



Etude thermique du Rhône - Phase 4 - Lot 1

Evolution de la distribution spatio-temporelle de macrophytes, macro-invertébrés benthiques et poissons autochtones et allochtones de l'axe fluvial rhodanien

novembre 2012

Georges CARREL ⁽³⁾, Céline JEZEQUEL ⁽¹⁾, Jean-François FRUGET ⁽¹⁾
et Jean-Michel OLIVIER ⁽²⁾

(1) ARALEP, Domaine Scientifique de la Doua, Bât. CEI-66, Bd Niels Bohr, BP 2132, 69603 VILLEURBANNE Cedex

(2) CNRS, UMR 5023, LEHNA, Université Lyon I, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 VILLEURBANNE Cedex

(3) IRSTEA (Cemagref), UR Hydrobiologie, 3275 route de Cézanne, CS 40061, 13182 AIX-EN-PROVENCE Cedex 5



Etude thermique du Rhône - Phase 4 - Lot 1

Evolution de la distribution spatio-temporelle de macrophytes, macro-invertébrés benthiques et poissons autochtones et allochtones de l'axe fluvial rhodanien

1. Introduction	7
2. Les espèces et leur statut	8
2.1. Invasion biologique	8
2.2. Espèce invasive	8
2.3. Espèce autochtone ou allochtone	9
2.4. La connectivité fluviale	9
3. La structuration temporelle	12
3.1. La période initiale : de la transition néolithique-Bronze ancien (2300 av. J.-C.) au début du XIXème siècle (1800)	12
3.2. La seconde période : XIXième siècle	12
3.3. La troisième période (1900 - 1948)	13
3.4. La quatrième période (1949 - 1977)	13
3.5. La cinquième période (1978 - 1987)	14
3.6. La sixième période (1988 - 2003)	14
3.7. La septième période (2004 - actuel)	15
4. La structuration spatiale	15
4.1. Le Rhône	16
4.2. Les grands affluents	16
5. La représentativité d'une espèce	20
6. Constitution d'une base commune	22
6.1. Choix des espèces étudiées	22
6.2. Origine des données disponibles	24
6.3. Création de la base de données et du Système d'Information Géographique	26
6.4. Création des cartes	28
6.5. Mise à disposition des informations recueillies	28
7. Résultats	34
7.1. Les macrophytes	34
7.1.1. Les milieux annexes	34
7.1.2. Le cours principal	34
7.1.3. Quelques exemples	35
7.2. Les macro-invertébrés benthiques	40
7.2.1. Le Rhône suisse	40
7.2.2. Le Haut-Rhône	40
7.2.3. Le Bas-Rhône	44
7.2.4. Le delta du Rhône	47
7.2.5. Quelques exemples	47
7.2.6. Nouveaux invertébrés potentiels	54
7.3. Les poissons du Rhône	55
7.3.1. Des particularités rhodaniennes	55
7.3.2. Les grandes régions ichtyogéographiques	56
7.3.3. Les espèces allochtones	56
7.3.4. Les poissons du Haut-Rhône suisse	57

7.3.5. Les poissons du lac Léman.....	58
7.3.6. Les poissons du Haut-Rhône, de Genève à Lyon	58
7.3.7. Les poissons du Bas-Rhône	60
7.3.8. Les poissons du Bas-Rhône inférieur et du delta	61
7.3.9. L'espèce endémique du Rhône : l'apron	61
7.3.10. Les poissons migrateurs du Rhône	62
7.3.11. Quelques exemples	63
8. Conclusion	67
9. Bibliographie	68
9.1. Bibliographie relative à la végétation	68
9.2. Bibliographie relative à la macrofaune benthique.....	68
9.3. Bibliographie des autres sections	69

