



HAL
open science

Adaptation des mesures de gestion face au changement climatique : influence des flux migratoires entre populations. Rapport de synthèse

Mathieu Buoro, Etienne Prévost

► To cite this version:

Mathieu Buoro, Etienne Prévost. Adaptation des mesures de gestion face au changement climatique : influence des flux migratoires entre populations. Rapport de synthèse. [Rapport de recherche] Inconnu. 2018, 12 p. hal-02184262

HAL Id: hal-02184262

<https://hal.science/hal-02184262>

Submitted on 15 Jul 2019

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Adaptation Des Mesures De Gestion Face Au Changement Climatique : Influence Des Flux Migratoires Entre Populations

Rapport de synthèse
INRA_2018_031_02

Mathieu BUORO^{1,2}
Étienne PREVOST^{1,2}

¹ ECOBIOP, Ecologie Comportementale et Biologie des Populations
de Poissons, Univ. Pau & Pays Adour / E2S UPPA, INRA, Saint-Pée-
sur-Nivelle, France

² Pôle R&D AFB-INRA Gesf'Aqua

Décembre 2018

- **AUTEURS**

Mathieu BUORO, Chargé de Recherche (INRA, Pôle R&D AFB-INRA Gest'Aqua), mathieu.buoro@inra.fr
Étienne PREVOST, Directeur de Recherche (INRA, Pôle R&D AFB-INRA Gest'Aqua),
etienne.prevost@inra.fr

- **CONTRIBUTEURS**

Cyril PIOUS, Chargé de Recherche (CIRAD), cyril.piou@cirad.fr
Florèn HUGON, Étudiante

- **CORRESPONDANTS**

Laurent BEAULATON, chef de pôle (AFB, Pôle R&D AFB-INRA Gest'Aqua),
laurent.beaulaton@afbiodiversite.fr

Droits d'usage : accès libre
Niveau géographique : national
Couverture géographique : France
Niveau de lecture : professionnels, experts

- **ADAPTATION DES MESURES DE GESTION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : INFLUENCE DES FLUX MIGRATOIRES ENTRE POPULATIONS, MATTHIEU BUORO ET ÉTIENNE PRÉVOST**

- **RÉSUMÉ**

Les perturbations environnementales, et en particulier les changements induits par l'homme tels que l'exploitation, la contamination, la fragmentation et le changement climatique (CC), affectent la stabilité des systèmes écologiques, et donc la durabilité des ressources. Cela est particulièrement important pour les écosystèmes aquatiques et leur diversité biologique qui fournissent des biens et services essentiels à la société, à l'économie et au bien-être humain. Les espèces de salmonidés font l'objet de nombreuses actions de gestion visant leur conservation. Il existe une forte demande, exprimée par une diversité d'organismes locaux à internationaux (comités de gestion locaux, agences régionales, ministères nationaux, organisations internationales), d'évaluer les conséquences des changements climatiques pour ces espèces par rapport aux objectifs contradictoires de conservation et d'exploitation. Cette question est particulièrement pressante pour les populations situées à la limite sud de leur aire de répartition, comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) en France. Dans la perspective d'une préservation des populations de saumons face au changement climatique et anthropiques, il est vital de mieux comprendre le rôle du fonctionnement en métapopulation sur ces populations. En effet, les populations de poissons sont rarement isolées. Il est fréquent que des individus d'une population donnée dispersent spatialement pour se reproduire dans d'autres populations. La structure génétique des populations françaises de saumons révèle des flux relativement importants entre des populations proches et localisées dans des zones géographiques aux caractéristiques proches. Ainsi, les populations de Bretagne, qui sont réparties sur plus de 400 km de côtes, sont peu différenciées génétiquement indiquant un fonctionnement en métapopulation. Pourtant, le fonctionnement en métapopulation et ses conséquences démogénétiques sur les populations aussi bien que pour leur gestion sont encore peu explorés. Dans ce projet, nous étendons un simulateur de populations de saumon Atlantique (IBASAM) dans un cadre métapopulationnel. Nous évaluons alors le fonctionnement en métapopulation en fonction des flux migratoires et des caractéristiques des populations introduites dans le modèle. Puis, nous explorerons le potentiel de nouvelles mesures de gestion qui tiennent compte de ce fonctionnement. Ce projet vise à produire de nouvelles connaissances sur l'adaptation des populations de saumons exploitées face aux changements environnementaux et à explorer des pratiques de gestion novatrices qui favorisent la résilience et la persistance des populations.

