

Estimation et disposition des débits environnementaux dans les cours d'eau méditerranéens

Concepts, méthodologies et pratique émergente

Étude de cas méditerranéen

LE RHONE: RÉHABILITATION HYDROMORPHOLOGIQUE ET ÉCOLOGIQUE D'UN HYDROSYSTÈME CONSIDÉRABLEMENT EXPLOITÉ PAR L'HOMME

Auteur

Yves Souchon

Directeur de Recherche
Cemagref, Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative
(Unité de Recherche Biologique sur les Eaux Douces, Laboratoire Hydrologique Quantitatif)

3 bis, quai Chauveau CP 220 69336 Lyon Cedex 09 France

<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq>

Les opinions exprimées sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN.



Les études de cas méditerranéens de ce dossier informatif ont été possibles grâce au financement du gouvernement hollandais par le biais de l'Initiative pour l'Eau et la Nature et le soutien financier du Ministère des Affaires Étrangères, Direction Générale pour la Coopération et le Développement, Italie.



IUCN
The World Conservation Union

CENTRE FOR
Mediterranean
COOPERATION

Le soutien principal aux activités du Centre pour la Coopération Méditerranéenne de l'IUCN a été apporté par:


JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE



LE RHÔNE: RÉHABILITATION HYDROMORPHOLOGIQUE ET ÉCOLOGIQUE D'UN HYDROSYSTÈME CONSIDÉRABLEMENT EXPLOITÉ PAR L'HOMME

Cette étude de cas considère la façon dont les estimations de débits écologiques ont configuré la planification de restauration fluviale du Plan Décennal de Réhabilitation Hydraulique et Écologique du Rhône (2000). Cette question est discutée dans le contexte des Lois sur les Cours d'Eau en phase de gestation en France et la Directive-Cadre sur l'Eau (2000) qui prévoit la restauration du "bon état écologique" des fleuves des pays membres de l'UE pour 2015.

1. HISTORIQUE

La zone d'étude: localisation et géographie

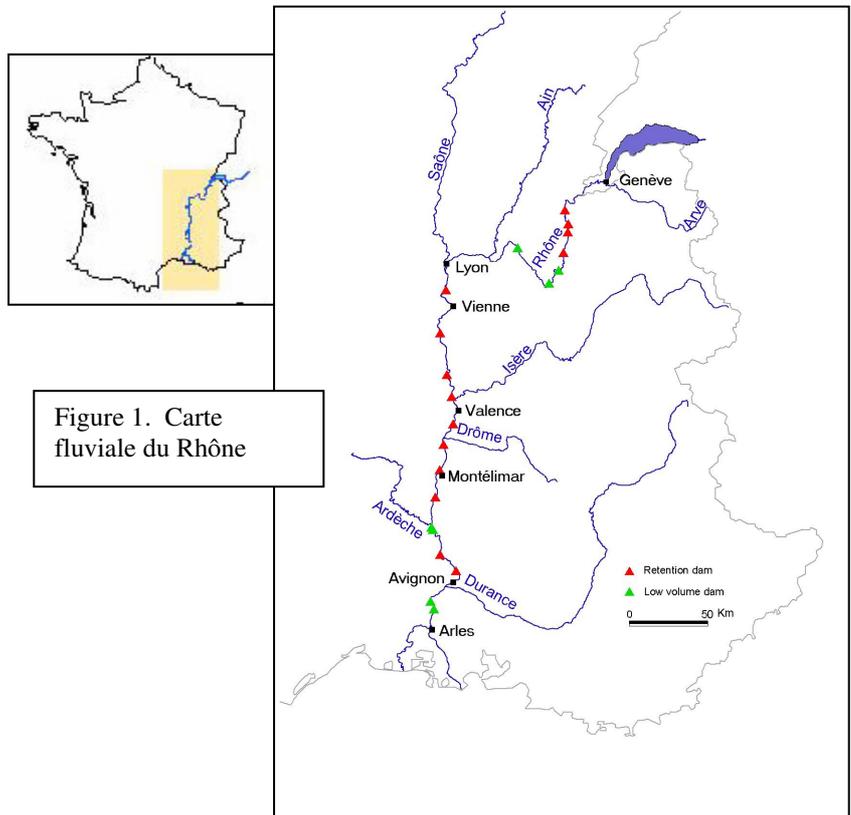
Le Bassin Hydrographique du Rhône occupe une superficie de 98.000 km² en France et en Suisse. Le Rhône est le plus long fleuve du bassin (750 km). Il naît de la fonte de neige et de glace du glacier du Rhône (à 1.773 m. d'altitude) en Suisse, puis entre dans le lac Léman (Lac de Genève). En aval de Genève, le Rhône coule en direction du sud sur 512 km en France avant de bifurquer en deux branches qui forment un delta dans la région de la Camargue (voir Figure 1). Il se jette ensuite dans la Méditerranée une fois passées les digues de protection contre les crues.

Les principaux affluents du Rhône sont la rivière de l'Arve, qui coule à proximité des montagnes du Mont-Blanc; la rivière de l'Ain, la rivière de la Saône, qui rejoint le Rhône à Lyon; et les rivières de l'Isère, la Drôme, l'Ardèche et la Durance qui toutes se heurtent au Rhône à différents endroits dans ses tronçons moyens à inférieurs.