Table des illustrations

Figure 1 - Positionnement des obstacles sur le cours principal du fleuve (extrait de la base ROE de l'ONEMA)	11
Figure 2 - Présentation des entités géographiques définies sur l'axe longitudinal du fleuve et sur la section aval des plus grands affluents du Rhône	19
Figure 3 - Tables composant la base de données et leurs relations	27
Figure 4 - Exemple d'une carte de répartition : l'Alose du Rhône	29
Figure 5 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Page d'accueil et accès aux quatre rubriques	30
Figure 6 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Exemple de fiche pour le mollusque <i>Acroloxus lacustris</i>	31
Figure 7 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Extrait de la liste des poissons étudiés.	32
Figure 8 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Extrait d'une référence bibliographique	33
Figure 9 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces autochtones "envahissantes"	37
Figure 10 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces allochtones "invasives"	38
Figure 11 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces allochtones cosmopolites et "intégrées".	39
Figure 12 - Evolution du nombre de taxons de Trichoptères et d'Ephémé-roptères dans le Rhône à Lyon, avant (1959) et après (1982) la mise en service du barrage de Pierre-Bénite en 1966. Adultes capturés par piégeage lumineux. D'après Usseglio-Polatera (1985).	41
Figure 13 - Facteurs confondants projetés sur le plan factoriel de l'analyse faunistique	46
Figure 14 - Trois exemples d'invasion progressive : un mollusque bivalve, la corbicule asiatique (<i>Corbicula fluminea</i>), un gastéropode, l'hydrobie des antipodes (<i>Potamopyrgus antipodarum</i>) et un polychète d'origine Ponto-Caspienne (<i>Hypania invalida</i>).	49
Figure 15 - Distribution spatio-temporelle de trois crustacés Gammaridés invasifs. ..	50
Figure 16 - Distribution spatio-temporelle de deux bivalves allochtones invasifs: la moule zébrée et la corbicule.	51
Figure 17 - Distribution spatio-temporelle des espèces invasives et espèces natives et/ou intégrées	52
Figure 18 - Espèces potamiques de milieu lotique ayant fortement régressé suite à l'aménagement du fleuve : le mollusque <i>Theodoxus fluviatilis</i> , l'éphémère <i>Baetis rhodani</i> et le trichoptère <i>Hydropsyche modesta</i>	53
Figure 19 - Deux espèces allochtones d'introduction ancienne, totalement acclimatées parmi la faune locale : la grémille (Percidae, <i>Gymnocephalus cernuus</i>) et de la perche-soleil (Centrarchidae, <i>Lepomis gibbosus</i>).	64
Figure 20 - Evolution spatio-temporelle de la répartition d'une espèce invasive ancienne (le poisson-chat, Ictaluridae, <i>Ameiurus melas</i>) vs une espèce invasive récente (le silure glane, Siluridae, <i>Silurus glanis</i>).	65
Figure 21 - Répartition de deux cyprinidés invasifs, d'introduction récente: le pseudorasbora (<i>Pseudorasbora parva</i>) et le carassin argenté (<i>Carassius gibelio</i>).	66

Liste des tableaux

Tableau I - Caractéristiques des ouvrages hydro-électriques rhodaniens.....	18
Tableau II - Liste et codage des espèces végétales renseignées. En rouge, les espèces allochtones.....	22
Tableau III - Liste et codage des macroinvertébrés renseignés. En rouge, les espèces allochtones.....	23
Tableau IV - Liste et codage des poissons renseignés. En rouge, les espèces allochtones.....	23
Tableau V - Nombre de sources documentaires analysées par tronçon et par tranche temporelle pour les macrophytes, les macro-invertébrés et les poissons (sans distinction des sources).	25
Tableau VI - Les espèces piscicoles allochtones du Rhône, de sa source au delta. .	57

1. Introduction

Les conclusions de l'étude thermique Phase 3 ont montré l'importance de la structuration spatiale des peuplements aquatiques de l'axe rhodanien sous l'influence des facteurs hydrologique et thermique, ainsi qu'une évolution temporelle marquée par la colonisation progressive des milieux par des espèces exogènes. Lors des discussions initiales sur le contenu du projet de recherche Rhône Phase 4 (étude thermique du Rhône), eDF a souhaité un bilan cartographique de l'évolution de la distribution spatiale des espèces descriptives des changements consécutifs à l'augmentation des pressions anthropiques. Cette approche historique est essentiellement qualitative. Elle a été réalisée à partir d'une prospection des informations disponibles et accessibles, et d'une analyse des données collectées sur le long terme. Elle met l'accent sur la colonisation progressive par des espèces allochtones.