- **MOTS CLÉS (THÉMATIQUE ET GÉOGRAPHIQUE)**

Saumon Atlantique, changement climatique, adaptation, dispersion, métapopulation, gestion, exploitation

• SOMMAIRE

I. Contexte général.....	5
II. Méthodologies utilisées.....	6
II.1. Modélisation des populations de saumons.....	6
II.2. Modélisation de la dispersion.....	6
II.3. Modélisation de la métapopulation de saumons en Bretagne.....	7
II.4. Effets du changement climatique et scénario d'exploitation.....	7
III. Principaux acquis.....	7
III.1. Conséquences pour la gestion et l'exploitation.....	8
IV. Limites de l'utilisation et perspectives d'améliorations opérationnelles.....	9
IV.1. Variabilités temporelle, spatiale et individuelle de la dispersion.....	9
V. Pour en savoir plus.....	10
VI. Bibliographie.....	10

- **ADAPTATION DES MESURES DE GESTION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : INFLUENCE DES FLUX MIGRATOIRES ENTRE POPULATIONS**

I. Contexte général

Il existe une forte demande, exprimée par une diversité d'organismes locaux à internationaux (comités de gestion locaux, agences régionales, ministères nationaux, organisations internationales), d'évaluer les conséquences des changements climatiques (CC) pour des espèces exploitées par rapport aux objectifs contradictoires de conservation et d'exploitation. Cette question est particulièrement pressante pour les populations situées à la limite sud de leur aire de répartition, comme le saumon atlantique en France, espèce emblématique à fort enjeu économique qui peut générer des conflits entre acteurs. Le saumon atlantique (*Salmo salar* L.) est reconnu patrimoine naturel remarquable fragilisé par l'action de l'homme par l'UE (inscription aux annexes II et V de la directive "Habitats", réseau Natura 2000) et est classé comme "vulnérable" en France par l'Union Internationale de Conservation de la Nature (UICN). Au niveau international, l'espèce est sous étroite surveillance du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) regroupant des experts scientifiques de tous les pays de l'aire de distribution de l'espèce, qui évaluent chaque année le statut des populations à l'échelle des deux rives de l'Atlantique Nord. En France, le saumon Atlantique fait également l'objet, pour chaque bassin hydrographique, d'un PLAGEPOMI (Plan de gestion des poissons migrateurs) qui définit des mesures utiles à la conservation et la régulation des usages. C'est une espèce emblématique qui subit la pression des activités humaines (exploitation, réduction de son habitat et de la continuité écologique). C'est un poisson pœcilotherme (i.e. animal à sang froid) d'eau froide et la France se situe en marge sud de son aire de répartition. Combiné avec son statut précaire, ceci le place parmi les espèces dont la conservation est potentiellement menacée par le CC à venir en France. Elle est en effet en fort déclin depuis plusieurs décennies dans sa zone de répartition. Les zones où cette espèce est toujours présente naturellement ont donc une responsabilité particulière dans la préservation de cet élément remarquable de la biodiversité.

La mise en œuvre de politiques de conservation de cette espèce exploitée nécessite au préalable d'explorer la dynamique des populations sur le long terme dans le cadre des changements environnementaux à venir, en particulier due au changement climatique, et/ou à l'exploitation sélective. La connectivité entre les populations – via la dispersion spatiale – est particulièrement intéressante pour les gestionnaires qui cherchent à maintenir l'exploitation tout en assurant la conservation et la durabilité des ressources naturelles. La dispersion a des conséquences importantes et souvent négligées en termes de diversité génétique (flux génétique), de démographie et de gestion (Buoro & Carlson 2014 ; Carlson *et al.* 2014), de sorte qu'il pourrait être trompeur de relier l'abondance locale à la démographie et aux caractéristiques des habitats sans tenir compte des effets des dynamiques de dispersion et de métapopulation (Rieman & Dunham 2000). Il est donc nécessaire de ne plus considérer les populations locales comme des systèmes fermés, prisent isolément du système qui les créent, et reconnaître que les dynamiques locales sont fortement influencées par les conditions locales (environnement, pressions de sélection...) et la dynamique globale de la métapopulation (e.g. échelle du bassin). Les études et les mesures de conservation et de gestion ne doivent donc pas se limiter à des populations spécifiques, mais doivent tenir compte de l'ensemble des habitats et des populations qui entretiennent et constituent une métapopulation viable. Pourtant, le fonctionnement en métapopulation des saumons et ses conséquences restent largement inconnus et non pris en compte par les gestionnaires (Schtickzelle & Quinn 2007 ; Johnson