L'hydrologie du bassin est complexe. Cela est dû au fait que sa localisation et sa topographie variée se traduisent par diverses influences climatiques différentes

sur le bassin. Le déversement annuel moyen du lac Léman est de 570 m³/s et à Beaucaire, en amont d'Arles à proximité de la section finale du cours fluvial, il est de 2.300 m³/s.

De manière typique, le Rhône déborde au printemps et en automne. Des pics de crue de 13.000 m³/s ont été enregistrés en automne 2003. Le fleuve a également une pente d'écoulement relativement forte (0,625 ‰). Ces caractéristiques expliquent pourquoi le Rhône, autrefois dénommé le "fleuve-roi", est connu pour être peu navigable, mais il possède un bon potentiel hydroélectrique.



Le modèle historique de développement du Rhône

Tout au long des 400 dernières années, le Rhône a été aménagé par phases successives dans différents buts. Dès le 17^e siècle, des digues ont été construites pour servir de protection contre les crues. Au 18^e siècle, des épis et des perrés ont été construits pour rendre le fleuve plus navigable. Vers la fin du 19^e siècle, le développement hydroélectrique a pris de plus en plus d'importance. Le premier barrage de déviation du Rhône a été construit en 1872. Au siècle dernier, des prélèvements pour le développement de l'agriculture irriguée se sont ajoutés aux nombreux usages du fleuve. La construction en 1986 du barrage de Brégnier-Cordon, en amont de Lyon, a été le dernier grand développement de barrage sur le Rhône.

La Loi d'Aménagement du Rhône de 1921 a été la première à autoriser des travaux de construction pour la navigation à grande échelle, l'irrigation et l'énergie hydraulique. La Compagnie Nationale du Rhône créée en 1934 (CNR, voir réf. au site web) a été chargée en conséquence de la mise en oeuvre de ces travaux avec une perspective intégrative de développement économique. Depuis 1934, la CNR a développé 19 schémas hydroélectriques. Ceux-ci représentent 20-25% de la production française d'énergie hydraulique, ou 3-4% de la production totale d'électricité nationale. Un schéma similaire de développement est répété à différents endroits le long du fleuve, où des canaux rectifient ou raccourcissent le cours d'eau pour faciliter la navigation, en dérivant l'ancien lit du fleuve (le "vieux" Rhône). Un barrage en amont sur le Rhône d'origine dévie tout d'abord l'eau et un second barrage de basse chute, à l'intérieur du canal de navigation, permet sa régulation au moyen d'une écluse et de turbines. Des débits minimums oscillant entre 1/326 et 1/5 de la ZDP sont attribués à au moins 150 km des sections de dérivation du fleuve principal. Ces débits ont été négociés au cas par cas à mesure que chaque barrage était construit.

L'état actuel du système hydrologique et de l'écologie fluviale

Aujourd'hui, le régime fluvial du Rhône est régulé par plusieurs grands réservoirs de stockage (7 milliards m³, ce qui représente environ 7,3 % de l'écoulement annuel de 96 milliards m³). Près de 80% de cette capacité de stockage se trouvent en aval de Genève. Elle est fournie par des barrages comme le barrage du Vouglans sur la rivière de l'Ain supérieure, plusieurs barrages sur la rivière de l'Isère (qui représentent à eux tous 30% de la capacité de stockage totale) et le barrage de Serre-Ponçon sur la rivière de la Durance. Le barrage de Serre-Ponçon est l'un des plus grands d'Europe et il fournit 43% de la capacité de stockage du bassin.

Le couloir rhodanien est aujourd'hui une zone très peuplée et industrialisée avec plus de 2,5 millions d'habitants. Le "revenu garanti" du Rhône a contribué à la prospérité économique des villes riveraines et de leurs habitants. En termes écologiques, les effets du changement dans l'habitat physique ont été considérables: la morphologie du lit du fleuve, qui était ramifiée, est devenue droite et canalisée, souvent érodée et incisée; le niveau des eaux souterraines s'est réduit; plusieurs biotopes naturels ont disparu; la forêt riveraine est devenue une forêt de feuillus en raison de la baisse du niveau des eaux souterraines; et les barrages bloquent la migration des poissons amphibiotiques (menhadens, anguilles, lamproies), là où de nombreuses communications latérales avec des affluents ou des chenaux secondaires ont été modifiés, parfois coupés. Dans l'ensemble la biodiversité du fleuve a été réduite. Les espèces dont les cycles vitaux sont liés à un système fluvial dynamique sont rares. Les espèces rhéophiles ont diminué et les communautés d'espèces sont devenues des espèces d'habitat plus limnophile.

Émergence de nouveaux paradigmes

Pendant des périodes de développement économique actif, le grand public a tourné le dos au fleuve parce qu'il le sentait extrêmement pollué, artificiel et potentiellement menaçant en raison des crues. Dans les années 1980, la prise de conscience des valeurs environnementales s'est manifestée par une vive opposition au dernier projet de développement d'un barrage, le Loyette à la confluence du Rhône avec l'Ain. Ce projet a été abandonné. Depuis le début des années 1980, de nombreux tronçons du fleuve et de la plaine alluviale ont été classés dans la catégorie des zones protégées. Plus de 10.000 ha sont maintenant considérés importants d'un point de vue naturaliste et pour la biodiversité. Des acteurs locaux et des

2. Courant ou fleuve dont la ZDP > 80 m³/s
 - Prélèvement d'eau existant: Débit Minimum Légal (DML) = 1/80 de la ZDP
 - Nouveau prélèvement d'eau: DML = 1/20 de la ZDP

De plus, les utilisateurs finals devaient produire une étude d'impact pour prouver que ces valeurs légales étaient suffisantes pour assurer en permanence: la vie, la reproduction et la circulation des espèces aquatiques vivant dans les eaux. Le Rhin et le Rhône n'étaient pas des fleuves soumis à cette loi en raison de leur statut international.