Les travaux les plus récents utilisant de longues chroniques de relevés ont montré la part croissante des espèces allochtones et euryèces dans les changements structurels des peuplements aquatiques sous l'impulsion du changement climatique (DAUFRESNE et al., 2007; DESSAIX & FRUGET, 2008), et la régression des espèces d'eau froide au profit des espèces thermophiles (DAUFRESNE et al., 2003). Par ailleurs, ces espèces nouvelles deviennent parfois invasives par une colonisation rapide et un développement exceptionnel de leurs populations. Indépendamment des changements écologiques associés à leur abondance, elles peuvent également occasionner des nuisances vis-à-vis des activités humaines, et imposer entre autres des contraintes de gestion de la ressource auxquelles les industriels sont particulièrement sensibles (JENNER et al., 1998).

Bien que les préoccupations associées aux introductions d'espèces dans les milieux aquatiques continentaux ne soient pas récentes¹, le regain d'intérêt pour la biodiversité et la conservation des espèces, l'accélération de la colonisation par de nouvelles espèces associée aux changements globaux, et les préoccupations des gestionnaires, ont suscité cette étude consacrée à l'évolution de la distribution spatiale et temporelle d'un certain nombre d'espèces aquatiques, végétales et animales, observées sur l'axe rhodanien.

L'objectif de ce travail est avant tout d'élaborer une synthèse sur la distribution spatiale des macrophytes, des macroinvertébrés et des poissons les plus représentatifs des changements floristiques et faunistiques consécutifs aux activités humaines.

La méthodologie repose 1) sur un inventaire des données disponibles et sur la constitution d'une base de données, 2) un découpage temporel en épisodes circonscrits par les grandes étapes d'aménagement du Rhône et les récents programmes d'inventaire faunistique, 3) un découpage spatial du linéaire du Rhône.

Le jeu de données compilées dans cette étude n'est évidemment pas exhaustif et résulte d'un travail de synthèse néanmoins conséquent. Il pourra être complété par la suite si nécessaire. Les données ont été exprimées sur des critères synthétiques d'abondance, définis en fonction de la précision des données utilisables. L'analyse de l'histoire récente du fleuve a conduit à un découpage en sept périodes allant de 2300 ans av. J-C à nos jours. Le découpage géographique du Rhône a été établi en fonction des particularités hydromorphologiques naturelles du fleuve, principalement délimitées par les grands affluents et a conduit à l'identification de dix entités géographiques distinctes. Les sections aval des grands affluents (Ain, Saône, Isère, Ardèche, Durance) ont également été prises en considération.

¹ voir le numéro 344-345 paru en 1997 du Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture consacré à ce sujet, faisant la synthèse d'un séminaire tenu à Paris les 13, 14 et 15 février 1996 (Séminaire Ministère de l'Environnement, GIP HydrOsystemes).

La constitution d'une base de données, couplée à un système d'informations géographiques, permet l'obtention de cartes synthétiques. Ce travail constitue un support de consultation qu'il sera possible de faire évoluer dans le temps en fonction des besoins. Ce rapport constitue le mémoire technique de l'atlas cartographique.

2. Les espèces et leur statut

Dans un important travail de synthèse sur les problèmes de l'invasion biologique au sein des peuplements de Vertébrés au cours de l'Holocène (entre 9200 ans BP. et 2002), PASCAL et al. (2003) ont précisé le statut des espèces et donné des définitions précises auxquelles nous nous référerons dans le cadre de cette étude.