et al. 2012). L'objectif de ce projet est ainsi de démontrer les conséquences potentielles de ce fonctionnement en métapopulation pour l'adaptation du saumon face au CC, aussi bien que pour la conservation et la gestion.

II. Méthodologies utilisées

L'identification de la structure et fonctionnement en métapopulation dans les populations naturelles de saumon reste un défi. Elle requiert de connaître le flux d'individus entre les populations et donc l'origine spatiale des adultes anadromes lors de leur retour en rivière. Ces informations n'étant pas disponible à l'heure actuelle, nous avons opté pour des expérimentations virtuelles. Les expériences virtuelles sont un outil puissant et le seul moyen de simuler le fonctionnement d'un système biologique complexe, de projeter à long terme les impacts des perturbations environnementales et de fournir ensuite une aide précieuse à la décision sans affecter les organismes vulnérables tel que le saumon. Il permet d'explorer divers scénarios (CC et gestion des pêches), y compris ceux qui n'ont pas été observés dans le passé (comme le changement climatique), et dont les échelles spatio-temporelles (par exemple la métapopulation) sont impossibles à évaluer dans la nature. L'outil de simulation numérique a ainsi été utilisé pour conduire des expérimentations virtuelles combinant flux entre populations, changement climatique et exploitation par la pêche.

II.1. Modélisation des populations de saumons

L'UMR INRA-UPPA Ecobiop a développé un modèle de simulation de population de saumon sauvage de Saumon atlantique dédié à l'étude des effets du changement climatique sur cette espèce, dénommé IBASAM (Piou & Prévost 2012, 2013, Piou *et al.*, 2015). Il s'agit d'un modèle informatique dont le code est ouvert et disponible (<https://github.com/lbasam/>). Ce modèle est dit individu-centré car chaque individu d'une population est représenté explicitement et suivi au cours de sa vie depuis sa naissance jusqu'à sa mort, en incluant sa reproduction pour le passage de témoin entre les générations. C'est un modèle complexe qui intègre beaucoup de connaissances disponibles, ainsi que des hypothèses, sur la biologie et l'écologie de cette espèce. IBASAM est un outil cohésif et novateur pour évaluer l'effet des facteurs de stress potentiels sur la démographie évolutive du saumon atlantique. Il comprend une structure démogénétique couplée à la représentation explicite de la variabilité individuelle et des cycles biologiques complexes. Dans ce projet, nous avons étendu IBASAM dans un cadre métapopulationnel (MetalBASAM) en ajoutant un sous-modèle de dispersion pour connecter plusieurs populations entre elles. Ce travail a été réalisé en collaboration avec Cyril Piou (CIRAD) en 2017. Le code du modèle est disponible et ouvert (<https://github.com/lbasam/MetalBASAM>, livrable INRA_2018_031_01).

II.2. Modélisation de la dispersion

Nous avons évalué 3 scénarios de dispersion (structure de métapopulation) correspondant à des taux de philopatrie (i.e. retour dans leur rivière natale aussi appelé « homing ») de 100% (i.e. pas de dispersion, populations indépendantes), 95% et 80%, valeurs sélectionnées suivant Keefer & Caudill (2014). Autrement dit, de 100% à 80% des adultes anadromes tendent à retourner dans leur rivière natale. Les autres individus dispersent alors vers les autres populations. Le choix de la population de destination est fonction de la distance à la rivière natale et de l'aire de production disponible de la rivière d'accueil. Ainsi les adultes « dispersants » tendent à migrer

vers des rivières proches de leur rivière natale et les rivières les plus importantes tendent à être plus attractives.

