

- 89 SalmoGlob – Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord**
Étienne RIVOT, Maxime OLMOS, Rémi LEMAIRE-PATIN, Pierre-Yves HERNVANN, Marie NEVOUX, Étienne PRÉVOST, Mathieu BUORO, Laurent BEAULATON
- 97 Rénovation de la gestion du saumon en Bretagne : le projet RENOSAUM**
Étienne PRÉVOST, Clément LEBOT, Laurent BEAULATON, Marie-Andrée ARAGO, Gaëlle LEPRÉVOST, Marie NEVOUX, Étienne RIVOT
- 103 Expertise sur les populations d'alooses et de lamproies**
Marius DHAMELINCOURT, Maud CHARLES, Catherine BOISNEAU, Françoise DAVERAT, Guillaume EVANNO, Patrick LAMBERT, Émilien LASNE, Sophie LAUNEY, Céline LE PICHON, Cédric TENNELIER, Laurent BEAULATON
- 113 Programme MigrenMer : synthèse et valorisation des connaissances disponibles sur les migrateurs amphihalins en mer**
Gaspard DUBOST, Sophie ELIOTT, Anthony ACOU, Laurent BEAULATON, Vincent TOISON, Étienne RIVOT
- 119 Genèse d'un suivi scientifique à long terme pour documenter les transitions écologiques et territoriales accompagnant l'effacement de grands barrages en France**
Laura SOISSONS, Marie-Anne GERMAINE, Manuel CHEVÉ, Karl KREUTZENBERGER, Laurent BEAULATON, Jean-Marc ROUSSEL



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

Le pôle pour la gestion des migrateurs amphihalins dans leur environnement (MIAME)

Bilan d'activité 2019-2024

Jean-Marc ROUSSEL^{1,8}, Marie-Laure ACOLAS^{2,8}, Anthony ACOU^{3,8}, Guillaume EVANNO^{1,8}, Quentin JOSSET^{4,8}, Karl KREUTZENBERGER^{5,8}, Frédéric MARCHAND^{6,8}, Étienne PREVOST^{7,8}, Étienne RIVOT^{1,8}, Laurent BEAULATON^{4,8}

¹ DECOD (Dynamique et Durabilité des Ecosystèmes), L'Institut Agro, IFREMER, INRAE, Rennes, France.

² EABX (écosystèmes aquatiques et changements globaux), INRAE, Bordeaux, France.

³ UAR PatriNat (OFB-MNHN-CNRS-IRD), Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel, Station marine de Dinard, MNHN, Dinard, France.

⁴ Service Conservation et gestion durable des espèces exploitée, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, OFB, U3E, Rennes, France.

⁵ Service de l'eau et des milieux aquatiques, Direction Surveillance, Évaluation, Données, OFB, U3E, Rennes, France.

⁶ U3E (Unité Expérimentale d'Écologie et d'Écotoxicologie aquatique), INRAE, OFB, Rennes, France.

⁷ ECOBIOP, Université de Pau et des Pays de l'Adour, INRAE, Saint-Pée-sur-Nivelle, France.

⁸ Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, L'Institut Agro, UPPA, France.

Correspondance : Jean-Marc ROUSSEL, jean-marc.rousseau@inrae.fr

Les amphihalins, espèces qui effectuent leurs cycles biologiques entre les milieux marins et dulçaquicoles, font l'objet de préoccupations et de mesures de protection grandissantes. Le pôle pour la gestion des Migrateurs AMphihalins dans leur Environnement (MIAME) rassemble des compétences scientifiques et techniques uniques en France. Ses travaux ont une vocation opérationnelle pour la préservation de cette biodiversité remarquable et de ses habitats. Ce numéro spécial de la revue Science Eaux & Territoires présente une sélection des résultats acquis sur la période 2019-2024.

Pourquoi les migrateurs amphihalins ?

Les espèces migratrices amphihalines sont les animaux aquatiques, poissons et macrocrustacés en majorité, qui effectuent leurs cycles biologiques alternativement entre les milieux aquatiques continentaux et marins. Les plus connues sont des poissons comme le saumon Atlantique *Salmo salar*, l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ou l'anguille européenne *Anguilla anguilla*, mais certaines espèces de lamproies et crustacés peuvent aussi être amphihalines. On les retrouve sur la majeure partie des territoires français, d'Hexagone et d'Outre-mer, malgré leur raréfaction lors du siècle écoulé. Ce sont des espèces à valeur patrimoniale et économique (pêches professionnelles et amateurs). De par leurs cycles biologiques particuliers, elles sont sensibles aux pressions océaniques et continentales, notamment les ruptures de continuité écologique sur leurs routes migratoires. De fait, beaucoup d'entre elles ont des statuts de conservation préoccupants voire critiques, et sont listées aux annexes des grandes conventions ou règlements internationaux sur la biodiversité (DHFF, DCSMM, Bonn, Berne, OSPAR, CITES notamment ; les sigles sont expliqués

dans l'encadré ①). Elles font aussi l'objet de réglementations spécifiques (règlement européen anguille, articles R436-44 et suivants du code de l'environnement, plans nationaux d'actions).

De ce fait, les migrateurs amphihalins font l'objet d'une attention particulière de la part de nombreux acteurs en prise avec les enjeux de la biodiversité, de la préservation et de la restauration de la nature. La commission européenne et diverses organisations internationales sont impliquées, souvent *via* des comités d'experts internationaux (CIEM, UICN, OCSAN). Au niveau national, le sujet des migrateurs amphihalins concerne plusieurs directions ministérielles en charge de l'écologie et de la pêche (DEB et DGAMPA au ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche), ainsi que leurs services déconcentrés (DREAL, DIRM, DDTM), et les Agences et Offices de l'eau. De plus, on compte sur le territoire un important maillage de structures techniques en charge des suivis des poissons migrateurs et de la restauration de leurs habitats (EPTB, fédérations de pêche, associations migrants, parcs régionaux, communautés d'agglomérations).

Encadré 1 – Listes des instances, directives et conventions citées dans le texte qui prennent en compte les migrateurs amphihalins

Au niveau international

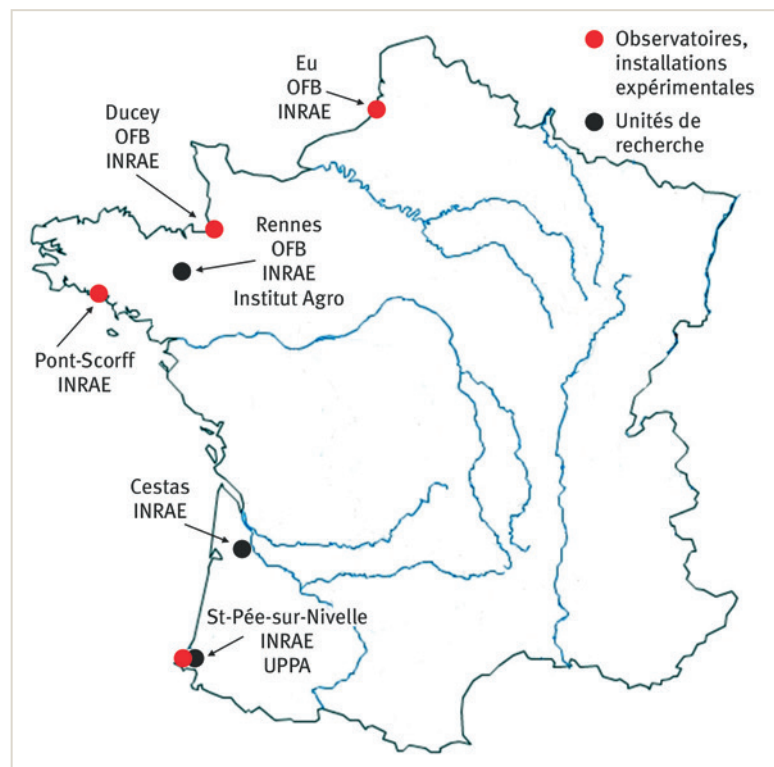
Berne : Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe.
Bonn : Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage.
CIEM : Conseil international pour l'exploration de la mer.
CITES : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.
DCSMM : Directive cadre stratégie pour le milieu marin.
DHFF : Directive européenne pour la conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages.
OCSAN : Organisation pour la conservation du saumon de l'Atlantique nord.
OSPAR : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord Est.
UICN : Union internationale pour la conservation de la nature.

Au niveau français

Agences et Offices de l'eau.
COGEPOMI : Comité de gestion des poissons migrateurs.
DDTM : Direction départementale des territoires et de la mer.
DEB : Direction de l'eau et de la biodiversité (ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche).
DGAMPA : Direction générale des affaires maritimes, de la pêche et de l'aquaculture (ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche).
DIRM : Direction interrégionale de la mer (ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche).
DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.
DDTM : Direction départementale des territoires et de la mer.
EPTB : Établissements publics territoriaux de bassin.

Figure 1 – Implantations nationales du pôle MIAME.

Sur les observatoires, les installations sont gérées en partenariat avec la Fédération de pêche des Pyrénées Atlantiques, les Associations de pêche de la Nive et de Nivelle Côte Basque, MIGRADOUR et la Communauté d'agglomération Pays Basque à Saint-Pée sur Nivelle ; la Fédération de pêche du Morbihan, les Associations de pêche de Plouay et de Guémené à Pont-Scorff ; le Syndicat mixte d'aménagement de la Bresle et SEINORMIGR à Eu.