L'usage des définitions empruntées à ces auteurs doit être complétée par des précisions sur les niveaux taxonomiques, temporels et spatiaux auxquels elles s'appliquent.

Les termes ont été définis dans les travaux de PASCAL et al. (2003) auxquels nous nous référerons. Des définitions sont également empruntées aux travaux de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*) et plus précisément du groupe de spécialistes des espèces invasives (ISSG, *Invasive Species Specialist Group*, <http://www.issg.org/>).

2.1. Invasion biologique

Selon PASCAL et al. (2003), *"Une invasion biologique est le fait d'une espèce qui a accru son aire de répartition initiale pendant une période de temps définie, en liaison ou non avec l'activité humaine, et constitue, dans la partie nouvelle de son aire de répartition, une ou des populations pérennes se reproduisant et se maintenant sur place sans d'obligatoires apports extérieurs."*

Ces auteurs donnent des informations complémentaires importantes vis-à-vis de cette définition. Ainsi, dans la notion d'invasion biologique sont incluses à la fois (1) **des espèces installées sans un quelconque lien avec les activités anthropiques**, et (2) **des espèces dont l'existence sur une entité géographique est indirectement ou directement liée aux activités humaines**.

Dans le premier cas, il s'agit d'une **invasion biologique spontanée**. Certaines invasions spontanées sont intervenues durant l'Holocène sous l'influence de facteurs climatiques (Holocène ancien, "Petit Âge Glaciaire"). A l'heure actuelle, l'invasion biologique spontanée pourrait également être une résultante des effets du réchauffement sur l'aire biogéographique de répartition des espèces.

Dans le second cas, l'invasion biologique a un lien indirect ou direct avec l'Homme. Pour les organismes aquatiques, la modification de la connectivité des écosystèmes fluviaux par l'ouverture de canaux entre des bassins versants naturellement isolés, est une voie indirecte de colonisation considérée alors comme une **invasion biologique subspontanée**.

Par contre, lorsque la colonisation résulte d'un transport de l'espèce par l'homme, il y a **introduction, accidentelle ou délibérée**.

2.2. Espèce invasive

En se référant aux travaux de l'IUCN, et plus précisément au groupe de spécialistes des espèces invasives, *une espèce invasive est une espèce introduite par l'homme en dehors de son aire naturelle de répartition, lieu où elle s'établit et se propage, ayant un impact sur l'écosystème local et les autres espèces. C'est un agent de perturbation ayant des effets négatifs pouvant être de diverses natures, de la nuisance pour les plantes et*

animaux autochtones à des modifications du fonctionnement écologique de l'écosystème, y compris l'introduction de maladies pour la flore, la faune et les humains.

Le qualificatif **invasif** est ainsi attribué par IUCN à des invasions biologiques d'origine anthropique.

PASCAL et al. (2003) suggèrent de parler "*de populations invasives et non d'espèces invasives dans la mesure où sous le terme d'espèce sont rassemblées toutes les populations y compris celles d'origine auxquelles ne peut s'appliquer le qualificatif*".

Ayant adopté un principe de précaution en "*ne prenant pas en compte le critère de nuisance avérée*" et en considérant que "*toute invasion biologique engendre des perturbations dont la gravité sera ou non perçue et appréciée*", le nombre des espèces à l'origine de populations invasives enregistrées par PASCAL et al. (2003) va au-delà de celui de l'IUCN. Ils ont également proposé de *ne pas utiliser comme synonymes les expressions "invasion biologique" et "espèce invasive"*.