La Loi de 1984 a également introduit la nécessité d'établir une cartographie synthétique (Schéma Départemental de Pêche en Eau Douce) pour tous les courants et fleuves français. C'était un instrument pour visualiser les connaissances de l'environnement naturel et l'inventaire des pressions humaines (Souchon et Trocherie, 1990). Une carte fluviale produite par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (AE RMC, 1992) en était un exemple. Il était démontré que c'était un bon instrument de planification pour analyser et synthétiser les statuts écologique et "anthropogénique" des différents tronçons du Rhône (voir figure 2).

La Loi sur les Cours d'Eau (LCE, 1992)

La Loi sur les Cours d'Eau a élargi la Loi de 1984. Elle a traité les principes de gestion durable des systèmes hydrologiques et la gestion des bassins hydrographiques. La gestion à l'échelle du bassin devait être appuyée par des documents-cadres articulés selon différentes échelles de gestion. Elle envisageait un schéma principal (directeur) à l'échelle du bassin versant, à savoir le bassin hydrographique du Rhône (SDAGE "Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau"), qui définit les directions générales; et des schémas plus locaux (SAGE "Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux"). À l'échelle de sous-bassin (à savoir le fleuve de la Drôme noté sur la Figure 1), les actions nécessaires pour appliquer les orientations de SDAGE, par exemple, ont été définies.

Ces documents ont été développés dans un processus de dialogue intensif entre tous les acteurs de l'eau. Cette approche a également bénéficié d'une longue tradition de gestion de bassin versant sur la base de la structure d'Agences de l'Eau, institutions du bassin fondées dans les années 1970, et de l'adoption du principe du pollueur payeur.

La Directive-Cadre Européenne sur l'Eau (DCE UE, 2000)

La DCE a l'ambition de stimuler les états membres de l'UE sur la voie d'une nouvelle ère de réhabilitation des eaux douces. Le bon état écologique des sources d'eaux de surface et souterraines doit être atteint pour 2015. Le principal indicateur d'un bon état écologique¹ est la biologie, dans sa variété de formes (à savoir, les poissons, les macroinvertébrés, la production primaire). Le statut chimique qui a prévalu jusqu'à maintenant dans les évaluations apparaît plus comme un miroir pour la biologie à l'heure actuelle. Le statut physique sert en premier lieu à définir les situations optimales classées comme des références, et d'autre part, à soutenir les processus biologiques. Cette législation met l'accent sur des résultats plus que sur la prescription de moyens. Tout le processus pourrait être considéré adaptatif, avec des phases chronologiques logiques: classement des eaux, description de références, évaluation de l'état actuel, inventaire des pressions et usages économiques, planification de l'action de réhabilitation, et contrôle et révision des actions.

¹ Le bon état écologique est discuté à un niveau européen afin de calibrer et comparer les différentes évaluations des états: des références historiques, des situations actuelles de référence ou des modèles pourraient aider à définir le bon état écologique. Pour le Rhône cette évaluation est appuyée par des modèles.

3. LE PLAN DÉCENNAL DE RÉHABILITATION HYDRAULIQUE ET ÉCOLOGIQUE DU RHÔNE (PDRR, 2000)

Avant le PDRR, plusieurs plans de gestion fluviale ont été développés pour le Rhône et conçus avec des objectifs environnementaux. Leur multiplicité indique les effets combinés dynamiques et complexes qui se jouent entre les nombreux acteurs à différentes échelles spatiales et administratives. On compte parmi ces acteurs: un préfet de coordination du bassin, qui est chargé du Rhône en coopération avec l'administration régionale; l'Agence de l'Eau; et la CNR (une compagnie publique de développement) chargée de la gestion économique et environnementale du fleuve, qui a également joué un rôle clé dans le plan décennal de réhabilitation du Rhône.

À titre illustratif, les plans successifs envisageaient:

- 1988: Diagnostic complet de l'état du Rhône
- 1992: Schéma de la Pêche en Eau Douce dans le Rhône, appuyé par des cartes pour les connaissances du système hydrologique et des impacts et pressions (comme illustré sur la Fig. 2).
- 1992: Plan de Gestion du Rhône qui était orienté vers les ressources et les risques
- 1996: SDAGE du Rhône
- 1996: Plan d'Action de la CNR – avec des études scientifiques de la typologie des chenaux secondaires, le diagnostic de la migration des poissons et des barrages, le plan de migration, et un inventaire des sites sensibles à protéger.