1. <https://pole-miame.hub.inrae.fr/>

2. Observatoire de recherche en environnement poissons diadromes dans les fleuves côtiers : <https://diapfc.hub.inrae.fr/> ; <https://doi.org/10.17180/HJ5B-VW53>

Enfin, différents acteurs du monde socio-professionnel entretiennent un lien direct avec les migrateurs amphihalins et/ou leur environnement : pêche professionnelle ou de loisirs, production d'électricité, activités des zones portuaires et voies navigables, audits environnementaux. Dans ce contexte et en interaction avec ces acteurs, le pôle pour la gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement (MIAME) agit en anticipation ou en réponse aux questions relatives à la gestion des espèces amphihalines. Il développe des activités opérationnelles pour préserver cette biodiversité remarquable et ses spécificités, ainsi que les écosystèmes continentaux, estuariens et marins qui les abritent.

Le pôle MIAME

Qui sommes-nous ?

Les activités du pôle MIAME prennent leur source dans les travaux pionniers débutés dans les années 1970 entre le Conseil supérieur de la pêche et l'INRA, sur les populations de poissons migrateurs amphihalins de l'Hexagone (Baglinière et Porcher, 2019). Au fil des décennies et au gré des remaniements des organismes, un accord-cadre fut signé en 2008 entre l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) et l'INRA, dont l'un des domaines concerne le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et les changements globaux. Alimenté par de nombreuses recherches sur les migrateurs amphihalins, cet accord-cadre resserre un peu plus les liens entre les équipes des deux organismes. Un premier pôle de recherche et développement entre l'ONEMA et l'INRA est créé en 2013 (pôle Gest'Aqua 2013-2018). Fruit d'un processus long d'une cinquantaine d'années de collaboration, c'est finalement en 2019 que fut adoptée la convention de partenariat public-public entre les quatre organismes qui contribuent actuellement au pôle MIAME¹ : OFB, INRAE, l'Institut Agro et l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA).

Le pôle MIAME regroupe une grande partie des équipes de recherche travaillant sur les espèces amphihalines à l'échelle nationale (figure 1). Il mobilise des moyens humains et financiers des quatre établissements partenaires (encadré 2). Des collaborations avec d'autres équipes nationales sont aussi établies sous l'égide du pôle. Le pôle intègre enfin les observatoires long terme de l'ORE DiaPFC², avec des agents qui font fonctionner ces installations et contribuent au développement des activités du pôle sur ces sites. Ainsi, c'est une quarantaine d'agents titulaires qui participe régulièrement au collectif du pôle, à laquelle s'ajoute une trentaine d'agents contractuels, étudiants ou stagiaires.

Quelles sont les missions du pôle MIAME ?

Le pôle MIAME a pour objet d'étude les migrateurs amphihalins et leurs habitats continentaux et marins. Les sujets investis sont la démographie et l'évolution des populations, les effets des pressions anthropiques sur ces populations et leurs habitats, ainsi que les moyens de les préserver et de les restaurer.

Pour couvrir ces domaines, les activités du pôle MIAME s'organisent selon cinq missions :

- **Production de connaissances sur les populations d'amphihalins et leurs habitats, ainsi que les pressions qu'ils subissent.** Les projets de recherche opérationnelle

peuvent être développés en propre ou au sein de programmes plus larges dans lesquels le pôle tient un rôle de partenaire (projets européens Interreg, Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche par exemple). Par les projets de recherche pilotés et les données acquises, le pôle produit et transfère ses connaissances au niveau régional, national et international.

- **Observatoires à long terme.** Il s'agit des rivières index au plan international, dont les séries chronologiques et échantillons sont mises à disposition *via* différents canaux (*Global Biodiversity Information Facility, Data Collection Framework, Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel*) selon une démarche de science ouverte. Ces ressources permettent d'étudier les évolutions à long terme. Ce sont aussi des lieux privilégiés d'expérimentation pour les projets du pôle.

- **Sites pilotes.** Ce sont des sites sur lesquels le pôle accompagne scientifiquement des opérations « grandeur nature » de gestion des territoires et de la biodiversité, au côté des acteurs territoriaux. Pour évaluer l'effet de ces opérations, le pôle participe en particulier au suivi des populations de migrateurs amphihalins. Les opérations doivent être innovantes, soit dans les outils et méthodes mis en œuvre, soit dans leur dimensionnement à large échelle.

- **Expertise scientifique et appui aux politiques publiques.** Elle peut être collective sur demande institutionnelle, ou individuelle et liée à l'appui ou au conseil, au niveau régional, national et international (COGEPOMI, UICN, groupes de travail récurrents du CIEM sur les migrateurs, OSPAR). En appui aux politiques publiques, le pôle contribue aux évaluations dans le cadre des directives européennes (DCSMM, DHFF notamment) et émet des recommandations portant sur les méthodes de suivi, d'évaluation ou de gestion des migrateurs amphihalins et de leurs habitats.

- **Innovation, diffusion et formation.** Le pôle synthétise et diffuse les connaissances acquises en propre ou par des partenaires, notamment *via* son portail HAL³ et

par des communications grand public (communiqués de presse, média, salons, événements). Il innove par des mises au point (équipements ou logiciels) en interne ou en partenariat et des tests de nouvelles solutions technologiques. L'activité de formation continue cible les gestionnaires, alors que la formation initiale dans les établissements d'enseignement associés contribue à préparer les professionnels et acteurs futurs de la gestion des migrateurs amphihalins.

Présentation du numéro spécial

Après un premier article rappelant ce qu'est un migrateur amphihalin et donnant certaines définitions utiles à la compréhension des enjeux autour de ces espèces (Rochard *et al.*), les résultats sont déclinés en trois axes qui structurent les activités du pôle : 1) évaluation des populations de migrateurs amphihalins, 2) évaluation des impacts anthropiques sur les populations et leurs environnements, 3) l'expertise et l'aide à la décision pour la conservation, la restauration et l'adaptation aux changements globaux.

Évaluation des populations de migrateurs amphihalins

L'évaluation de l'abondance des populations est une activité centrale du pôle, qu'il s'agisse d'espèces exploitées par la pêche ou non. Elle permet de mettre à jour le statut de conservation des espèces et de rapporter l'état des populations aux instances nationales et internationales en charge de leur préservation et de leur gestion. Le travail porte sur l'amélioration des techniques d'échantillonnage (présence, comptage), de collecte de données individuelles (biométrie, traits de vie, tissu), et des méthodes d'estimation (modélisation) des abondances, des flux migratoires et de renouvellement des populations.

Les connaissances sur l'écologie des migrateurs amphihalins sont très inégales selon les espèces. Parmi les moins connues, les lamproies ont fait l'objet d'un effort de recherche particulier. Notamment, entre lamproies

Encadré ② – Fonctionnement d'un pôle R&D à l'Office français de la biodiversité (OFB) : le cas du pôle MIAME.

Les pôles R&D entre l'OFB et ses partenaires de recherche centrés sur les enjeux de la biodiversité, ont pour objectif de constituer des équipes mixtes scientifiques et techniques nationales de référence sur leurs thématiques spécifiques. Afin d'accompagner les politiques publiques sur la biodiversité et la préservation comme la restauration des milieux qui la soutiennent, chaque pôle identifie les besoins prioritaires et conduit des travaux de recherche finalisée, de transfert des connaissances et d'expertise. Il est régi par une convention de coopération pluriannuelle qui, dans le cas du pôle MIAME, concerne trois établissements publics de tutelle en plus de l'OFB : INRAE, l'Institut Agro et l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA). Sur la période d'exercice 2019-2024, une quarantaine d'agents titulaires s'est impliquée dans les travaux du pôle. Le montage financier de la convention entre les établissements permet de dégager un budget annuel qui alimente notamment ses travaux de recherche.

Un binôme de direction, nommé dans la convention, a pour rôle de définir le schéma d'orientation stratégique du pôle sous la forme d'une feuille de route, d'assurer son application et sa gestion financière. La direction s'entoure d'un comité de direction (CODIR) regroupant des représentants des sept entités constitutives du pôle : OFB-DRAS (Direction Recherche et Appui Scientifique, service Conservation et gestion durable des espèces exploitées), OFB-DSUED (Direction Surveillance, Évaluation et Données, service Eau et milieux aquatiques), unité d'appui et de recherche PATRINAT (OFB-MNHN-CNRS-IRD), unités mixtes de recherches DECOD (INRAE, l'Institut Agro, IFREMER) et ECOBIOP (INRAE, UPPA), unité de recherche INRAE EABX, et unité expérimentale INRAE U3E.

Le CODIR oriente et sélectionne les actions financées annuellement par le pôle. Il s'assure de leur bon déroulement vis-à-vis des enjeux de recherche et de gestion, ainsi que de la valorisation des travaux. Il anime la vie du pôle et la communication en organisant des journées d'échanges internes ou ouvertes aux partenaires externes.

Enfin, la direction rend compte de l'activité du pôle au comité de pilotage (COPIL). Le COPIL est constitué de représentants désignés par les quatre établissements de tutelle, qui étudient et valident annuellement les bilans et les choix, tout en veillant à la bonne exécution de la convention de coopération.

3. https://hal.science/POLE_MIGRATEURS_AMPHIHALINS

de Planer et lamproies fluviatiles, l'identification taxonomique au stade juvénile est difficile voire impossible sur critères morphologiques seuls. Souissi *et al.* ont développé un marqueur moléculaire discriminant, qui peut être utilisé lors des opérations de recensement des populations dans le milieu naturel. Chez la lamproie marine, Dhamelincourt *et al.* proposent un modèle pour estimer le nombre de géniteurs dans un cours d'eau, à partir d'un comptage visuel des nids (ou frayères) en période de reproduction. Pour d'autres espèces, le recours à d'autres outils est nécessaire pour estimer la population, et les caméras acoustiques représentent une option prometteuse. Martignac *et al.* proposent une méthode de traitement automatisé des enregistrements acoustiques, étape nécessaire pour pouvoir déployer plus largement le suivi des migrateurs amphihalins *via* cette technologie non invasive. Dans un autre registre, Quéméré *et al.* ont testé l'analyse des fragments d'ADN dans l'eau (ou ADN environnemental, ADNe), et montrent le potentiel et les limites d'une telle méthode pour le suivi quantitatif des migrations d'amphihalins en cours d'eau. Chez le saumon Atlantique enfin, face au déclin actuel des populations, Vignon *et al.* ont testé l'analyse des éléments contenus dans les écailles comme substitut peu invasif pour identifier l'origine géographique natale des individus.