L'usage de l'expression "**espèce invasive**" est alors strictement limité à une **espèce qui, s'étant établie dans une nouvelle aire géographique du fait de l'activité humaine, y est un agent de perturbation et nuit à la diversité biologique.**

2.3. Espèce autochtone ou allochtone

*"Une espèce est dite **autochtone** d'une entité biogéographique, si elle est réputée s'être reproduite au début de l'Holocène dans les milieux dulçaquicoles, saumâtres ou terrestres de ce territoire, qu'elle y soit actuellement présente, disparue ou de retour après une disparition temporaire."*

*"Une espèce est dite **allochtone** d'une entité biogéographique si, ne se reproduisant pas dans ses milieux dulçaquicoles, saumâtres ou terrestres au début de l'Holocène, elle y constitue actuellement ou y a constitué pendant plusieurs siècles avant de disparaître, une ou des populations s'y reproduisant de façon pérenne."*

PASCAL et al. recommandent d'utiliser systématiquement "*les termes autochtone et allochtone plutôt que ceux d'endogène, indigène, aborigène, spontané ou natif (anglicisme) d'une part, et ceux d'exogène, allogène, étranger ou exotique d'autre part.*"

2.4. La connectivité fluviale

Originellement, des barrières biogéographiques allant des cascades infranchissables aux grandes chaînes montagneuses et aux océans, ont naturellement limité les mouvements des organismes aquatiques et contribué au développement de faunes régionales uniques.

L'homme a créé une multitude de possibilités et de voies d'accès par lesquelles les espèces ont pu circonvenir ces barrières biogéographiques historiques. Elles relèvent des introductions autorisées ou non, de la construction de canaux et de réseaux complexes permettant des transferts d'eau, du transport par des eaux de ballast, par voie routière lors des opérations de réempoissonnement, de la circulation des bateaux de plaisance (KELLY et al., 2012), des activités de la pêche professionnelle et amateur, de la libération intentionnelle d'espèces ornementales et autres espèces captives.

Les conséquences sont multiples, depuis la dispersion d'espèces nocives qui ont altéré les écosystèmes aquatiques et les pêcheries jusqu'à l'homogénéisation progressive des biotopes aquatiques lorsque des espèces cosmopolites finissent par dominer les communautés au dépend des espèces natives (RAHEL, 2007).

Le bassin versant du Rhône ne fait pas exception à cette tendance inexorable affectant majoritairement les grands cours d'eau des pays industrialisés. Si la modification des peuplements par apparition de nouvelles espèces constitue l'essentiel du propos de ce travail, nous ne pouvons ignorer les conséquences des ruptures longitudinales et latérales de la connectivité au sein du bassin et de la plaine alluviale vis-à-vis des biotes autochtones (AARTS et al., 2004 ; ARGENT & KIMMEL, 2011 ; DEHAIS et al., 2010 ; JANSSON et al., 2007 ; LASSALLE et al., 2009 ; SCHIEMER, 2000 ; WARD & STANFORD, 1995 ; WEBER et al., 2007).

La connectivité entre le Rhône et d'autres bassins versants, proches ou éloignés, a été favorisée au fur et à mesure de l'ouverture de canaux mettant en communication des cours d'eau naturellement disjoints, ce dès le XVII^{ème} siècle.

La connexion entre le Rhône (via la Saône) et la Loire a été rendue possible par la construction du Canal du Centre en 1792, l'existence du Canal de Briare (1642) a également permis une connexion avec la Seine. Le canal du Centre a été modernisé une première fois en 1830 (mise au gabarit Becquey) et une deuxième fois en 1885 (mise au gabarit Freycinet). La connexion entre le Rhône et la Garonne date de 1811 (Canal du Rhône à Sète : de l'Etang de Thau à Beaucaire), la liaison entre la Garonne et l'Etang de Thau était déjà assurée par le Canal du Midi (1681). La première connexion Rhin-Rhône date de 1833 (premier canal ouvert entre la Saône et le Rhin, mis au gabarit Freycinet en 1879). L'ouverture du Canal Ludwig en 1845 (Rhin-Main-Danube) a permis la mise en connexion du bassin du Rhône et du bassin du Danube (le Canal Rhin-Main-Danube a été modifié en 1992 - grand gabarit). La Saône a été mise en connexion avec la Marne, la Meuse et la Moselle par la création du Canal de l'Est en 1890 (confondu avec le canal de la Marne au Rhin (1853) sur une partie), permettant la connexion du Rhône avec la Meuse et la Moselle, cette dernière étant déjà possible via le Rhin en 1833. Le Canal du Nord (Seine-Escaut) ouvert en 1965 a mis en connexion le Rhône et l'Escaut.