Le PDRR est donc défini comme l'étape suivante dans une suite continue d'études et de bénéfices tirés de l'expérience accumulée. En 1998, trois ministères d'État (celui de l'Économie et de l'Industrie, les Transports et les Équipements Publics, et l'Aménagement des Paysages et l'Environnement) ont chargé l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (AE RMC) et sa délégation de bassin versant de doter le PDRR d'une coordination technique. Il est géré par un Comité de Gestion (Voir cadre 1 sur le PDRR), avec un soutien consultatif de la part d'un Comité Scientifique et d'un Comité de Bassin Versant. Les objectifs majeurs du PDRR sont de restaurer un "fleuve vif et courant" ainsi qu'une meilleure qualité écologique.

Par conséquent quatre priorités de restauration ont été définies dans le processus du PDRR:

- la restauration hydraulique des sections de dérivation du Rhône (le Rhône supérieur, Miribel Jonage, le Péage de Roussillon, Montélimar, Donzère-Mondragon) avec l'instauration de débits minimums plus élevés,
- la restauration morphologique des bras secondaires et des systèmes de connexion du Rhône,
- la restauration des routes migratoires des poissons pour le Rhône et ses affluents,
- l'organisation d'un contrôle scientifique pour la totalité du PDRR et le développement d'actions coordonnées orientées vers la prise de conscience du public et le soutien des acteurs impliqués.

Cadre 1

Plan Décennal de Réhabilitation hydraulique et écologique du Rhône (PDRR)

Composition du Comité de Gestion du PDRR

Administrations régionales: navigation intérieure, environnement, industrie
Institutions publiques: AE RMC, Conseil de la Pêche Intérieure, Électricité de France
Représentants d'associations de la commune riveraine
Personnes qualifiées

En coordination avec

Comité Scientifique
Comité du Bassin Versant

Tandis que le PDRR est basé sur la philosophie de développement durable pour la totalité du territoire du bassin hydrographique, dans la pratique, les actions de réhabilitation dépendent de l'initiative locale. Des groupements de communes en sont les administrateurs. Par exemple une convention spécifique (Haut Rhône) implique plusieurs communes dans la réhabilitation de trois sites du Rhône supérieur: le Syndicat Intercommunal de Protection des Berges et Bordures du Rhône en Savoie, en accord avec les Syndicats Intercommunaux de Défense contre les eaux du Haut-Rhône dans les départements de l'Ain et de l'Isère. Cette pratique garantit une forte participation des parties prenantes locales.

4. APPROCHE UTILISÉE POUR LES DÉBITS ÉCOLOGIQUES

Adaptation et validation de la méthodologie pour les grands fleuves

Dans une estimation de débit écologique, l'un des principaux défis est de simuler et prédire les réponses biologiques aquatiques dans des situations de débits altérés dans un fleuve considérablement modifié. Cependant, la plupart des travaux préalables pour développer des méthodologies de débit résiduel tout au long de la décennie précédente étaient basés sur de plus petits fleuves. En raison de la recherche extensive disponible sur le Rhône, il a été possible néanmoins de construire et d'adapter des modèles existants pour les utiliser dans le cadre du PDRR.

Un premier effort a été réalisé auparavant dans ce sens en 1989 pour la section de dérivation de Montélimar (Pouilly, 1994) (voir Pouilly et al., 1996 pour une expérience similaire dans le fleuve de la Garonne). Cette étude pionnière a mis en évidence les difficultés rencontrées pour adapter les méthodes existantes à de grands fleuves. On compte parmi certains de ces défis: la difficulté dans la mesure des paramètres hydrauliques clés; obstacles inhérents aux modèles d'habitat pour les poissons fluviaux; et le choix de facteurs de pondération entre espèces dans des assemblages multi-espèces (voir également Stalnaker et al., 1989). Ces difficultés ont été partiellement surmontées ces dernières années, d'abord par la description de l'habitat hydraulique pour davantage d'espèces de poissons (Pouilly, 1994; Lamouroux et al., 1999a); deuxièmement, par le développement de modèles hydrauliques statistiques (Lamouroux, 1997). Un autre développement important a été la mise en relation de modèles hydrauliques statistiques avec des modèles préférentiels à variables multiples pour prédire les indices de densité de poissons *versus* différentes conditions hydrauliques de la région pour différents déversements de débit. Ces méthodes et leur validation biologique sont décrites dans un document très complexe (Lamouroux et al., 1999b).

Des progrès dans la modélisation de l'habitat ont également rendu certaines des critiques précédentes des méthodologies dominantes IFIM/Phabsim, ou de microhabitat (Bovee, 1982; Mathur et al., 1985) nulles ou vaines. Par exemple: les paramètres hydrauliques sont maintenant considérés sur la base de variables multiples (à savoir, non comme des variables indépendantes); la méthode adaptée considère les assemblages de poissons, non seulement les poissons cibles de la pêche; et la validation biologique au niveau de la communauté d'espèces de poissons a été démontrée.

La figure 3.1 illustre les différentes combinaisons possibles d'instruments pour produire un indice d'habitat ou de communauté d'espèces de poissons *versus* un déversement qui ont pu être utilisés. Les méthodologies sélectionnées pour l'étude de cas du Rhône apparaissent sur fond gris (à noter que Stathab, Evha, Estimhab sont les acronymes de différents logiciels de simulation d'habitat – voir texte et références)²

² La majeure partie de ces instruments sont disponibles sur le site web <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/logiciel.html>.

