

## **Modélisation hydrodynamique et télémétrie : vers de nouvelles connaissances pour l'écologie des poissons du Rhône**

Hydrodynamic modelling and telemetry: towards new knowledge for fish ecology in the Rhône river

Hervé Capra<sup>1</sup>; Michaël Ovidio<sup>2</sup>; Eric McNeil<sup>3</sup>; Hervé Pella<sup>1</sup>; Céline Le Pichon<sup>4</sup>; Jean Morin<sup>5</sup> and Bergé Julien<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irstea, UR Maly, 3 bis Quai Chauveau, CP220, F-69336, Lyon, France (corresponding author : [herve.capra@irstea.fr](mailto:herve.capra@irstea.fr)). <sup>2</sup>Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 10 Chemin de la Justice, 4500 Tihange, Belgium. <sup>3</sup>HydroQuébec, 75 Boulevard René Levesque Ouest, Montréal, QC H2Z 1A4, Canada. <sup>4</sup>Irstea, UR Hban, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, F-92761, Antony Cedex, France. <sup>5</sup>Environnement Canada, Section Hydrologie et Écohydraulique Service météorologique du Canada, 801 - 1550, avenue d'Estimauville, Québec, G1J 0C3, Canada.

### **RÉSUMÉ**

Cet article vise à décrire en quoi un outil de caractérisation des conditions abiotiques (modèle hydrodynamique en deux dimensions en l'occurrence) permet d'aborder des questions écologiques originales, comme une étude in situ des réponses comportementales des poissons du Rhône. La mise en œuvre d'une telle approche constitue un atout majeur pour la compréhension de la structuration des communautés aquatiques en générale, et de poissons en particulier, trop rarement appliquée en France. Pour la première fois, les conditions environnementales vécues par les poissons au cours de leurs déplacements ont été caractérisées. Cette approche peut également être appliquée pour simuler les conditions d'habitat et de température au cours de périodes significativement plus longues, compatibles, par exemple, avec le suivi de la structure de la communauté piscicole du Rhône entamé en 1979. La disponibilité d'une description en 2D des variables hydrauliques et de la température, réalisée à des échelles spatio-temporelles adéquates et pour une large gamme de débits susceptibles d'être observés, nous permet donc d'envisager la compréhension de l'influence de ces variables sur le comportement des poissons.

### **ABSTRACT**

The article presented herein aims to demonstrate how a two-dimensional hydrodynamic model representing abiotic conditions can be used to study the behaviour of fish affected by large fluctuations of environmental conditions in the Rhône River. This represents a major advancement in the understanding of aquatic community structures and in particular, for the structure of fish communities that are rarely used in France. For the first time, the environmental conditions affecting fish and their spatial localization will be simultaneously known. The model can also simulate habitat conditions and water temperatures over longer time frame. For example, this methodology is compatible with the monitoring of fish communities of the Rhône River, which was initiated in 1979. The interest in modelling precise habitat and temperature conditions with hydrodynamic models for a large array of flows allows one to consider the role that these two key environmental factors play on fish behaviour.

### **MOTS CLES**

Comportement, habitat, modèle hydrodynamique en 2D, poissons, Rhône, télémétrie, variabilité.

## 1 INTRODUCTION

Les résultats du groupe de travail 'Rhône Thermie - Phase III' (EDF, Drire, Agence de l'Eau, Diren, Univ. Lyon I, Aralep, Cemagref Aix et Lyon) illustraient clairement le besoin de prendre en compte la variabilité spatio-temporelle des conditions de débit, d'habitat et de température pour étudier la variabilité de la structure des communautés piscicoles du Rhône. Seule une modélisation hydrodynamique permettait de simuler la variabilité des conditions abiotiques dans une large gamme de débit et à des échelles de temps et d'espace compatibles avec les phénomènes susceptibles de modifier le comportement des poissons (e.g. éclusées, rejet d'eau chaude). Les techniques de simulation de l'habitat des poissons en fonction du débit sont des outils fréquemment utilisés dans le cadre d'expertises de gestion (e.g. définition de régime de débit réservé) mais beaucoup plus rarement pour étudier les relations entre des caractéristiques du milieu (e.g. disponibilité d'habitat) et le comportement des poissons. Ainsi les objectifs du projet présenté ici étaient 1) de caractériser précisément les variations spatio-temporelles des conditions de vie des communautés aquatiques du Rhône (habitat et température) et 2) d'analyser les réponses comportementales des poissons soumis à des variations simultanées et contrastées d'habitat hydraulique et de température.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Site d'étude