Alors que le réseau « s'agrandit » par la connection avec d'autres bassins versants, les grands cours d'eau dont le Rhône (Tableau I) sont de plus en plus corsetés par les endiguements et les aménagements.

L'inventaire contemporain des obstacles existants sur le réseau est centralisé dans la base ROE (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement sur les cours d'eau) de l'ONEMA (Figure 1). Parmi les informations disponibles, il est possible de connaître les types d'aménagements (ponts, barrages, seuils, épis, digues, grilles), les usages (AEP, stabilisation du profil, loisirs nautiques, irrigation, sécurité des biens et des personnes, etc), et la présence ou non d'une passe à poissons.

Mais cette base nécessiterait une étude particulière avec la mise en place de requêtes précises et dépassant pour l'instant le cadre actuel de cette étude.



Figure 1 - Positionnement des obstacles sur le cours principal du fleuve (extrait de la base ROE de l'ONEMA)

3. La structuration temporelle

Les travaux de PASCAL et al. (2003) sur la reconstitution historique de la faune des Vertébrés et la part des invasions biologiques dans la composition faunistique actuelle ont découpé une longue chronique en 7 périodes, fixant leur base temporelle initiale au cours de l'Holocène aux environs de 9200 ans av. J.-C., et 3000 ans av. J.-C. pour les poissons. **Ces dates conventionnelles ont été retenues pour juger du caractère autochtone des espèces.** Le découpage temporel proposé est fortement associé aux grandes étapes de la colonisation humaine et de l'accélération de l'anthropisation des écosystèmes.

Dans le cadre de ce travail, le découpage temporel ne remonte pas aussi loin dans le temps. Ce découpage est également fortement empreint par des contraintes anthropiques croissantes, essentiellement définies par l'histoire récente du fleuve. Par ailleurs, les connaissances actuellement disponibles sur la distribution des espèces aquatiques dans le bassin versant du Rhône limitent cette vision rétrospective.

Un découpage en sept périodes de durées très inégales est proposé, tenant compte de la rapide évolution des pressions anthropiques sur les systèmes étudiés, et sur leur bassin versant.

3.1. La période initiale : de la transition néolithique-Bronze ancien (2300 av. J.-C.) au début du XIX^{ème} siècle (1800).

Bien que les impacts de la colonisation périfluviale soient déjà non négligeables dès 2500 ans av. J.-C. (BERGER et al., 2009), les conséquences des fluctuations hydroclimatiques sur la mouvance fluviale restent suffisamment incontrôlables pour limiter l'installation et les activités humaines. Malgré des efforts conséquents des riverains pour se protéger des crues et d'un tressage actif et dévastateur, l'endiguement reste encore sommaire.

Si l'altération physique par de grands travaux entrepris sur ces grands cours d'eau reste limitée jusqu'au début du XIX^{ème} siècle, cela n'exclut pas les effets indirects sur l'hydrologie et le transport sédimentaire des nombreux ouvrages de petites dimensions existant sur le réseau supérieur des bassins versants de moindre taille², ainsi qu'une pollution organique et industrielle totalement incontrôlée.

3.2. La seconde période : XIX^{ème} siècle.

Au cours de ce siècle, des travaux conséquents ont été réalisés pour endiguer le fleuve en vue d'une protection des riverains et une amélioration de la navigation fluviale. A la fin du XIX^{ème} siècle, la première phase de transformation physique à large échelle du milieu fluvial est réalisée (BRAVARD, 2010).