Diversité des données et des instruments

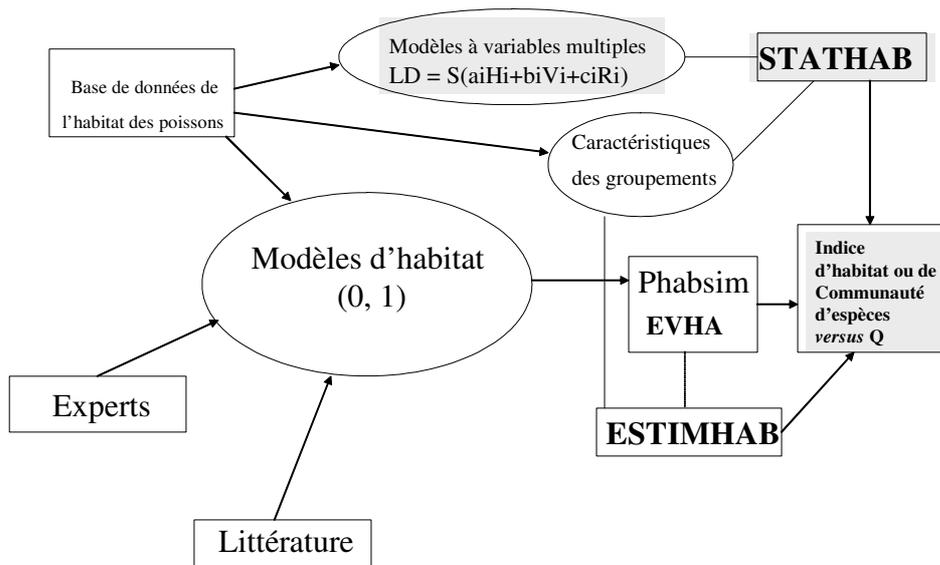


Figure 3.1. Estimation de Débit Écologique – Diversité de données et instruments

Dans la pratique, on peut utiliser plusieurs méthodologies qui combinent essentiellement différents modèles préférentiels d'habitats de poissons et des modèles hydrauliques pour produire un indice spécifié *versus* une relation de déversement.

Quels étaient les objectifs?

Des méthodologies précédentes nous informent sur le comportement physique d'un tronçon particulier du fleuve *versus* un débit, et ensuite sur la façon de le traduire en indices d'habitat ou de communauté d'espèces. Mais la difficulté reste encore de définir des seuils dans les tendances pronostiquées. Il y a d'autres questions comme "Quel fleuve altéré pourrait être considéré suffisamment significatif pour permettre des évolutions positives de la communauté d'espèces de poissons?" et "Quel est l'objectif écologique à atteindre?" La méthodologie ne définit pas l'objectif, mais est au service de l'objectif. En d'autres termes, la définition de l'objectif n'incombe pas totalement aux experts scientifiques, mais à la société –sur la base de la négociation, par exemple.

L'objectif a été défini en termes vagues dans le PDRR (à savoir, de restituer un "fleuve vif et courant"). Il a été décidé que la meilleure approche consistait à traduire ces objectifs en attributs biologiques. La meilleure situation biologique qu'on puisse observer dans un fleuve comportant des sections de dérivation a été définie comme un objectif possible de réhabilitation. Cela signifie qu'il faut décider les déversements qui sont nécessaires dans les différentes sections de dérivation, en tenant compte des différentes morphologies et pentes de versant existantes. Les attributs biologiques de la communauté d'espèces de poissons sont résumés dans un index de caractéristiques plus ou moins rhéophiles. La modélisation de chaque tronçon de dérivation a été réalisée lors de la mise en oeuvre du PDRR. Les résultats sont comparés dans la même illustration (voir Figure 3.2)

Les différents schémas de tendances *versus* déversements ont donc aidé à définir une hiérarchie pour le potentiel de réhabilitation dans différentes sections de dérivation. On suppose qu'un débit minimum plus élevé modérerait également les pics d'impacts opposés qui transitent dans la section de dérivation. Et même les valeurs d'esthétique et de paysage qui sont associées à un grand fleuve sont restaurées dans la dérivation.