Évaluation des impacts anthropiques sur ces populations et leur environnement

Les populations de migrateurs amphihalins font face à de multiples pressions au cours de leurs cycles biologiques en milieux aquatiques continentaux et marins. Les actions du pôle visent à identifier les causes et les processus impliqués dans leur déclin observé. Selon les espèces et les contextes, les pressions principales sont directes (prédation, pêche, parasitisme, blessures létales) ou indirectes lorsqu'elles concernent les habitats (fragmentation, dégradation, disponibilité des ressources alimentaires). Elles peuvent se cumuler, affecter une ou plusieurs populations, une espèce ou la communauté dans son ensemble. L'évolution du climat est aussi prise en compte pour comprendre certaines tendances démographiques récentes et à venir des populations.

Un cycle de synthèses sur les populations d'espèces amphihalines et les pressions qu'elles subissent a été entrepris par André *et al.*, aboutissant à un recensement exhaustif des connaissances et des données disponibles à l'échelle de la France hexagonale. Concernant la pression des pêches récréative et professionnelle, Boulenger *et al.* dressent un bilan des suivis réalisés par le pôle pour le saumon Atlantique, la truite de mer et l'anguille européenne. Pour le saumon en particulier, Lebot *et al.* ont élaboré des modèles sur les séries temporelles d'abondance, permettant d'objectiver l'évolution des taux d'exploitation des stocks au cours des cinq dernières décennies en France. La composition du substrat est un paramètre d'habitat central du taux de survie précoce des stades juvéniles dans les frayères, et Forget *et al.* proposent une méthode novatrice et non invasive de photogrammétrie subaquatique pour en caractériser la qualité. Enfin, Lasne *et al.* présentent les avantages d'associer des capteurs miniatures à la télémétrie conventionnelle pour mieux décrire les performances des poissons face aux pressions anthropiques qu'ils subissent lors de leur migration en rivière.

Expertise et aide à la décision pour la conservation, la restauration et l'adaptation aux changements globaux

À partir des connaissances acquises, des approches de modélisation rétrospectives et prospectives permettent d'explorer des scénarios de gestion des migrateurs amphihalins. La démarche inclut l'évaluation des mesures actuelles de gestion, ainsi que la conception de nouvelles mesures (mise en place de quotas, réduction des pressions, restauration des habitats et des continuités). L'ensemble alimente les différents exercices de rapportage liés aux règlements européens dans lesquels le pôle est engagé, et plus généralement la formulation de recommandations en appui aux politiques publiques locales, nationales et internationales.

Face au déclin alarmant des populations de saumon Atlantique, un important travail de révision du modèle d'estimation des stocks à l'échelle de l'Atlantique Nord a été réalisé par Rivot *et al.* et adopté par le CIEM. À l'échelle régionale, un vaste exercice d'aide à la décision a été mené par Prévost *et al.* pour réviser les règles de régulation de l'exploitation de l'espèce par pêche à la ligne en Bretagne, en étroite concertation avec les acteurs de la gestion, exercice qui doit être reconduit en Normandie. Dhamelincourt *et al.* ont analysé les données disponibles sur les populations d'aloses et de lamproies en France et réuni un panel d'experts qui alertent sur l'urgence à renforcer les mesures de conservation pour ces espèces. Dubost *et al.* ont constitué une base de données inédites de captures des amphihalins migrateurs en mer qui permet, grâce à une approche de modélisation innovante, de cartographier leurs distributions marines et de cibler les zones à risque. Finalement, Soissons *et al.* présentent la genèse d'un programme de recherche pluridisciplinaire sur le site pilote de la Sélune, fleuve à enjeux migrateurs de la Baie du Mont Saint-Michel, offrant un retour d'expérience pour les politiques de restauration des continuités écologiques en cours d'eau.

Les articles de ce numéro spécial de la revue *Science Eaux & Territoires* proposent une sélection de résultats obtenus sur la période 2019-2024, et leurs implications pour la gestion et la préservation des migrateurs amphihalins et de leurs habitats. Fort de ce bilan, les quatre établissements ont décidé de renouveler la convention de coopération du pôle MIAME, prolongeant ainsi ses activités jusqu'en 2031. ■

RÉFÉRENCES

- ANDRÉ, G., CHAPON, P. M., CHARLES, M., CLERMONT-LEDEZ, Y., DIOUACH, O., GUILLERME, N., ... BEAULATON, L. (2025). Synthèses sur l'état des populations, des pressions et des modalités de gestion des poissons migrateurs amphihalins en France : aloses, lamproies, saumon et truite de mer. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8474. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8474>
- BAGLINIÈRE, J. L., & PORCHER, J. P. (2019). *50 ans de collaborations et de partenariat entre l'Inra et l'AFB. Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement*. AFB, INRA, Agrocampus-Ouest, UPPA, Rennes. https://hal.science/POLE_MIGRATEURS_AMPHIHALINS/hal-05053788
- BOULENGER, C., ANDRÉ, G., KOUBAA, A., TRÉHIN, C., LAUNEY, S., BESNARD, A. L., ... MARCHAND, F. (2025). Pour une meilleure connaissance des espèces amphihalines : la mise en place de suivis de la pêche récréative et professionnelle du saumon (*Salmo salar*), de la truite de mer (*Salmo trutta*) et de l'anguille (*Anguilla anguilla*). *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8439. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8439>
- DHAMELIN COURT, M., TENTE LIER, C., & BEAULATON, L. (2025). Construction d'un modèle d'estimation du nombre de lamproies sur frayère en utilisant un simple comptage de nids. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 7984. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.7984>
- DHAMELIN COURT, M., CHARLES, M., BOISNEAU, C., DAVERAT, F., EVANNO, G., LAMBERT, P., ... BEAULATON, L. (2025). Expertise sur les populations d'aloses et de lamproies. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8477. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8477>
- DUBOST, G., ELIOTT, S., ACOU, A., BEAULATON, L., TOISON, V., & RIVOT, E. (2025). Programme MigrenMer : synthèse et valorisation des connaissances disponibles sur les migrateurs amphihalins en mer. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8450. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8450>
- FORGET, G., BAZIN, A., KREUTZENBERGER, K., LASNE, E., ROUSSEL, J. M., CRAVE, A., & DÉZERALD, O. (2025). La photogrammétrie subaquatique pour l'étude des habitats en cours d'eau. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8319. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8319>
- LASNE, E., FORGET, G., ANFRAY, M., CHAUBET, T., DERoyer, K., MICHELOT, A., ... MARTIGNAC, F. (2025). Combiner la télémétrie et le biologging pour étudier la réponse écophysiologique des poissons migrateurs aux pressions d'origine anthropique. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8443. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8443>
- MARTIGNAC, F., FERNANDEZ-GARCIA, G., CORPETTI, T., NEVOUX, M., & BEAULATON, L. (2025). Automatisation de l'analyse de données des caméras acoustiques par un réseau de neurones convolutifs. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 7983. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.7983>
- PRÉVOST, E., LEBOT, C., BEAULATON, L., ARAGO, M. A., LEPRÉVOST, G., NEVOUX, M., & RIVOT, E. (2025). Rénovation de la gestion du saumon en Bretagne : le projet RENOSAUM. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 7982. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.7982>
- QUÉMÉRÉ, E., RAPHALEN, Z., BESNARD, A. L., VAUTIER, M., & NIKOLIC, N. (2025). Peut-on utiliser l'ADN environnemental pour le suivi quantitatif des populations de poissons migrateurs ? *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8475. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8475>
- RIVOT, E., OLMOS, M., LEMAIRE-PATIN, R., HERNVANN, P. Y., NEVOUX, M., PRÉVOST, E., ... BEAULATON, L. (2025). SalmoGlob – Un nouveau modèle pour l'évaluation des stocks de saumon atlantique à l'échelle de l'Atlantique Nord. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 9154. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.9154>
- ROCHARD, E., LAMBERT, P., & LASSALLE, G. (2025). Poissons migrateurs amphihalins, espèces diadromes : de quoi parle-t-on ? *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 9421. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.9421>
- SOISSONS, L., GERMAINE, M. A., CHEVÉ, M., KREUTZENBERGER, K., BEAULATON, L., & ROUSSEL, J. M. (2025). Genèse d'un suivi scientifique à long terme pour documenter les transitions écologiques et territoriales accompagnant l'effacement de grands barrages en France. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8330. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8330>
- SOUISSI, A., BESNARD, A. L., & EVANNO, G. (2025). Développement d'un marqueur moléculaire pour l'identification des lamproies au stade juvénile. *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 7981. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.7981>
- VIGNON, M., BAREILLE, G., PEYCHERAN, C., & TABOURET, H. (2025). Microchimie comparative des otolithes et des écailles de saumon Atlantique (*Salmo salar*). *Sciences Eaux & Territoires*, (47), article 8148. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2025.47.8148>





Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

Poissons migrateurs amphihalins, espèces diadromes : de quoi parle-t-on ?

Éric ROCHARD^{1,2}, Patrick LAMBERT^{1,2}, Géraldine LASSALLE^{1,2}

¹ INRAE EABX, Cestas, France.

² Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, L'Institut Agro, UPPA, France.