Le secteur du Rhône choisi pour l'étude est le plus long tronçon du Rhône français non dérivé par une installation hydroélectrique. Ce tronçon, long de 36 kilomètres, est localisé à l'Est de Lyon, entre les barrages de Villebois (Sault-Brénaz) à l'amont et de Jons à l'aval. Les débits du Rhône sont essentiellement régulés par les barrages situés en amont du tronçon (notamment Seujet et Verbois, en Suisse, et Génissiat) et sont compris 90 % du temps entre 160 et 742 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> pour un module de l'ordre de 473 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (www.rdbm.com; à Lagnieu ; débit médian de 470 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>). Au débit médian, la largeur moyenne du lit mineur sur le secteur est de 144 m, la profondeur moyenne est de 3 m et la vitesse moyenne est de 1 m·s<sup>-1</sup> (Capra *et al.*, 2011). La température journalière moyenne de l'eau du Rhône en amont du site, évaluée sur la période 1980-2009, était de 12,1°C (1°C - 25,8°C).

### 2.2 Mise en œuvre du modèle hydrodynamique

Une schématisation bidimensionnelle a été retenue pour caractériser les conditions abiotiques qui prévalent au sein du site à l'étude. Ce choix résulte des considérations suivantes : 1) les modèles de préférence d'habitat des poissons sont définis en fonction de vitesses moyennes sur la colonne d'eau ; 2) il n'y a pas de stratification verticale de la température de l'eau ; 3) les poissons sont susceptibles de se déplacer tant latéralement que longitudinalement par rapport au cours d'eau, et 4) une approche de modélisation hydrodynamique en trois dimensions n'aurait pas apporté davantage d'information, tout en s'avérant plus complexe à mettre en œuvre et à valider. La discrétisation géométrique du tronçon à l'étude a été réalisée sous la forme d'un maillage irrégulier d'éléments triangulaires en tenant notamment compte de la configuration bathymétrique du secteur. Une forte densité de point de bathymétrie permet de considérer que, compte tenu des techniques utilisées pour les recueillir, les écarts entre les valeurs mesurées et la réalité sont de l'ordre de quelques centimètres (Pella *et al.*, 2008). La caractérisation des conditions de substrat prévalant au droit de chaque nœud du maillage a été établie à partir d'une cartographie de la répartition spatiale du substrat (observations et photos) au sein du tronçon étudié. Pour les processus d'étalonnage et de validation, des relevés de niveaux d'eau en fonction du débit ont été effectués au droit de stations limnimétriques implantées sur les berges le long du tronçon étudié. Par ailleurs, des profils longitudinaux de surface libre pour différents débits stabilisés (7 relevés entre 190 et 1300 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>) ont été relevés entre l'amont et l'aval du secteur d'étude. Les résultats des simulations hydrodynamiques permettent de caractériser, pour chaque nœud du maillage, la vitesse moyenne d'écoulement et la profondeur prévalant localement en fonction du débit transitant par le tronçon à l'étude. Les conditions hydrodynamiques ainsi simulées servent d'intrants, avec les conditions de fonctionnement du CNPE (nombre de groupes en fonction), aux simulations de la répartition spatiale des températures de l'eau.

### 2.3 Analyse du comportement des poissons

Nous avons analysé le comportement des poissons à deux échelles de temps et d'espace différentes. Une première phase en 2009 a consisté à étudier très finement le comportement des poissons soumis aux variations de débit et au rejet d'eau chaude du CNPE de Bugey (Bergé *et al.*, soumis). Pour l'enregistrement du comportement des poissons, un système de télémétrie fixe a été déployé sur 2 km

de Rhône. Les poissons (n=61 sur 94 marqués) ont été suivis de juillet à septembre avec une possibilité d'être localisés dans la station d'étude toutes les trois secondes. La probabilité de détection d'une marque était en moyenne de 40% à 50% et l'erreur moyenne dans sa localisation était de 3 à 5 m dans le chenal et 10 m en bordure. Les comportements des poissons étaient représentés par l'étude précise de leurs mouvements et par leurs localisations. Enfin, pour chaque localisation individuelle, il était possible de connaître les conditions hydrauliques (profondeur et vitesse), la température de l'eau et le substrat.