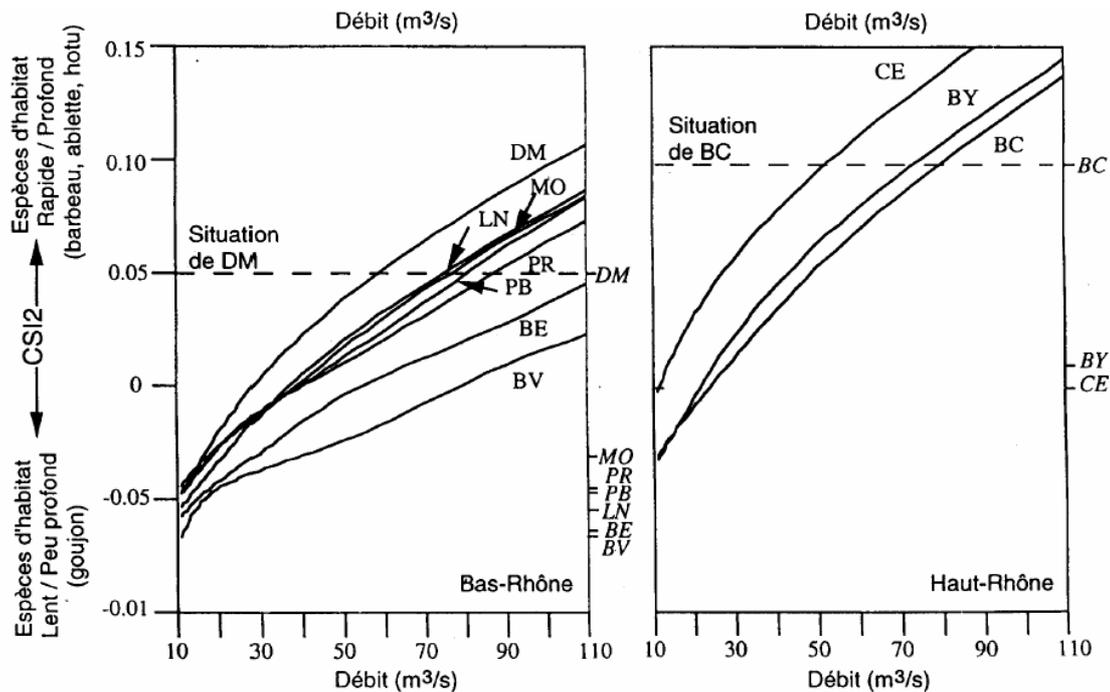


Figure 3.2. Simulation des indices structurels de la communauté d'espèces de poissons (ISC) versus débit (débit: m³/s) pour différentes sections de dérivation du Rhône³.

Dans la figure 3.2 une faible valeur des ISC indique une communauté d'espèces limnophiles (par exemple, goujon). Une valeur élevée indique une communauté d'espèces rhéophiles (par exemple, barbeau, ablette, hotu) qui est plus en accord avec un environnement fluvial courant (Lamouroux et al., 1999c). Notons que les réponses sont différentes dans chaque section de dérivation, en raison des morphologies différentes: autrement dit, la même augmentation du débit minimum ne produit pas la même augmentation de l'habitat rhéophile (les lettres DM, MO, LM, etc, sur la figure correspondent aux réponses de différentes sections de dérivation).

Mise en oeuvre dans une perspective de gestion adaptative

La première décision d'améliorer les débits dans la section de dérivation dans le cadre de la restauration des valeurs environnementales a été prise pour le site de Pierre-Bénite. C'est la première section de dérivation en aval de Lyon. Depuis août 2000, le débit minimum a été augmenté de 10 m³/s (dans la période allant de septembre à mars) et 20 m³/s (dans la période allant d'avril à août) à 100 m³/s. Une turbine de puissance a été installée dans le barrage pour produire de l'hydroélectricité avec ce déversement de façon à aider à compenser la perte de production énergétique du barrage bien en aval du nouveau chenal. Correspondant à l'objectif biologique (voir PB sur la Figure 3.2), selon les prévisions, cela devrait donner un assemblage plus rhéophile de poissons, près du niveau de DM (Donzère-Mondragon) qui a été choisi comme un point de référence. Cette décision est appuyée par un plan de contrôle (2001-2004) pour faire une estimation des modifications futures et comparer les valeurs observées des attributs de communauté d'espèces de poissons avec celles pronostiquées. Un programme de contrôle "avant modification" a également été mis en place de 1995 à 1999. Une batterie d'indicateurs complémentaires a également été établie dans les catégories de l'hydrologie, l'hydraulique, les sédiments, les poissons, les macrophytes, les macroinvertébrés et le paysage aquatique (perception des parties prenantes du fleuve réhabilité). Les données qui caractérisent chaque catégorie sont mises sur carte (bases de données associées avec le SIG) pour aider à communiquer l'information complexe aux gestionnaires et aux parties prenantes. Ailleurs, des simulations précises sont mises en oeuvre dans le Rhône supérieur (dans 3 sites d'étude de sections de dérivation) et dans deux tronçons en aval (Montélimar et Donzère-

³ Reproduction autorisée par le Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture

Mondragon). Les décisions visant à améliorer le régime de débit écologique dans ces sections de dérivation dépendront du résultat du dialogue local et prendront en considération les implications financières.

5. ACTIONS DE GESTION

Dans le passé, des stratégies de gestion fluviale ont souvent considéré les protections contre les crues, une gestion de la qualité de l'eau et la protection des ressources en eau comme prioritaires bien avant la préservation de l'intégrité écologique des fleuves. Les limitations de telles perspectives sont maintenant plus appréciées, notamment par le public. Il est clair à présent que la gestion des bassins versants dans des bassins comme le Rhône est focalisée sur la réhabilitation, ou la renaturalisation, dans une perspective plus intégrante. Le traitement des eaux résiduaires montre bien à quel niveau se situent les progrès après plusieurs années d'expérience accumulée.

Cependant, on observe moins de progrès dans la réhabilitation physique du fleuve. L'intention générale se manifeste dans les schémas de gestion (voir Figure 3), mais qui ne se traduisent pas par des mises en oeuvre réelles. Nous pouvons dégager au moins trois causes principales à cette question de fait:

- (1) les augmentations de débit dans les tronçons de dérivation sont souvent vues comme des pertes économiques pour des usages précédents (comme par exemple l'hydroélectricité), et non comme des moyens pour établir un nouvel équilibre entre l'économie et l'écologie;
- (2) le fonctionnement complexe des hydrosystèmes est difficile à expliquer en termes aisément compréhensibles par la plupart des gens, et
- (3) il existe peu d'études de cas démonstratifs et positifs.