Correspondance : Éric ROCHARD, eric.rochard@inrae.fr

Les poissons migrateurs amphihalins ont accompagné depuis des siècles l'établissement des sociétés humaines. Ces espèces ont fait très tôt l'objet d'une exploitation par la pêche et ont eu une grande importance comme ressource alimentaire. Depuis près d'un siècle, on essaye de gérer au mieux leurs populations déclinantes et les transitions socio-économiques que cela entraîne. Mais pour gagner en efficacité, ne serait-il pas temps de préciser de quelles espèces il s'agit ?

Introduction

« Que sont ces voyageurs du monde aquatique, que l'on voit apparaître par bancs et disparaître à des époques fixes, se montrer un temps, puis partir sans retour jusqu'à l'année d'après ? D'où viennent-ils et dans quel but se déplacer ainsi ? Qui les pousse et les conduit ? Pourra-t-on toujours puiser en eux sans réserve un aliment dont nous profitons ? », Louis Roule (1922).

Ces interrogations posées il y a plus d'un siècle par Louis Roule dans l'introduction de son ouvrage « *Les poissons migrateurs leur vie et leur pêche* » (Roule, 1922) avaient déjà esquissé une première réflexion sur l'importance et les mystères des poissons migrateurs amphihalins. Aujourd'hui, que pouvons-nous ajouter à ces observations pertinentes ? Dans cet article, nous nous proposons de clarifier la définition des poissons migrateurs amphihalins en nous appuyant sur des travaux anciens et récents ainsi que sur des réflexions personnelles sur cette thématique.

Cette revisite des définitions a pour objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur la gestion des espèces bien connues et d'aider à l'identification des espèces ayant jusqu'à présent peu bénéficié d'attention, notamment dans un contexte d'érosion rapide de la biodiversité.

Il s'agit d'une première approche qui devra être complétée par une analyse plus fine visant à qualifier plus précisément les différentes espèces vis-à-vis des critères présentés dans cette note. Ceci nécessitera de rentrer dans le détail de ce que l'on connaît de l'écologie des différentes espèces.

Enfin, si cette note ne traite que le cas des poissons migrateurs amphihalins, il convient de mentionner qu'il existe également des crustacés migrateurs amphihalins et même quelques mollusques migrateurs amphihalins. Les réflexions menées ici sur les poissons pourraient éventuellement leur être transposées.

Qui sont-ils ?

À partir des travaux de clarification de George Myers (1949) largement repris et approfondis par Robert McDowall (1992, 1997), on peut identifier différents critères que nous allons passer en revue et dont la combinaison permet de définir et caractériser plus ou moins précisément une espèce de poisson comme migratrice amphihaline. Les trois premiers nous semblent indispensables, le quatrième présente visiblement plus de variabilité selon les espèces, enfin, le cinquième est compliqué à évaluer pour les espèces se reproduisant en mer et est probablement également très variable selon les espèces.

Premier critère : la migration

Le premier élément, la migration, est un processus largement répandu dans le monde animal. Dans son ouvrage de 1931, Walter Heape précise les choses en distinguant clairement :

- la migration qui implique des mouvements saisonniers **aller-retour de grande ampleur** ;
- l'émigration caractérisée par des mouvements de grande ampleur **sans retour** ;
- et le nomadisme, qui correspond à l'errance plus ou moins sans but et **sans habitat de rattachement**.

Deuxième critère : le passage dans des habitats de salinité différente

Ce terme « amphihalin » est apparu dans un article de Maurice Fontaine (1976). Étymologiquement, « amphi » en grec veut dire « de chaque côté » et « halin » « qui a rapport au sel ». Il qualifie donc des migrations entre deux milieux de salinité différente, ou plus simplement entre l'eau douce et l'eau de mer. De fait, il s'agit bien d'un équivalent du terme « diadromous » (francisé en diadrome) proposé par George S. Myers (1949), qui étymologiquement signifie « courir à travers ». Le terme « amphihalin », principalement employé au sein de la communauté francophone, fait explicitement référence à la différence de salinité et implicitement au mécanisme de régulation osmotique (maintien de la pression osmotique du milieu interne par rapport au milieu ambiant), là où « diadromous », très répandu dans la littérature scientifique anglophone se focalise sur le déplacement.

Il reste à définir à quel point les habitats doivent être d'une salinité différente. Pour les espèces évoluant en Atlantique Nord-Est ou en Méditerranée occidentale, les choses sont claires, avec de l'eau douce à moins de 1 de salinité et de l'eau de mer entre 35 et 38.

L'osmorégulation est un mécanisme physiologique qui permet à un organisme diadrome de s'adapter au passage d'un milieu eau douce à un milieu salé et inversement en modulant sa pression osmotique par rapport à celle de son milieu environnant. Ainsi, chez les poissons strictement marins, la pression osmotique du milieu interne est bien plus faible que celle du milieu extérieur, ce qui se traduit par une sortie de l'eau de l'organisme par osmose et une entrée d'ions par diffusion passive. Le poisson doit donc compenser en « buvant » beaucoup d'eau. À l'inverse, pour les poissons d'eau douce, la pression osmotique du milieu interne est plus forte que celle du milieu extérieur, ce qui entraîne une entrée massive d'eau surtout par les branchies. L'équilibre osmotique est rétabli par les reins qui excrètent une urine très diluée. Pour clarifier le propos, nous proposons de ne considérer comme espèce amphihaline qu'une espèce qui migre en transitant dans un milieu de salinité isotonique (10) par rapport au milieu interne d'un poisson (> 8-10 pour un poisson d'eau douce, < 10-12 pour un poisson marin). Nous pouvons ainsi considérer, comme amphihalines, les espèces que l'on trouve dans des mers peu salées comme les Mers Noire (autour de 17 en surface) et Caspienne (autour de 12), mais cela soulève de fortes interrogations sur la mer Baltique (entre 3 et 10).

Lors des réunions préalables à une proposition de réseau d'excellence autour des poissons migrateurs le statut de migrateurs amphihalins avaient été discuté pour deux espèces : le sandre *Sander lucioperca* et de l'épinoche *Gasterosteus aculeatus*. Dans les deux cas, la proposition était argumentée avec des exemples concernant des fleuves se jetant dans la Mer Baltique. Plus récemment il a été proposé de considérer la perche *Perca fluviatilis* comme une espèce migratrice amphihaline, là encore à partir d'exemples en Baltique. Il convient donc de faire la distinction entre les espèces euryhalines et amphihalines ; les espèces euryhalines tolèrent une large gamme de salinité, sans nécessairement effectuer de déplacements, alors que les amphihalins mettent en place des changements physiologiques conséquents pour s'adapter

à différents niveaux de salinité du milieu à des stades de vie particulier de leur cycle biologique (ex. : smoltification chez les salmonidés, argenture chez les anguilles, et métamorphose chez les lamproies). Compte tenu de ce constat, il serait plus juste de considérer les trois espèces évoquées plus haut non pas comme des diadromes mais plutôt les qualifier de semi-diadromes, ou comme euryhalines à certaines périodes de leur cycle biologique.

Maintenant que le caractère amphihalin (ou la diadromie) a été défini précisément, nous pouvons en identifier plusieurs types. L'école anglo-saxonne, en se focalisant sur la direction de la migration de reproduction, considère :

- des espèces catadromes dont la migration de reproduction est orientée vers l'aval¹ et qui donc effectuent l'essentiel de leur croissance en eau douce avant de retourner en mer pour se reproduire ;
- des espèces anadromes dont la migration de reproduction est orientée vers l'amont² et qui donc effectuent l'essentiel de leur croissance en mer avant de retourner en eau douce pour se reproduire ;
- des espèces amphidromes pour qui le retour dans leur habitat de naissance n'est pas lié directement à la reproduction, en d'autres termes qui continuent à grandir une fois revenues dans leur habitat de naissance. On distingue des amphidromes marins qui se reproduisent en mer et des amphidromes d'eau douce qui se reproduisent en rivière.

L'école francophone se base quant à elle sur le lieu de reproduction pour identifier :

- les thalassotoques³ qui se reproduisent en mer ;
- les potamotoques⁴ qui se reproduisent en rivière.

Il est à noter que l'amphidromie fait encore l'objet de débats ; on assiste actuellement à un emploi abusif du terme appliqué à des espèces qui réalisent des déplacements opportunistes (indépendants de la reproduction) entre des habitats de salinité différente. Il serait plus correct de parler alors d'espèces euryhalines dont la définition a été évoquée précédemment.

Troisième critère : le stade de développement particulier

La troisième règle se retrouve dans la description des cycles de vie où sont identifiés des stades associés à des migrations : en particulier smolt pour la dévalaison chez le saumon et les lamproies marine et fluviale, saumon de première remontée pour la montaison des saumons, ou encore civelle pour la montaison et anguille argentée pour la dévalaison des anguilles. L'identification de ces stades caractéristiques de développement est facilitée quand les migrations s'accompagnent de changements morphologiques et comportementaux visibles (ex. : smolt de salmonidés, anguille argentée) ou d'une métamorphose (ex. : lamproies, bichique). Cela est moins visible extérieurement pour les aloses ou les esturgeons par exemple, pour lesquels le passage de l'état larvaire à juvénile intervient avant la migration. Dans tous les cas,

1. Littéralement « courir vers le bas ».

2. Littéralement « courir vers le haut ».

3. Littéralement « qui accouchent en mer ».

4. Littéralement « qui accouchent près de la source ».

le passage de l'eau douce à l'eau de mer et inversement impose la mise en place d'un mécanisme d'osmorégulation. Pour les migrations de reproduction, c'est l'âge à la première maturité qui détermine ce comportement.