II.3. Modélisation de la métapopulation de saumons en Bretagne

Nous avons choisi de représenter 16 populations de saumons qui constituent la métapopulation de Bretagne (Perrier *et al.* 2011) et pour lesquelles des données chronologiques à long terme étaient disponibles. Certains de ces ensembles de données sont collectés par l'INRA au sein de l'ORE-DiaPFC (<https://www6.inra.fr/diapfc>) et ses partenaires (Fédérations de pêches, Bretagne Grand Migrateurs). Ces données ont permis de caractériser et différencier chaque population dans notre modèle. Nous avons par exemple utilisé les paramètres de stock-recrutement estimés (C. Lebot, com. perso.) et l'aire de production de juvéniles.

II.4. Effets du changement climatique et scénario d'exploitation

Pour chaque scénario de dispersion / structure de métapopulation, nous avons évalué des scénarios avec et sans CC sur 50 ans. Le scénario avec CC correspond à une augmentation de la température de l'eau de +3°C, de l'amplitude du débit de +25% et une diminution des conditions de croissance en mer de -25% sur 50 ans. Concernant les scénarios d'exploitation sélective, nous avons évalué 3 scénarios : un taux d'exploitation de 15% pour toutes les populations (neutre), un taux d'exploitation de 30% sur les populations puits seulement (scénario « sinks ») ou sources seulement (scénario « sources »). Ce taux d'exploitation à 30% a été choisi afin de mimer une compensation de l'effort de pêche sur les populations exploitables.

III. Principaux acquis

En simulant la dispersion de saumons entre populations de Bretagne sous différents scénarios de philopatrie, nos analyses révèlent un fonctionnement en métapopulation de type source-puits. La contribution des dispersants aux populations locales peut être très importante pour certaines populations (par exemple > 30% avec un taux de philopatrie de 80% ; cf. Figure 1). La dispersion est donc vitale pour le fonctionnement et le maintien des petites populations. Elle contribue notamment au maintien de la diversité phénotypique et génétique.

Nous montrons également que bien que le changement climatique affecte fortement les populations, le fonctionnement en métapopulation permet de tamponner ses effets. En effet, lorsque nous prenons en compte les échanges entre populations le risque d'extinction est fortement réduit, voire nul sur la période considérée (50 ans), puisque les petites populations les plus sensibles bénéficient de l'apport constant d'individus des populations sources. Enfin, nous observons une augmentation de la synchronie entre les populations avec la dispersion et le CC suggérant que les conditions marines ont un impact structurant sur la dynamique des populations. Cette étude confirme donc que les populations de saumons ne peuvent être considérées comme des entités isolées mais que leur dynamique et évolution dépendent également de celles de la métapopulation.