Le revirement de l'opinion publique au tournant des années 1980, exprimé par une volonté de vivre et de travailler avec le fleuve et non contre lui, influence progressivement la gestion du fleuve et les actions associées. Le PDRR est très représentatif de cette évolution. La grande action politique a été la transformation de fonds pour les travaux de canalisation et de navigation en fonds pour la réhabilitation du fleuve en 1998, suite à une décision politique nationale.

La participation des parties prenantes par le truchement de leurs représentants est également essentielle. Toutes les actions de réhabilitation à l'échelle locale (par exemple, un site de dérivation) les ont impliquées, y compris leur contribution financière aux plans financiers. Augmenter de dix fois le débit écologique d'un fleuve est une mesure qui est visible à l'oeil nu. Pour renforcer cet impact, il est également nécessaire de construire des indicateurs objectifs de changement qui soient réellement contrôlés. Les objectifs du PDRR ont très bien identifié cette nécessité et ont exigé un cadre scientifique pour établir et contrôler les indicateurs. Le coût financier de ce cadre est de 3% du coût total de réhabilitation de (1,5 M€). La capacité d'amélioration et de construction de modèles de pronostic s'est aussi vue renforcée pour évaluer l'évolution des changements du biote *versus* déversements. Les résultats du contrôle pouvaient être vus comme un retour d'expérience à ces modèles, afin de les valider ou de les améliorer.

6. ENSEIGNEMENTS ET DÉFIS CLÉS

La réhabilitation du Rhône illustre une approche adaptative de la restauration fluviale appuyée par une estimation de débit écologique. Elle montre ce qui peut être obtenu en réhabilitant un fleuve qui a subi un développement urbain, agricole et industriel pendant longtemps, sans que soient pris en considération ses valeurs et attributs environnementaux. Les marges de liberté pour la réhabilitation physique ne sont pas nombreuses à cause du bassin d'alimentation très peuplé et équipé. Cependant, des actions sont encore possibles pour équilibrer la fourniture d'eau entre des sections de dérivation et des parties canalisées du fleuve, et pour reconstituer une certaine connectivité entre le chenal principal et les bras secondaires abandonnés. Pour être efficaces et pour maintenir une cohérence générale, les actions de réhabilitation doivent être définies à l'échelle du fleuve entier. Dans ce sens, des schémas de gestion générale sont utiles

pour harmoniser les échelles spatiales et temporelles et pour définir des priorités pour les actions entre les nombreux partenaires du fleuve.

Il est également essentiel que les représentants locaux et leurs organisations soient impliqués dans les projets locaux, pour adapter la gestion globale à l'échelle locale et pour trouver la personne qui sache éduquer les parties prenantes riveraines. Il est également essentiel de construire un processus dynamique, en commençant par une bonne définition collective des objectifs avant les actions, suivie d'un contrôle adapté défini pour le fleuve entier. Les premiers cas de réhabilitation ont pu servir de sites pilotes, et ont pu bénéficier d'une évaluation plus intensive par une procédure de contrôle préalable et postérieur. Dans le domaine des sciences appliquées, de telles expérimentations sont très revendicatrices. On peut dire que la plupart des questions ont été résolues ces deux dernières décennies.

Le choix de la méthode correcte

Il reste aux gestionnaires la grande difficulté de choisir parmi plus de 100 méthodologies développées dans le monde entier (Tharme, 2004). Heureusement, toutes ces méthodologies peuvent être rassemblées en trois familles principales: hydrologique, hydraulique et la méthodologie IFIM de microhabitat (Bovee, 1982). Les deux premières familles n'envisagent pas de considérations biologiques explicites. Dans le cas du Rhône, une méthodologie de microhabitat adaptée a été la base de l'évaluation. Cependant, on pourrait objecter qu'il n'est pas possible d'adopter la même stratégie pour des fleuves et des pays où les connaissances biologiques ne sont pas aussi avancées. D'autres pourraient répliquer que de telles méthodologies prennent beaucoup de temps, leur application est coûteuse et elles exigent un haut niveau de compétence.

Méthodologies émergentes

Tandis que ces remarques pourraient s'appliquer aux approches standards, il est aussi possible d'appliquer des versions simplifiées à la méthodologie du microhabitat. Cela est démontré à partir de l'expérience acquise dans le Rhône et dans plus de 100 autres courants, à l'initiative de Lamouroux et ses coauteurs (Lamouroux et Capra, 2002; Lamouroux et Souchon, 2002).

Le principe de la simplification est basé sur la relation entre la géométrie hydraulique d'un courant ou d'un segment de fleuve et la distribution statistique des paramètres d'habitat tels que la vitesse et la profondeur. Ces propriétés expliquent des liens très prometteurs entre des indicateurs d'hydraulique tels que les nombres dimensionnels de Froude ou Reynolds et les caractéristiques écologiques des assemblages de poissons.

Une autre perspective intéressante est l'utilisation de traits écologiques du biote. Cette approche permet des simulations dans des situations où les préférences individuelles d'habitat pour des espèces ne sont pas encore décrites. Cela améliore la transférabilité des modèles à un grand nombre de types de courants et de fleuves. D'autre part, le raffinement dans les approches des deux autres familles de méthodes d'estimation de débit (méthodes hydrologique et hydraulique) a pu servir de complément pour peaufiner la définition du débit écologique. Par exemple il peut y avoir des améliorations en termes de régime saisonnier ou d'évènements hydrauliques nécessaires (à savoir, des débits abondants pour maintenir l'habitat salubre, ou pour éliminer les fins sédiments qui obstruent le substrat).