Quatrième critère : la saisonnalité

Le quatrième critère est souvent facile à constater pour les stades qui font l'objet d'une exploitation, à savoir les adultes en migration de reproduction (saumon, esturgeon, anguille argentée, alose...), mais également parfois des stades juvéniles (civelle d'anguille, bichique). Ainsi la grande alose *Alosa alosa* s'appelle *Maifisch* en Allemagne et *Mayfish* en Angleterre, soit « poisson de mai » ce qui indique clairement le pic de sa migration dans les eaux douces de ces pays. La pêche des esturgeons en migration de reproduction dans le Guadalquivir avait principalement lieu de mi-mars à mi-avril. La période de dévalaison des anguilles argentées a également été bien identifiée, même si elle est largement modulée par les conditions environnementales locales (latitude + contexte environnemental local + aménagement des cours d'eau) (Durif *et al.*, 2008). Depuis Berg (1959), on sait que de nombreuses espèces potamotiques peuvent présenter plusieurs périodes de migration vers leurs zones de reproduction en eau douce. Ainsi le saumon Atlantique, selon la durée de son séjour marin, remonte les fleuves au printemps pour les poissons ayant passé plusieurs hivers en mer, ou en juin-juillet pour ceux ayant passé un seul hiver en mer (Baglinière et Porcher, 1994).

Ces migrations à des dates prévisibles reflètent l'influence de facteurs environnementaux qui synchronisent ces comportements. Parmi ces facteurs environnementaux, certains sont peu susceptibles d'évoluer, comme la durée du jour, d'autres comme les températures de l'eau de mer et des rivières, ou le débit des rivières (Keefer *et al.*, 2008) sont plus variables d'une année à l'autre et susceptibles d'une forte évolution avec le changement climatique. Ce qui est le cas actuellement du saumon atlantique à nos latitudes.

Cinquième critère : le caractère obligatoire des migrations

Le cinquième critère est certainement le plus problématique, s'agit-il d'un attribut de l'espèce, de la population, ou de l'individu ? En fait, pour un grand nombre de ces espèces, la diadromie n'est pas stricte mais peut être facultative traduisant une plasticité phénotypique du comportement migratoire. Le meilleur exemple est celui de la truite commune *Salmo trutta* qui peut être présente dans un cours d'eau de la façade Manche-Atlantique sous deux formes biologiques, rivière (sédentaire) et mer (migratrice amphihaline), non différenciables génétiquement. Ces truites de mer, nées en rivière vont grossir en mer après smoltification et revenir se reproduire en eau douce.

La question s'est posée récemment concernant le mulot porc *Chelon ramada*. Physiologiquement il est établi que des individus de cette espèce peuvent migrer et rester longtemps en eau douce, y compris en hiver. Pour autant il est probable qu'une partie des mulots porcs effectue toute leur vie en mer, mais ce n'est ni plus ni moins ce qu'on observe pour l'anguille, dont étonnamment personne ne conteste le statut de migrateur amphihaline.

Nous considérons ici qu'une population est migratrice amphihaline dès l'instant où une partie de ses individus adopte une tactique de diadromie (au sens des quatre premiers critères). De même une espèce est considérée comme migratrice amphihaline, si au moins une population peut être qualifiée comme telle. Néanmoins, avec les exemples évoqués plus haut, il est évident que pour une espèce donnée, ou au sein même d'une population, la migration peut être une stratégie conditionnelle correspondant à l'expression, par un même génotype, de différentes tactiques (ou phénotypes) en réponse à des conditions environnementales ou physiologiques contrastées, qui doivent rester avantageuses en termes de fitness ou de succès reproducteur.

Comment les identifier ?

Par ordre décroissant de validité d'assignation au statut de poisson migrateur amphihaline, nous pouvons notamment citer :

Analyse rétrospective des structures calcifiées

Les otolithes chez les poissons, comme les statolithes chez les lamproies, enregistrent de façon pérenne certaines des caractéristiques de l'environnement vécu par le poisson. Dès que les méthodes analytiques ont été mises au point, ces structures ont été utilisées pour mettre en évidence les périodes passées en eau douce et en eau de mer (Arai et Miyazaki, 2001) et donc valider le statut de poisson migrateur amphihaline. Par la suite, des méthodes plus précises, permettant de faire un lien entre un moment de la vie de l'animal et les caractéristiques de l'environnement ont mis en évidence pour certaines espèces, des patrons plus complexes avec des périodes d'alternance entre l'eau douce et la mer (Limburg, 1998) et pour certaines espèces catadromes comme les anguilles, l'existence d'individus résidant en mer (Kotake *et al.*, 2003). Bien que très peu développée, la microchimie à partir des écailles a également été utilisée pour distinguer les formes marine et rivière de la truite. Chez certaines espèces de salmonidés, l'examen de l'écaille permet de savoir si le poisson est un diadrome. En effet, il apparaît sur l'écaille deux patrons de croissance différents.

Répartition spatiale des stades de vie

A priori, les très jeunes stades peuvent être observés à proximité des zones de reproduction, alors que les immatures et les reproducteurs (en dehors de la période de reproduction) sont dans un autre milieu. Par exemple, les larves ammocètes de lamproies sont dans des terriers en rivière alors que les immatures sont en mer ; les jeunes alosos restent quelques mois en eau douce alors que les immatures sont en mer. On peut également citer le cas de l'anguille où la répartition de la taille des larves leptocéphales dans l'Océan Atlantique a permis d'identifier la zone de reproduction dans la Mer des Sargasses et la colonisation des rivières des façades européennes, confirmant son caractère thalassotoque.

Suivi des déplacements par télémétrie

À partir de marques installées sur les poissons, on peut suivre le déplacement des individus. Toutefois, malgré la miniaturisation des dispositifs, ce sont le plus souvent des individus relativement grands qui peuvent être équiper

pés. Placé sur des géniteurs, ce type de dispositif permet de caractériser leurs déplacements et leurs migrations de reproduction et ainsi de localiser les zones de frayères et de valider leur statut de migrateur amphihalin.

Observation des flux de géniteurs et de juvéniles

Dans le même esprit, il s'agit d'observer le passage d'individus au niveau de dispositifs fixes, en particulier les systèmes de comptage installés au niveau des barrages. Cela permet le plus souvent de déterminer la classe de taille des poissons et le sens de la migration. Par contre, à moins de se situer très près de la mer (ex. : barrages d'Arzal sur la Vilaine et du moulin des princes sur le Scorff), il n'est pas toujours possible d'estimer l'ampleur de la migration et donc de démontrer l'utilisation successive d'habitats d'eau douce et marin dans le cycle biologique de l'espèce. Des expérimentations en milieu contrôlé permettent d'identifier les périodes du cycle de vie où cette transition est possible au moins pour les jeunes stades (Zydlowski et Wilkie, 2012).

Analogie avec des espèces phylogénétiquement proches

Il est assez fréquent de généraliser les connaissances écologiques d'une espèce bien documentée à l'ensemble des espèces de la même famille. C'est le cas, par exemple des anguilles qui sont toutes *a priori* considérées comme catadromes et des gobies qui sont *a priori* majoritairement considérés comme amphidromes. C'est souvent le cas quand on décrit une nouvelle espèce où dans un premier temps on ne dispose que de sa position dans la systématique. Pour autant, cela reste à valider par d'autres moyens.

Couramment admis

C'est ce qui est parfois mentionné dans la littérature scientifique, sans citer de références qui pourraient effectivement justifier l'assignation à une catégorie de diadromie.

Combien sont-ils ?

Le catalogue Eschmeyer⁵ répertorie aujourd'hui plus de trente-six mille espèces de poissons et d'agnathes dont environ 40% utilisent les eaux douces et 60% les eaux salées.

Une première liste mondiale de poissons migrateurs amphihalins, établie par un chercheur néo-zélandais Robert McDowall en 1988, recensait un peu plus de deux cents espèces (McDowall, 1988). Si nous interrogeons aujourd'hui la base de données sur les poissons du monde, Fishbase, ce sont plus de sept cents espèces qui sont identifiées comme telles. Et si nous synthétisons une cinquantaine de listes publiées dans la littérature scientifique, presque mille espèces seraient considérées. Pour autant, ce recensement reste fragile. D'une part, il surestime vraisemblablement certains types, en particulier les espèces amphidromes qui sont parfois plutôt des espèces euryhalines. Mais d'autre part, le nombre des espèces migratrices amphihalines peut être également sous-estimé puisque l'écologie de beaucoup d'espèces reste mal connue, voire inconnue.

Ce serait donc seulement environ 3% des espèces de poissons qui pourraient être considérées comme migratrices amphihalines, avec deux fois plus d'espèces anadromes que d'espèces catadromes et deux fois plus d'amphidromes que d'anadromes.

Pour la France, nous proposons une liste des espèces migratrices amphihalines (encadré 1), en combinant les occurrences des poissons autochtones dans les bassins versants de France métropolitaine et des territoires ultramarins avec une liste d'espèces qui peuvent être considérées comme amphihalines. Les occurrences de poissons sont issues de la base mondiale des poissons d'eau douce (Tedesco *et al.*, 2017), augmentée des listes des poissons amphihalins des départements d'outre-mer insulaires (Tabouret, 2012), de Guyane (Tabouret, 2013), de Saint-Pierre-et-Miquelon (Denys *et al.*, 2022) et de quelques espèces mentionnées dans le projet de plan national en faveur des migrateurs amphihalins (OFB, 2022). La liste des poissons migrateurs repose quant à elle sur une synthèse mondiale de plus de cinquante listes faunistiques avec mention de la diadromie. Le type de diadromie retenu dans l'encadré 1 est celui le plus fréquemment associé à l'espèce. Certains classements sont toutefois discutables au regard des critères présentés dans cette note et ont fait l'objet d'une première évaluation à dire d'expert. Par ailleurs, il est peu probable que cette liste soit exhaustive compte tenu des connaissances limitées de l'écologie de nombreuses espèces, particulièrement celles vivant dans les territoires ultra-marins. Ce travail de compilation devra être poursuivi et affiné.