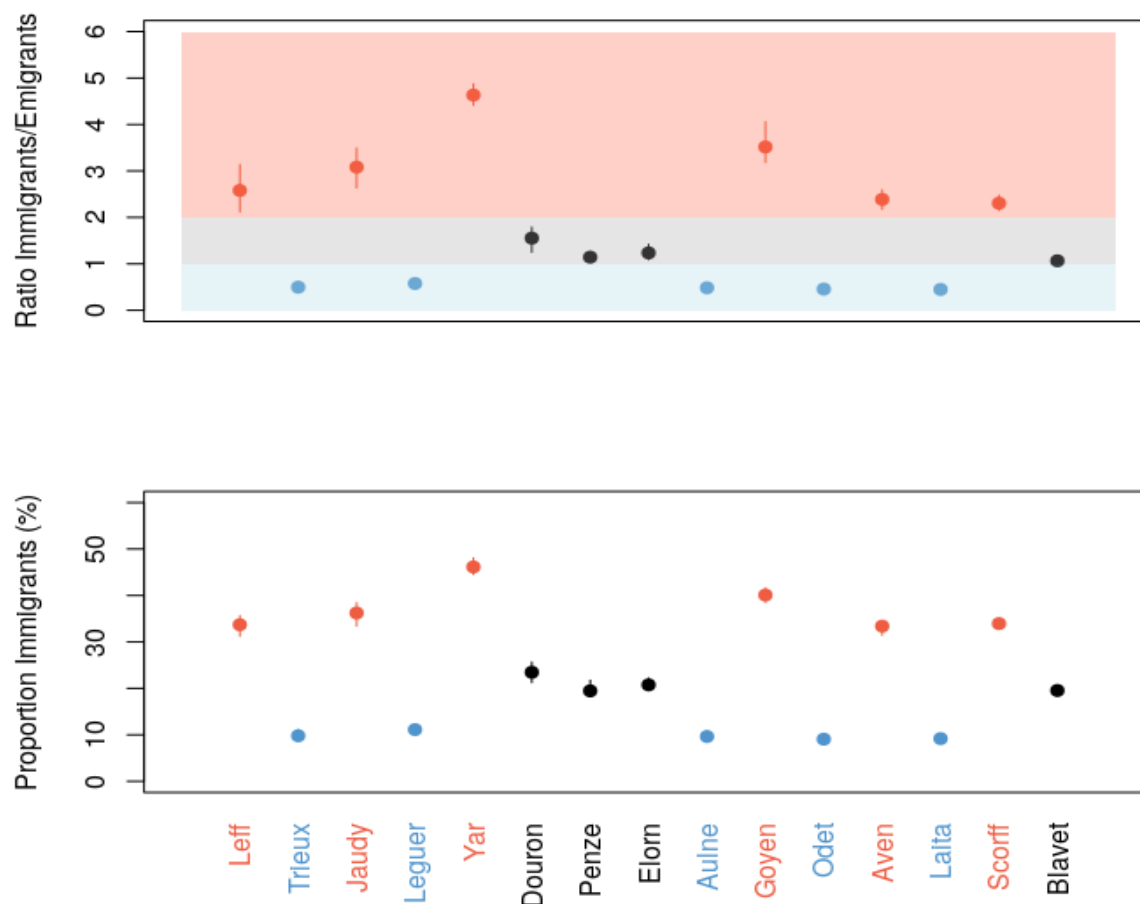


Figure 1 : Proportions d'adultes anadromes reçus (immigrants ; en bas) et ratio par rapports aux dispersants produits (émigrants ; en haut) dans certaines populations de saumons en Bretagne (Simulations issues du modèle MetalBASAM avec un taux de philopatrie de 80%). Le ratio d'immigrants vs émigrants révèle si la population est source (i.e. donne plus qu'elle ne reçoit ; en bleu), neutre (en noir) ou puits (en rouge). La médiane (point) et l'intervalle à 95% sont indiqués.

III.1. Conséquences pour la gestion et l'exploitation

Concernant les mesures de gestion en fonction de la structure en métapopulation (e.g. pêche sélective des populations puits vs sources), nos résultats semblent indiquer une diminution de l'abondance totale en saumons de l'ordre de -10% en moyenne par rapport au scénario neutre si l'on exploite les populations sources seulement (avec CC et après 45 ans ; Figure 2). En revanche, l'exploitation des populations puits seulement assure une augmentation de +7% sur la même période. Ces résultats suggèrent de privilégier la préservation des populations sources (e.g. classement en aires d'eau douce protégées) et cibler l'exploitation sur les populations puits. Il est important de noter que ici nous entendons exploitation par le prélèvement d'adultes anadromes. Mais nos scénarios « sans exploitation » n'implique pas pour autant l'interdiction totale de la pêche sur les cours d'eau ; seulement des restrictions sur les prélèvements (e.g. remise à l'eau obligatoire).