Ce siècle est marqué à la fois

1) par des crues successives et catastrophiques (1840, 1856) qui conduiront les autorités politiques et les services de l'Etat dans un engagement financier important, la réalisation de grands travaux de génie civil, ainsi que la promulgation de la loi du 28 mai 1858 pour la protection des villes (COEUR & DJERBOUA, 2007),

2) par un accroissement de la navigation fluviale avec la mise en service de bateau à vapeur (BREITTMAYER, 1904),

3) par la construction de canaux permettant des jonctions entre de grands bassins fluviaux (canaux du Rhône au Rhin en 1833, du Danube au Rhin en 1846),

² Bien que la référence soit plus tardive, un travail réalisé par M. Gros sur l'Azergues (affluent rive droite de la Saône) en 1853, cite la présence de 45 usines hydrauliques (essentiellement des moulins) sur un linéaire de 60 km cumulant 182 mètres de chute.

4) par les travaux successifs des ingénieurs Kleitz et Tavernier, O'Brien et finalement Girardon afin de contraindre les eaux dans le chenal principal pour les besoins de la navigation (BRAVARD et al., 2008),

5) par la réalisation de la première correction du Rhône valaisan³ (de 1860 à 1890)

6) par la mise en service de deux ouvrages hydro-électriques conséquents sur le Rhône à Genève⁴ en 1886 et à Lyon⁵ en 1899.

7) par la réalisation de nombreux ouvrages hydro-électriques sur les affluents (Ain, Isère, Durance), l'amélioration de la navigation sur la Saône par la création de biefs, l'endiguement généralisé des cours d'eau alluviaux alpins à fort transport solide (bassins versants de l'Isère et de la Durance) et le reboisement des massifs alpins (WILHELM, 1913).

3.3. La troisième période (1900 - 1948).

Au cours de cette période d'un demi-siècle, l'élan industriel de la fin du XXIème siècle est interrompu par les deux conflits mondiaux et de nombreux projets ne verront leur achèvement ou leur réalisation qu'après guerre.

Parmi les points importants de cette période, la concrétisation d'un projet de longue haleine et l'Assemblée constitutive de la Compagnie Nationale du Rhône le 27 mai 1933, en exécution d'une loi datée du 27 mai 1921. La création de la CNR lance les vastes projets de l'aménagement du Rhône devant satisfaire la simultanéité d'un *"triple point de vue"*: navigation, hydro-électricité et irrigation (ALLIX, 1933).

Deux ouvrages sont mis en service sur le Rhône suisse en aval de Genève (Chancy-Pougny – 1925, et Verbois - 1943).

Des barrages hydro-électriques infranchissables sont également réalisés sur les affluents, notamment Beaumont-montoux (1921) et Pizançon (1931) sur l'Isère (SORNAY, 1933-1934), Cize-Bolozon sur l'Ain (1931).

La fin de cette période est donnée par la mise en service en 1948 du barrage de Génissiat sur le Haut-Rhône, implanté sur le site de la perte du Rhône.

3.4. La quatrième période (1949 - 1977)

Au cours de cette période, seul l'ouvrage de compensation de Seyssel a été mis en service sur le Haut-Rhône (1951), par contre tous les ouvrages hydro-électriques programmés sur le Bas-Rhône ont été réalisés et mis en service, hormis celui de Vaugris.

La deuxième correction du Rhône valaisan est terminée (entre 1930 et 1960).

De grands barrages-réservoirs ont été construits et mis en service sur les grands affluents, parmi lesquels celui de Serre-Ponçon (1960) accompagné par la construction de la chaîne d'ouvrages aval sur la Durance qui instaure un régime de débits réservés sur un linéaire important, le barrage de Vouglans (1968) sur l'Ain qui définit le régime des éclusées sur ce cours d'eau.