Une seconde phase en 2010 a consisté à étudier les déplacements hebdomadaires des poissons (n=106) dans le tronçon complet de Sault-Brénaz à Jons. Pour localiser les poissons, nous avons utilisé un système de télémétrie mobile permettant de localiser chaque poisson dans une aire de localisation de quelques dizaines de mètres carrés en moyenne. Les localisations ont été réalisées chaque semaine d'avril à décembre 2010. Entre deux localisations il était possible de quantifier les variations de débit, de température mais également d'habitat disponible.

Les poissons localisés le plus fréquemment appartenaient à trois espèces principales : le barbeau (*Barbus barbus*, L. 1758), le chevaine (*Squalius cephalus*, L. 1758) et le silure (*Silurus glanis*, L. 1758). La majorité des individus localisés étaient des adultes.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Le modèle hydrodynamique validé permet des simulations des niveaux d'eau très proches de niveaux d'eau observés (quelques centimètres d'erreur au maximum) et des vitesses d'écoulement ayant une répartition transversale et des modules très proches des observations. Les simulations de température à l'aval immédiat du CNPE ont une précision évaluée à 0.5°C. Il est maintenant possible de simuler pour n'importe quel débit les caractéristiques hydrauliques et thermiques en tout point du tronçon.

L'expérimentation de 2009 a montré que le silure utilisait majoritairement (65% du temps) les eaux échauffées à l'aval des rejets du CNPE de Bugey, mais également de manière non négligeable les zones d'eau non échauffée. Au contraire les barbeaux et chevaines utilisaient très rarement les masses d'eau échauffées (<10%). Le facteur environnemental qui semblait le plus influant sur les déplacements des poissons était la photopériode, malgré les variations de débit observées. Les adultes des espèces étudiées ne sont pas forcément les individus les plus sensibles aux fluctuations de débit enregistrées à Bugey. La simulation des conditions d'habitat (profondeur, vitesse, température et substrat) pour chaque localisation de poisson nous a permis d'analyser les utilisations et les préférences d'habitat des trois espèces principales. La variabilité inter-individuelle de ces préférences était faible et peu variable entre différentes conditions de débit et de photopériode.

L'expérimentation 2010 nous a permis d'évaluer la mobilité saisonnière (distance parcourue et domaine vital longitudinal) des poissons dans le tronçon d'étude. Comme ce fut le cas dans l'expérimentation de 2009 une forte variabilité inter individuelle était observée, avec des déplacements variant de 0 à 25 km en une semaine. Pour chaque espèce étudiée il apparaît que trois classes de domaine vital total peuvent être dégagées, les individus qui se déplacent peu (0 à 2km), les individus intermédiaires (2 à 4 km), et les individus très mobiles (4 à 25 km). La modélisation hydrodynamique couplée à une approche fonctionnelle (description des habitats pour la réalisation des fonctions vitales) permettra d'illustrer les fortes fidélités observées pour certains sites, ou de mieux caractériser les sites choisis pour la reproduction.

En conclusion, la télémétrie permet un changement d'échelle (spatiale et temporelle) par rapport aux études classiques (menées à l'échelle du micro-habitat) dans l'étude de l'utilisation de l'habitat par les poissons dans un grand cours d'eau et la modélisation hydrodynamique en 2D permet de caractériser aux mêmes échelles les conditions abiotiques utilisées et disponibles.

### BIBLIOGRAPHIE

- Bergé, J., Capra, H., Ovidio, M., Pella, H., and Lamouroux, N. (soumis). *Living with fish in a large river with heterogeneous flow and temperature: an acoustic telemetry experiment*. *Hydrobiologia*, Submitted.
- Capra H., Pella H., Morin J., Le Pichon C., Perraud C., Datry T., Secretan Y., Jouve P., and Matte P. (2011). *Conséquences de l'artificialisation de l'hydrologie du Rhône sur la structuration des communautés d'invertébrés et de poissons*. Rapport Final. Rapport Cemagref – Agence de l'Eau RM&C. 109 p. et Annexes.
- Pella, H., Capra, H., and Foulard, S. (2008). *Développement d'un MNT du haut Rhône à partir de relevés bathymétriques réalisés avec un sondeur multi-faisceaux*. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 186, 81-86.