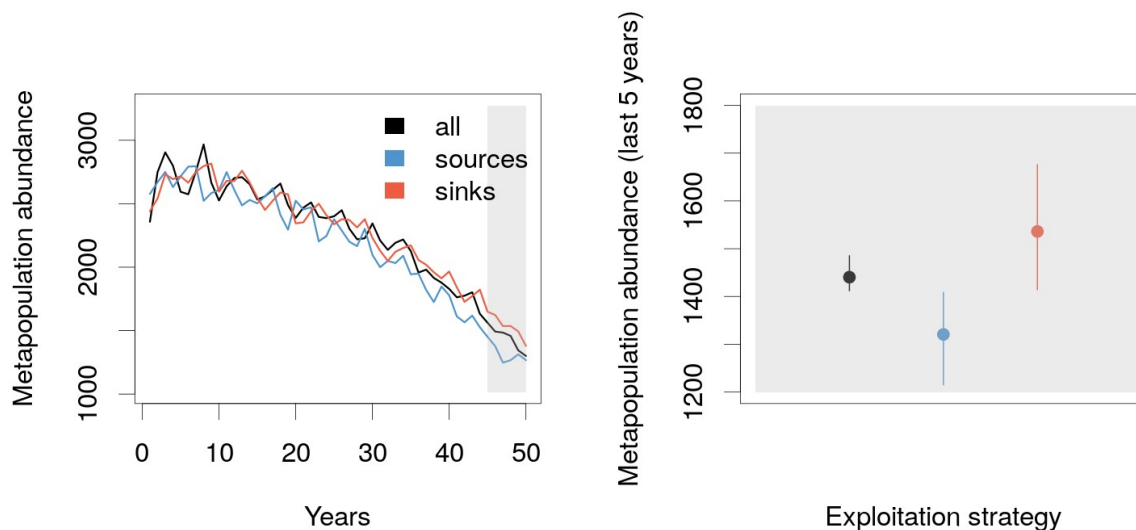


Figure 2 : Dynamiques de la métapopulation suivant divers scénarios d'exploitation (exploitation des populations sources en bleu, puits en rouge et toutes en noir). Simulations issues du modèle MetalBASAM avec un taux de philopatrie de 80% et avec CC. A gauche, trajectoires sur 50 ans. A droite, distributions pour les 5 dernières années. La médiane (point) et l'intervalle à 95% sont indiqués.

IV. Limites de l'utilisation et perspectives d'améliorations opérationnelles

IV.1. Variabilités temporelle, spatiale et individuelle de la dispersion

Les résultats de ce projet sont à prendre avec précaution car ils sont étroitement liés à nos hypothèses de modélisation de la métapopulation. En effet, par souci de parcimonie et du manque d'information empirique sur les flux entre populations, nous avons évalué des scénarios de dispersion relativement simple. Par exemple, les taux de philopatrie ont été considérés constant dans le temps et l'espace. Or la philopatrie pourrait varier dans le temps en fonction des conditions environnementales (e.g. débit d'attrait des rivières) et/ou dans l'espace en fonction de l'adaptation locale et des routes migratoires des adultes anadromes (Yaekel *et al.*, 2018). Par ailleurs, le modèle ne prend pas en compte la variation interindividuel dans la décisions de disperser alors que cette dispersion pourrait être sexe-dépendante (Li & Kokko, 2018) ou âge-dépendant (saumon de printemps vs castillon). De la même manière, nous n'avons pas considéré que la dispersion avait une base génétique (Saastamoinen *et al.*, 2018). Enfin, nous avons considéré que les dispersants avaient les mêmes chances de se reproduire que les non-dispersants. Certaines études ont pourtant montré un succès reproducteur moindre pour les dispersants du fait de l'adaptation locale (Mobley *et al.*, 2018). Il semble donc incontournable d'explorer ces hypothèses en milieu naturel et ainsi évaluer les conséquences sur la structure et le fonctionnement de la métapopulation. La détermination de l'origine spatiale des saumons de retour dans les rivières françaises à partir de l'analyse micro-chimique des otolithes ou écailles (projet SCALE porté par le pôle R&D AFB, INRA, AGROCAMPUS OUEST, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA pour la Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement en 2019), couplé à des analyses génétique, offre des perspectives intéressantes pour répondre à ces questions.

Nos résultats semblent indiquer que la gestion des populations de saumons devrait privilégier la préservation des populations sources et maintenir l'exploitation sur les

populations puits. Cependant, il semble que toutes les populations puits ne réagissent pas de la même façon suivant leur taille et la contribution des dispersants. Il est donc important de poursuivre ce travail afin de mieux identifier et comprendre le fonctionnement des populations puits. Enfin, les taux d'exploitation ont été considérés constant dans le temps et l'espace (entre rivières), ce qui ne semble pas réaliste. Les taux d'exploitation « optimaux » restent à évaluer et surtout, dans le cas d'un classement des rivières abritant des populations sources en « aires d'eau douce protégées », l'amplitude du transfert de l'effort de pêche sur les autres populations. Nos conclusions démontrent le potentiel de définir des mesures de gestion/limites de conservation en fonction de la structuration en métapopulation. Nous recommandons donc une étude empirique de plus grande ampleur qui permette un suivi des flux migratoires contemporains entre populations et d'identifier la structure en métapopulation (e.g. quelles sont les populations sources et puits ?) afin de mettre en place un plan de gestion qui tienne compte du fonctionnement en métapopulation.