Sur un ensemble de cent-vingt-deux espèces parfois mentionnées dans la littérature comme amphihalines et présentes sur le territoire national (soit environ 15% des poissons considérés comme migrateurs amphihalins à l'échelle mondiale) :

- trente-deux reposent sur une littérature scientifique abondante et consensuelle et sont *a priori* considérées comme valides (quinze catadromes, quatorze anadromes et trois amphidromes) ;
- quatre-vingt sont considérées comme telles sans pour autant avoir fait l'objet d'une analyse précise de notre part (soixante-trois amphidromes, treize catadromes et quatre anadromes)
- pour dix d'entre elles, il y a des divergences dans la littérature scientifique concernant leur diadromie et leur statut nous semble devoir être questionné (cinq catadromes, trois anadromes et deux amphidromes).

Quels enjeux ?

Au-delà de leur valeur d'existence, on présente souvent les espèces migratrices amphihalines comme des espèces « étandard » puisqu'il est facile de communiquer sur ces espèces, du fait de leur forte valeur économique et symbolique. Elles sont aussi parfois considérées comme des espèces « parapluie », à savoir que leur prise en compte permet de s'intéresser également aux autres espèces et compartiments de l'écosystème (Simberloff, 1998). Enfin, dans quelques cas, ce sont effectivement des espèces « clef de voûte » et leur éventuelle disparition entraînerait une forte modification de l'écosystème.

5. <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

Encadré ❶ – Liste des espèces mentionnées comme migratrices amphihalines dans la littérature et que l'on rencontre en France métropolitaine ou dans les outre-mer. Le nom de la famille est suivi des noms latins et des noms vernaculaires, s'ils existent. Les espèces catadromes sont écrites en bleu, les espèces anadromes en vert et les espèces amphidromes en rose.

Petromyzontidae : *Petromyzon marinus*, lamproie marine ; *Lampetra fluviatilis*, lamproie de rivière.
 Acipenseridae : *Acipenser sturio*, esturgeon européen ; *A. oxyrinchus*, esturgeon Atlantique.
 Megalopidae : *Megalops atlanticus*, tarpon Atlantique ; *M. cyprinoïdes* tarpon Indo-Pacifique.
 Anguillidae : *Anguilla mossambica*, anguille du mozambique ; *A. anguilla*, anguille européenne ; *A. rostrata*, anguille américaine ; *A. reinhardtii*, anguille de Reinhardt ; *A. megastoma*, anguille rouge ; *A. marmorata*, anguille marbrée ; *A. obscura*, anguille sombre ; *A. australis*, anguille d'Australie ; *A. bengalensis*, anguille marbrée indienne ; *A. bicolor*, anguille bicolor.
 Muraenidae : *Gymnothorax polyuranodon*, murène d'eau douce.
 Engraulidae : *Anchoviella lepidenstole*, anchois gras ; *Lycengraulis grossidens*, anchois goulard.
 Pristigasteridae : *Pellona ditchela*, alose écaille indienne.
 Alosidae : *Alosa agone*, Alose feinte de Méditerranée ; *A. fallax*, alose feinte ; *A. alosa*, grande alose.
 Pimelodidae : *Pimelodus blochii*, bagre pimélogre.
 Salmonidae : *Coregonus lavaretus*, lavaret ; *Salvelinus fontinalis*, omble de fontaine ; *S. alpinus*, omble chevalier ; *Salmo salar*, saumon Atlantique ; *Salmo trutta*, truite de mer.
 Osmeridae : *Osmerus eperlanus*, éperlan européen ; *O. mordax*, éperlan arc en ciel.
 Haemulidae : *Rhonciscus crocro*, grondeur crocro.
 Kuhliidae : *Kuhlia sauvagi* ; *K. marginata*, doule à queue rouge ; *K. rupestris*, doule de roche.
 Gasterosteidae : *Gasterosteus aculeatus*, épinoche ; *Apeltes quadracus*, épinoche à quatre épines ; *Pungitius pungitius*, épinochette.
 Trichiuridae : *Trichiurus lepturus*, poisson sabre commun.
 Syngnathidae : *Microphis argulus*, syngnathe des Marquises ; *M. brachyurus*, syngnathe à queue courte ; *M. lineatus*, syngnathe opossum.
 Rhyacichthyidae : *Protogobius atiti*, protogobie.
 Eleotridae : *Giuris margaritaceus*, éléotris serpent ; *Hypseleotris cyprinoides*, éléotris cyprin ; *H. guentheri* ; *Guavina guavina*, dormeur ; *Dormitator maculatus*, dormeur ; *Gobiomorus dormitor*, dormeur ; *Eleotris amblyopsis*, dormeur à joues épineuses ; *E. fusca*, éléotris brun ; *E. melanosoma*, éléotris noir ; *E. pisoni*, gobie ; *E. acanthopomus*, éléotris épineux ; *Eleotris klunzingerii*, éléotris brun ; *E. mauritiana*, cabot noir ; *E. perniger*, flèche.
 Butidae : *Butis butis*, butis à épauvette noire ; *Ophiocara porocephala*, éléotris à tête poreuse.
 Gobiidae : *Redigobius balteatus*, gobie drapeau ; *R. bikolanus*, gobie tase ; *Mugilogobius mertoni*, gobie millet ; *Evorthodorus lyricus*, gobie lyre ; *Ctenogobius pseudofasciatus*, gobie à la joue barrée ; *C. shufeldti*, gobie d'eau douce d'Amérique ; *C. thoropsis*, gobie à sperme ; *Awaous banana*, jolpot ; *A. guamensis*, gobie de Guam ; *A. ocellaris*, gobie ocellé ; *A. commersoni*, loche ; *A. flavus*, jolpot ; *A. tajasica* ; *Cotylopus rubripinnis*, cotylope à nageoires rouges ; *C. acutipinnis*, cabot bouche ronde ; *Sicydium punctatum*, sicydium ponctué ; *S. plumieri*, sicydium de Plumier ; *Sicyopterus sarasini* ; *S. pugnans*, sicyopterus combattant ; *S. marquesensis*, sicyopterus des marquises ; *S. lagocephalus*, bichique ; *Stiphodon elegans*, stiphodon élégant ; *S. discotorquatus*, stiphodon à collier ; *S. tuivi*, stiphodon des Marquises ; *Smilosicyopus chloe*, sicyopus de Chloé ; *S. bitaeniatus*, sicyopus à deux bandes ; *Lentipes kaeae*, nez rouge calédonien ; *Stenogobius polyzona*, gobie rayé ; *S. caudimaculatus*, gobie à queue tachetée ; *S. marqueti*, gobie de Marquet ; *S. squamosus*, gobie écailleux ; *S. yateiensis*, gobie de Yaté ; *Glossogobius callidus*, gobie comorien ; *G. giuris*, loche ; *G. kokius*, gobie kokou ; *Pomatoschistus microps*, gobie tacheté ; *Gobioides grahamae* ; *G. broussonnetii*, gobie violet ; *Schismatogobius fuligimentus*.
 Cyclosettidae : *Citharichthys spilopterus*, rombou de plage.
 Pleuronectidae : *Platichthys flesus*, flet d'Europe.
 Achiridae : *Achirus achirus*, sole sombre ; *Apionichthys dumerili*, sole queue longue.
 Ambassidae : *Ambassis interrupta* ; *A. gymnocephalus*, ambache.
 Mugilidae : *Mugil cephalus*, mulot cabot ; *M. liza*, mulot lebranche ; *M. curema*, mulot curema ; *Cestraeus plicatilis*, mulot de rivière lobé ; *Agonostomus telfairii*, mulot enchanteur ; *A. catalai*, mulot comorien ; *Chelon labrosus*, mulot lippu ; *C. auratus*, mulot doré ; *C. ramada*, mulot porc ; *Dajaus monticola*, mulot de fleuve ; *Planiliza melinoptera*, mulot otomebora ; *P. alata*, mulot diamant ; *Moolgarda buchanae*, mulot à queue bleue.
 Gobiesocidae : *Arcos nudus*, têtard.
 Cichlidae : *Cichlasoma bimaculatum* ; vieille coquette.
 Rivulidae : *Anablepsoides cryptocallus*, poisson gale.

Au niveau national, pour la gestion de leur exploitation, notamment entre la mer et les eaux douces, des comités de gestion des poissons migrateurs COGEPOMs ont été créés à l'échelle des bassins versants métropolitains. Pour autant, seulement une partie des poissons migrateurs amphihalins présents en France métropolitaine sont concernés (encadré ❷). N'y figurent que des espèces exploitées par la pêche commerciale (aloses, lamproies, anguille européenne) ou intéressant les pêcheurs aux lignes (saumon Atlantique, truite de mer)⁶. D'autres espèces comme par exemple l'esturgeon européen, l'éperlan, le mulot porc ou le flet, correspondant pourtant à l'intitulé du décret et également exploitées

Encadré ❷ – Liste des espèces pris en compte par les COGEPOMs.

Décret n° 94-157 du 16 février 1994 (désormais codifié au R436-44 et suivants du code de l'environnement) relatif à la pêche des poissons appartenant aux espèces vivant alternativement dans les eaux douces et dans les eaux salées : Saumon atlantique, *Salmo salar* ; Grande alose, *Alosa alosa* ; Alose feinte, *Alosa fallax* ; Lamproie marine, *Petromyzon marinus* ; Lamproie de rivière, *Lampetra fluviatilis* ; Anguille européenne, *Anguilla anguilla* ; Truite de mer, *Salmo trutta*, f. *trutta*.