Une autre série de nouveaux défis se rapporte à l'extension de la résolution biologique de la modélisation du microhabitat, comme le biote de biofilm, les macrophytes et les macroinvertébrés. Dans tous les cas, le progrès exige suffisamment de données de bonne qualité. En particulier, il est essentiel de construire des séries à long terme afin de déterminer l'influence d'un débit altéré parmi les différents autres signaux potentiellement responsables de la dynamique du biote. L'avenir nous dira si la forte tendance à la réhabilitation des fleuves, traduite dans le cas présent par la modification des débits minimums, signale le début d'un mouvement vers la durabilité, ou simplement une correction thérapeutique d'un système considérablement modifié.

Références

- Bovee, K. D. (1982). Un guide pour l'analyse de l'habitat des courants utilisant la Méthodologie des Accroissements du Débit Résiduel. Fort Collins, Colorado, U.S.D.S. Service des Poissons et de la Sauvagine, Bureau des Services Biologiques: 248 p.
- Lamouroux, N. (1997). Hydraulique statistique et prédiction de caractéristiques du peuplement piscicole : modèles pour l'écosystème fluvial. Lyon, Thèse Université C. Bernard Lyon I: 50 p.
- Lamouroux, N. et H. Capra (2002). "Simples prédictions des résultats sur les modèles d'habitat des débits résiduels pour les populations de poissons cibles" Biologie d'eau douce **47**(8): 1543-1556.
- Lamouroux, N. et Y. Souchon (2002). "Simples prédictions des résultats sur les modèles d'habitat des débits résiduels pour les groupements d'habitats de poissons dans les grands courants." Biologie d'eau douce **47**(8): 1531-1542.
- Lamouroux, N., H. Capra, Pouilly, M., Souchon, Y. (1999a). "Les préférences des habitats de poissons dans les grands courants du sud de la France." Biologie d'eau douce **42**(4): 673-687.
- Lamouroux, N., J. M. Olivier, Persat, H., Pouilly, M., Souchon, Y., Statzner, B. (1999b). "La prédiction de caractéristiques de communautés d'espèces à partir des conditions d'habitat: poissons fluviaux et hydraulique." Biologie d'eau douce **42**: 275-299.
- Lamouroux, N., E. Doutriaux, Terrier, C., Zylberblat, M. (1999c). "Modélisation des impacts de la gestion des débits réservés du Rhône sur les peuplements piscicoles." Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture **352**: 45-61.
- Mathur, D., W. H. Bason, Purdy, E.J., Silver, C.A. (1985). "Une critique de la Méthodologie des Accroissements du Débit Résiduel" Journal canadien de la Pêche et des Sciences Aquatiques **42**: 825-831.
- Pouilly, M. (1994). Relations entre l'habitat physique et les poissons des zones à cyprinidés rhéophiles dans trois cours d'eau du bassin rhodanien : vers une simulation de la capacité d'accueil pour les peuplements. Lyon, Thèse Université C. Bernard Lyon I: 256 p.
- Pouilly, M., Y. Souchon, Le Coarer, Y., Jouve, D. (1996). Méthodologie pour une estimation de l'habitat des assemblages de poissons dans les grands fleuves. Application à la Garonne (France). Deuxième Symposium IAHR sur les Habitats, l'Hydraulique et l'Écohydraulique 2000, juin 1996, Volume B, Modélisation de l'habitat, Québec, INRS-Eau.
- Souchon, Y. et F. Trocherie (1990). Aspects techniques de la législation française relatifs à la pêche en eau douce (juin 1984): "schémas d'orientation de la pêche" et "plans de gestion des ressources de la pêche". Gestion de la Pêche en Eau douce. W. L. T. Van Densen, B. Steimetz et R. H. Hughes. Göteborg, Suède, Wageningen, FAO. **1**: 190-214.
- Stalnaker, C. B., R. T. Milhous, Bovee, K.D. (1989). "Hydrologie et hydraulique appliquées à la gestion de la pêche dans les grands fleuves." Publication Canadienne Spéciale de la Pêche et des Sciences Aquatiques **106**: 13-30.
- Tharme, R. E. (2003). Une perspective globale de l'estimation des débits écologiques: tendances émergentes dans le développement et l'application des méthodologies de débits écologiques pour les fleuves. Applications de la recherche sur les fleuves **19**: 397-441.
- Zylberblat, M. (1991). Le Rhône, un Equilibre à retrouver - Schéma de vocation piscicole du fleuve Rhône , Ministère de l'environnement, Délégation de bassin RMC, Service de la Navigation Rhône-Saône, juillet 1991, Rapport de synthèse, 7 vol. + annexes.

Sites web

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse <http://www.eaurmc.fr/>

Compagnie Nationale du Rhône (CNR) <http://www.cnr.tm.fr/fr/cnr/actu.htm>

Ministère de l'Écologie et du Développement Durable <http://www.environnement.gouv.fr/>

Contrôle scientifique de la réhabilitation du Rhône (en français)
<http://www.graie.org/zabr/sites/site5.htm>

Les références de Lamouroux, Souchon sont disponibles en format pdf @
<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/publications.html>