V. Pour en savoir plus

Le rapport (stage de Master 2 de Florèn Hugon) sur les conséquences démo-génétiques du fonctionnement en métapopulation chez le saumon Atlantique (*Salmo salar*) est disponible : <https://prodinra.inra.fr/record/432070>. Le modèle est disponible sur une plateforme ouverte : <https://github.com/lbasam/MetalBASAM> (livrable INRA_2018_031_01). Les premiers résultats de ces travaux ont été présentés au colloque de la Société Française d'Écologie à Rennes du 22 au 25 octobre 2018, et un article scientifique est en cours de rédaction (livrables INRA_2018_031_03). Enfin, une note de blog synthétique a été réalisée (<https://travelersandfish.com/saumon-et-changements-climatiques/>; livrable INRA_2018_031_04)). Un autre article de blog ainsi qu'une plateforme permettant d'explorer les résultats seront également proposés en 2019 pour un accès au grand public (livrables INRA_2018_031_04).

VI. Bibliographie

- Buoro, M. & Carlson, S.M. (2014). Life-history syndromes: Integrating dispersal through space and time. *Ecology Letters*, 17, 756–767.
- Carlson, S.M., Cunningham, C.J. & Westley, P.A. (2014). Evolutionary rescue in a changing world. *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 521–530.
- Keefer, M.L. & Caudill, C.C. (2014) Homing and straying by anadromous salmonids : a review of mechanisms and rates. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24, 333–368.
- Li X.Y. & Kokko H. (2018). Sex-biased dispersal: a review of the theory. *Biol. Rev.* (2018), pp. 000–000. 1 doi: 10.1111/brv.12475
- Johnson, Rachel C., Peter K. Weber, John D. Wikert, Michelle L. Workman, R. Bruce MacFarlane, Marty J. Grove, and Axel K. Schmitt. "Managed metapopulations: do salmon hatchery 'sources' lead to in-river 'sinks' in conservation?." *PloS One* 7, no. 2 (2012): e28880.
- Mobley, K., Granroth-Wilding, H., Ellmen, M., Vaha, J.P., Aykanat, T., Johnston, S.E., Orell, P., Erkinaro, J. & Primmer, C.R. (2018) Home ground advantage : selection against dispersers promotes cryptic local adaptation in wild salmon. Doi : 10.1101/311258
- Perrier, C., Guyomard, R., Bagliniere, J.L. & Evanno, G. (2011) Determinants of hierarchical genetic structure in Atlantic salmon populations : environmental factors vs. anthropogenic influences : determinants of salmon genetic structure. *Molecular Ecology* 20, 4231–4245.

- Piou, C. & Prévost, E. (2012). A demo-genetic individual-based model for atlantic salmon populations: Model structure, parameterization and sensitivity. *Ecological Modelling*, 231, 37–52.
- Piou, C. & Prévost, E. (2013). Contrasting effects of climate change in continental vs. oceanic environments on population persistence and microevolution of atlantic salmon. *Global Change Biology*, 19, 711–723.
- Piou, C., Taylor, M.H., Papaïx, J. & Prévost, E. (2015). Modelling the interactive effects of selective fishing and environmental change on atlantic salmon demogenetics. *Journal of applied ecology*, 52, 1629–1637.
- Rieman, B. & Dunham, J. (2000). Metapopulations and salmonids: A synthesis of life history patterns and empirical observations. *Ecology of Freshwater Fish*, 9, 51–64.
- Saastamoinen *et al.* (2018). Genetics of dispersal. *Biol. Rev.*, 93, pp. 574–599. 574 doi: 10.1111/brv.12356
- Schtickzelle, N. & Quinn, T.P. (2007) A metapopulation perspective for salmon and other anadromous fish. *Fish and Fisheries* 8, 297–314.
- Yeakel, J.D., Gibert, J.P., Gross, T., Westley, P.A.H. & Moore, J.W. (2018) Eco-evolutionary dynamics, density-dependent dispersal and collective behaviour : implications for salmon metapopulation robustness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 373, 20170018.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

www.afbiodiversite.fr



www.inra.fr