6. On peut s'interroger sur la présence de la truite de mer dans ce décret, on parle là d'individus migrateurs amphihalins, sauf à ne considérer que l'exploitation, il aurait plus pertinent de considérer les populations de truites pour lesquelles il existe des formes migratrices.

commerciallement, au moins historiquement, n'y figurent pas. La clarification des définitions autour de la diadromie, et les services majoritairement apportés par ces espèces, militent pour une prise en compte plus large des migrateurs amphihalins au sein des comités de gestion. Cette situation a commencé à évoluer assez récemment dans certains COGEPOMs où on s'intéresse maintenant également au mulet porc.

Au niveau supranational, la diversité des migrateurs amphihalins à l'échelle mondiale, leur répartition sur l'ensemble des continents, et leur caractère migratoire transfrontalier imposent la mise en place d'un cadre conceptuel cohérent pour une gouvernance intégrée et transfrontalière pour les espèces répondant aux définitions de migrateurs amphihalins, s'inspirant de ce qui a pu être fait pour le saumon et l'anguille en Europe. La Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (<https://www.cms.int/fr>) y contribue partiellement.

Conclusion

Les histoires de vie des poissons migrateurs amphihalins s'avèrent plus diverses que ce qu'on imagine généralement, même pour des espèces aussi emblématiques que le saumon et l'anguille. Les terminologies française et anglo-saxonne ne sont pas basées sur les mêmes concepts, ce qui peut induire des confusions, notamment en ce qui concerne les espèces amphidromes. L'utilisation régulière de milieux de salinité différente, tout en respectant les quatre premiers critères décrits dans cette note, au moins par certains individus de l'espèce, suffit pour que nous considérions l'espèce comme migratrice amphihaline. On dispose aujourd'hui d'outils permettant de statuer sur le fait qu'une espèce soit migratrice amphihaline ou pas, cela nécessite toutefois des suivis dédiés sur le long terme, voire des expérimentations *in situ* ou en laboratoire. Bien que de nombreuses recherches se soient concentrées sur cette notion de migration amphihaline chez les poissons, il subsiste des questions relativement fondamentales pour lesquelles la généralisation s'avère difficile comme par exemple ce qui déclenche les migrations, les mécanismes d'orientation et de *homing*⁷

7. Terme signifiant le retour des poissons vers leur lieu de naissance pour s'y reproduire.

(Lennox *et al.*, 2019). Ainsi, à l'heure où tout change rapidement, replacer un cadre de définitions communes semblait important.

Ce travail est une première approche qui devra se poursuivre en confrontant les différentes espèces mentionnées ici aux critères que nous avons présentés, éventuellement précisés. ■

REMERCIEMENTS

Un grand merci aux collègues qui ont bien voulu relire des versions précédentes de ce manuscrit et qui par leurs commentaires et suggestions nous ont permis de l'améliorer.

EN SAVOIR PLUS...

Barber-O'Malley, B., Lassalle, G., Lambert, P., & Quinton, E. (2022). Dataset on European diadromous species distributions from 1750 to present time in Europe, North Africa and the Middle East. *Data in Brief*, 40.

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.107821>

Denys, G. P. J., Daszkiewicz, P., Urtizberea, F. & Bernatchez, L. (2022). Diadromous fishes from Saint-Pierre and Miquelon archipelago: diagnoses, taxonomy, nomenclature and distribution. *Cybium*, 46(4), 385-413.

<https://doi.org/10.26028/cybium/2022-464-006>

Tabouret, H. (2012). *Les poissons migrateurs amphihalins des départements d'outremer : état des lieux - Synthèse générale sur les DOM insulaires*. ONEMA MNHN.

Tabouret, H. (2013). *Les poissons migrateurs amphihalins des départements d'outremer : état des lieux. Partie 1 : Synthèse générale sur la Guyane*. ONEMA MNHN.

Tedesco, P. A., Beauchard, O., Bigorne, R., Blanchet, S., Buisson, L., Conti, L., Cornu, J., Dias, M. S., Grenouillet, G., Hugueny, B., Jézéquel, C., Leprieur, F., Brosse, S., & Oberdorff, T. (2017). A global database on freshwater fish species occurrence in drainage basins. *Scientific Data*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.141>

RÉFÉRENCES

- Arai, T., & Miyazaki, N. (2001). Use of otolith microchemistry to estimate the migratory history of the Russian sturgeon, *Acipenser guldenstadti*. *Journal Of The Marine Biological Association Of The United Kingdom*, 81(4), 709-710. <https://doi.org/10.1017/S0025315401004465>
- Baglinière, J. L., & Porcher, J. P. (1994). Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. Dans F. Gueguen & P. Prouzet (dirs.), *Le saumon atlantique : Biologie et gestion de la ressource* (p. 101-122). Ifremer.
- Berg, L. S. (1959). Vernal and Hiemal Races among Anadromous Fishes. *Journal Of The Fisheries Research Board Of Canada*, 16(4), 515-537. <https://doi.org/10.1139/f59-041>
- Durif, C. M., Travade, F., Rives, J., Elie, P., & Gosset, C. (2008). Relationship between locomotor activity, environmental factors, and timing of the spawning migration in the European eel, *Anguilla anguilla*. *Aquatic Living Resources*, 21(2), 163-170. <https://doi.org/10.1051/alr:2008031>
- Fontaine, M. (1976). Physiological Mechanisms in the Migration of Marine and Amphihaline Fish. Dans F. S. Russell & M. Yonge (dirs.), *Advances in marine biology* (p. 241-355). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60282-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60282-5)
- Heape, W. (1931). *Emigration, migration and nomadism*. W. Heffer & Sons Ltd.
- Keefer, M. L., Peery, C. A., & Caudill, C. C. (2008). Migration Timing of Columbia River Spring Chinook Salmon : Effects of Temperature, River Discharge, and Ocean Environment. *Transactions Of The American Fisheries Society*, 137(4), 1120-1133. <https://doi.org/10.1577/t07-008.1>
- Kotake, A., Arai, T., Ozawa, T., Nojima, S., Miller, M. J., & Tsukamoto, K. (2003). Variation in migratory history of Japanese eels, *Anguilla japonica*, collected in coastal waters of the Amakusa Islands, Japan, inferred from otolith Sr/Ca ratios. *Marine Biology*, 142(5), 849-854. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1016-9>
- Lennox, R. J., Paukert, C. P., Aarestrup, K., Auger-Méthé, M., Baumgartner, L., Birnie-Gauvin, K., Bøe, K., Brink, K., Brownscombe, J. W., Chen, Y., Davidsen, J. G., Eliason, E. J., Filous, A., Gillanders, B. M., Helland, I. P., Horodysky, A. Z., Januchowski-Hartley, S. R., Lowerre-Barbieri, S. K., Lucas, M. C., ... Cooke, S. J. (2019). One Hundred Pressing Questions on the Future of Global Fish Migration Science, Conservation, and Policy. *Frontiers In Ecology And Evolution*, 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00286>
- Limburg, K. E. (1998). Anomalous migrations of anadromous herrings revealed with natural chemical tracers. *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*, 55(2), 431-437. <https://doi.org/10.1139/f97-219>
- McDowall, R.M. (1988). *Diadromy in fishes: migration between freshwater and marine environments*. Croom Helm.
- McDowall, R. M. (1992). Diadromy - Origins and Definitions of Terminology. *Copeia*, 1992(1), 248-251. <https://doi.org/10.2307/1446563>
- McDowall, R.M. (1997). The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7, 443-462. <https://doi.org/10.1023/A:1018404331601>
- Myers, G. S. (1949). Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia*, 1949(2), 89-97. <https://doi.org/10.2307/1438482>
- OFB. (2022). *Projet de Plan National en faveur des Migrateurs Amphihalins*. Office français de la biodiversité.
- Roule, L. (1922). *Les poissons migrateurs, leur vie et leur pêche. Un important problème d'histoire naturelle océanographique et économique*. Flammarion.
- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, and keystones : Is single-species management passé in the landscape era ? *Biological Conservation*, 83(3), 247-257. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00081-5)
- Zydlewski, J., & Wilkie, M. P. (2012). Freshwater to seawater transitions in migratory fishes. Dans S.D. McCormick, A.P. Farrell & C.J. Brauner, C.J. (dirs.), *Fish Physiology*, (pp. 253-326). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396951-4.00006-2>



ÉVALUATION DES POPULATIONS DE MIGRATEURS AMPHIHALINS

L'évaluation de l'état des populations est un pilier fondamental de la gestion des espèces migratrices amphihalines. Cette première partie rassemble des contributions qui illustrent la diversité des approches et des outils mobilisés pour suivre l'abondance et la dynamique des populations. Des méthodes innovantes d'identification génétique, de comptage indirect ou d'analyse non invasive (caméras acoustiques, ADN environnemental, écailles) y sont explorées. Ces travaux, portés par plusieurs équipes du pôle MIAME, permettent d'améliorer la connaissance sur des espèces peu étudiées comme les lamproies, mais aussi de renforcer les capacités de suivi pour des espèces emblématiques comme le saumon atlantique. Ils constituent une base scientifique essentielle pour évaluer le statut de conservation des espèces et appuyer les décisions de gestion.

- 17 **Développement d'un marqueur moléculaire pour l'identification des lamproies au stade juvénile**
Ahmed SOUISSI, Anne-Laure BESNARD, Guillaume EVANNO
- 21 **Construction d'un modèle d'estimation du nombre de lamproies sur frayère en utilisant un simple comptage de nids**
Marius DHAMELINCOURT, Cédric TENELIER, Laurent BEAULATON
- 29 **Automatisation de l'analyse de données des caméras acoustiques par un réseau de neurones convolutifs**
François MARTIGNAC, Guglielmo FERNANDEZ-GARCIA, Thomas CORPETTI, Marie NEVOUX, Laurent BEAULATON
- 35 **Peut-on utiliser l'ADN environnemental pour le suivi quantitatif des populations de poissons migrateurs ?**
Erwan QUÉMÉRÉ, Zoé RAPHALEN, Anne-Laure BESNARD, Marine VAUTIER, Natacha NIKOLIC
- 41 **Microchimie comparative des otolithes et des écailles de saumon Atlantique (*Salmo salar*)**
Matthias VIGNON, Gilles BAREILLE, Christophe PEYCHERAN, Hélène TABOURET



Développement d'un marqueur moléculaire pour l'identification des lamproies au stade juvénile

Ahmed SOUISSI^{1,2}, Anne-Laure BESNARD^{1,2}, Guillaume EVANNO^{1,2}

¹ DECOD (Dynamique et Durabilité des Ecosystèmes), L'Institut Agro, IFREMER, INRAE, Rennes, France.

² Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leurs Environnements, OFB, INRAE, L'Institut Agro, UPPA, Rennes, France.

Correspondance : Guillaume EVANNO, guillaume.evanno@inrae.fr

*Il y a trois espèces de lamproie en France : la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la lamproie de rivière ou lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et la lamproie de Planer (*L. planeri*). La lamproie de Planer et la lamproie de rivière étant impossibles à distinguer morphologiquement au stade juvénile, les chercheurs ont développé une approche moléculaire qui permet aujourd'hui de discriminer ces deux espèces.*

Introduction

La conservation de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), de la lamproie de rivière ou lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et de la lamproie de Planer (*L. planeri*) représentent un enjeu majeur. En effet, la lamproie marine est classée en tant qu'espèce en danger, et la lamproie de rivière est considérée comme vulnérable, selon les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), sur la liste rouge des poissons de France. En outre, la répartition de ces trois espèces reste mal connue en France, et ce projet visait initialement à développer une approche de détection des trois espèces à partir d'ADN environnemental (ADNe).

À l'âge adulte, la lamproie marine peut-être distinguée facilement des deux autres espèces de lamproie (photo 1). Néanmoins, au stade juvénile, les larves dites « ammocètes » des trois espèces sont impossibles à distinguer dans leur première année. À partir d'une taille d'environ 5 cm, les ammocètes de *P. marinus* présentent une coloration sombre sur la nageoire caudale qui permet de les distinguer des larves des deux autres espèces. De plus, des marqueurs de l'ADN mitochondrial permettent aussi de distinguer *P. marinus* des deux espèces de *Lampetra* (Docker *et al.*, 1999). En revanche, la lamproie fluviatile et la lamproie de Planer sont très proches génétiquement et leur ADN mitochondrial est similaire. De plus, il n'est pas possible de les distinguer morphologiquement à tous les stades juvéniles. À l'âge adulte, c'est principalement la taille qui permet de distinguer *L. planeri* (10 à 15 cm) de *L. fluviatilis* (18 à

30 cm). Ces deux espèces s'hybrident et sont considérées comme des écotypes¹ avec un isolement reproducteur partiel (Rougemont *et al.*, 2015). Les objectifs de ce projet étaient donc de développer 1) des marqueurs moléculaires permettant de distinguer ces deux espèces, et 2) une approche de détection de la présence des trois espèces de lamproie par ADN environnemental. Seul le premier objectif a été atteint et ce sont donc uniquement les résultats liés à cet objectif qui sont présentés.

Photo 1 – Photographie des trois espèces de lamproie présentes en France. De haut en bas : lamproie marine, lamproie de rivière (x2) et lamproie de Planer (source : U3E, INRAE).



1. Les écotypes sont des groupes de populations d'une même espèce qui présentent des adaptations distinctes en réponse aux conditions environnementales spécifiques de leur habitat.

Nous avons tout d'abord identifié des marqueurs de type SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) avec des allèles distincts entre *L. fluviatilis* et *L. planeri*. En pratique, cela consiste à déterminer des zones de l'ADN avec des bases distinctes entre les deux espèces, parmi les quatre bases azotées possibles de l'ADN (adénine, thymine, guanine et cytosine). Nous avons utilisé des données avec plusieurs milliers de SNPs analysés sur 186 individus collectés en France lors d'une étude précédente (Rougemont *et al.*, 2017). Cette analyse a nécessité l'assemblage d'un génome de lamproie de Planer. L'individu choisi a été un mâle collecté sur l'Oir, un cours d'eau de l'Observatoire de recherche en environnement sur les poissons diadromes dans les fleuves côtiers (ORE diaPFC). Une particularité des lamproies est que seules les cellules germinales possèdent la totalité du génome, l'ADN a donc été extrait à partir du sperme de cet individu. Nous avons ainsi détecté cinq SNPs discriminants entre *L. fluviatilis* et *L. planeri*. Parmi eux, nous en avons sélectionné un qui possède l'avantage de ne pas être présent chez *P. marinus*, sa non-amplification permettant de distinguer les genres *Lampetra* et *Petromyzon*.

Validation du marqueur

Nous avons ensuite développé un protocole de PCR² quantitative, c'est-à-dire d'amplification ciblée et quantifiée d'une zone du génome, pour analyser en routine ce SNP diagnostique de *L. fluviatilis* et *L. planeri*. Ce marqueur nommé diagLpf a été testé sur 270 échantillons comprenant des larves et des adultes des deux espèces issues de dix-sept sites de France, mais aussi d'Irlande et du Royaume-Uni (figure 1). Ces échantillons archivés au laboratoire provenaient pour la plupart d'études précédentes, et ont été collectés grâce au soutien de nombreuses fédérations de pêche et associations migrateurs³. Nous avons aussi sollicité des collègues chercheurs du Royaume-Uni et d'Irlande pour avoir des échantillons à une large échelle spatiale afin de tester la validité de diagLpf au-delà des cours d'eau français. En particulier, nous avons pu avoir des échantillons de la population de lamproies du Loch Lomond en Écosse, qui possède la particularité d'abriter trois « formes » de lamproies qui s'hybrident : la lamproie fluviatile (parasite-anadrome), la lamproie de Planer (non parasite-résident en eau douce), et une forme lacustre de la lamproie fluviatile qui parasite des poissons en eau douce.

Les résultats ont été cohérents avec l'identification morphologique dans tous les cas, sauf pour les échantillons provenant du bassin du Rhône et du Loch Lomond en Écosse (Souissi *et al.*, 2022). Dans le cas du Rhône, nous pensons que la présence d'une lignée très divergente de la lamproie de Planer (voire d'une espèce cryptique⁴)

soit la cause de ce polymorphisme particulier. L'évolution de lignées divergentes entre des bassins versants atlantiques et méditerranéens a déjà été documentée (cas de la truite commune) en lien avec l'histoire glaciaire de ces bassins (Bernatchez *et al.*, 1992). Dans le cas du Loch Lomond, les deux formes parasites étaient bien homozygotes (ff) au marqueur diagLpf, mais les individus de la forme résidente étaient soit homozygotes (ff) ou hétérozygotes⁵ (pf). Ainsi, le marqueur diagLpf n'est pas diagnostique dans ce cas de figure avec plus de deux formes de *Lampetra* en sympatrie, l'hybridation étant en outre très fréquente entre ces formes.

Conclusion

En conclusion, à l'échelle nationale, le marqueur diagLpf permet de distinguer les larves ammocètes de *L. planeri* et *L. fluviatilis* (hors bassin du Rhône). Ainsi, lors de la capture d'ammocètes dans le cadre d'inventaires et de pêches électriques, l'identification de l'espèce est désormais possible à partir d'un morceau de nageoire. Cet outil permettrait donc de connaître la répartition des ammocètes des trois espèces de lamproies dans les bassins versants, et de déterminer une éventuelle différence d'habitats entre espèces en lien avec les caractéristiques physiques (profondeur, température, degré d'oxygénation, granulométrie...) et biotiques (présence d'autres espèces de lamproies ou d'invertébrés) du substrat. Nous avons également testé l'amplification de diagLpf avec des échantillons d'ADNe extraits à partir de prélèvements d'eau. Néanmoins, malgré de nombreuses tentatives et tests de divers protocoles, cette démarche n'a pas abouti. À l'avenir, les nombreux développements techniques en cours dans le domaine de l'ADNe, nous permettent toutefois d'espérer pouvoir détecter la présence des lamproies par cette approche. ■

EN SAVOIR PLUS...

Souissi, A., Besnard, A. L., Evanno, G. (2022). Développement d'outils moléculaires pour l'identification et l'étude de la distribution des trois espèces de lamproies à l'échelle nationale. Rapport final. OFB-Inrae- Institut Agro-UPPA. 17 p.

<https://hal.science/hal-03933969>

2. La *Polymerase Chain Reaction* ou PCR (ou encore ACP pour amplification en chaîne par polymérase), est une technique de répllication ciblée *in vitro*. Elle permet d'obtenir, à partir d'un échantillon complexe et peu abondant, d'importantes quantités d'un fragment d'ADN spécifique et de longueur définie.

3. En France, les associations migrateurs sont des associations « Loi 1901 » dont les missions sont la gestion, la protection et la restauration des stocks de poissons migrateurs.

4. Espèce difficile à distinguer morphologiquement ou écologiquement d'autres espèces apparentées, même si elle est génétiquement distincte.

5. Homozygote s'il possède deux copies identiques de l'allèle correspondant à un certain gène et hétérozygote si les deux allèles sont différents pour ce même gène.