³ voir le site Web du Canton de Vaud (<http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/eau/rivieres/rhone-r3>).

⁴ à savoir les installations des Usines des Forces Motrices (Pont de la Machine et de la Coulouvrenière) en 1886 (site du patrimoine de la ville de Genève, <http://www.ge.ch/patrimoine>).

⁵ l'aménagement de Cusset, situé en amont de Lyon, a été réalisé entre 1894 et 1899 par la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône. Cet aménagement est important par sa dimension et ses emprises puisqu'il comprend le canal de dérivation (canal de Jonage), l'usine-barrage de Cusset, les barrages de Jonage et de Jons et le réservoir du Grand Large (voir site de la Maison du Fleuve à Givors, <http://www.maisondufleuverhone.org>).

Les activités nucléaires débutent en 1952 sur l'axe rhodanien (Marcoule), la construction de la plupart des tranches électro-nucléaires du Rhône sont déjà lancées avant 1978. Seule la tranche 1 de la centrale de Bugey sur le Haut-Rhône est en service.

Aux impacts de la modification hydromorphologique du fleuve s'ajoutent désormais ceux liés aux rejets thermiques. Bien que les services techniques d'Electricité de France aient assuré des études thermiques lors de la mise en place des sites industriels, un large réseau de surveillance de la température du fleuve et de ses grands affluents est mis en place suite aux températures élevées de l'été 1976.

En termes de politique environnementale, les années 1970 sont marquées par la création du Ministère de l'Environnement en 1971, l'élaboration de textes fondamentaux dont la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et celle du 19 juillet 1976 relative aux installations classées, et notamment l'institution d'une procédure d'étude d'impact.

Globalement, l'acquisition à large échelle de connaissances fondamentales et appliquées en écologie fluviale démarre en 1974 sur des secteurs encore peu modifiés ou déjà fortement anthropisés. Une part non négligeable des connaissances acquises relève des études d'impacts des ouvrages hydro-électriques du Haut-Rhône (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon, Sault-Brénaz) et des suivis hydrobiologiques au droit des centrales thermiques de la vallée du Rhône (Bugey, Tricastin, Cruas-Meysses, Saint-Alban – Saint-Maurice-l'Exil, Aramon).

3.5. La cinquième période (1978 - 1987)

Cette période est caractérisée par la mise en service de tous les ouvrages hydro-électriques sur le Haut-Rhône et des Centres Nucléaires de Production Electrique (CNPE) sur le Bas-Rhône.

La période est marquée par des températures plutôt fraîches des eaux fluviales et contraste singulièrement avec la suivante (POIREL et al., 2008).

3.6. La sixième période (1988 - 2003)

Alors que la décennie précédente est plutôt froide, la température est en hausse sensible et atteint des maxima lors de la canicule 2003.

Les efforts consentis par les collectivités locales et l'Agence de l'Eau, les recommandations de la CIPEL (Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman) relatives à la qualité des eaux sur le bassin versant lémanique, portent leurs fruits et une amélioration de la qualité de l'eau, au moins en termes de pollution classique, est enregistrée. La modification de la législation sur les agents phosphatés dans les lessives et l'arrêt d'un important rejet industriel phosphaté sur le Bas-Rhône en 1992 (POUSSARD & MADRID, 1999) permet une baisse sensible des phosphates sur l'axe fluvial.

Cette période a également été marquée par une succession de grandes crues dont les effets sur le milieu physique et les écosystèmes aquatiques ont été sensibles (CATTANEO et al., 2001; PONT et al., 2002; SALÉN-PICARD et al., 2003; EYROLLE et al., 2006; DAUFRESNE et al., 2007). Les effets socio-économiques désastreux de ces événements (PICON & ALARD, 2007) ont également initié de grands programmes de lutte contre les inondations (JORDAN, 2007).

Cette période voit le lancement du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. La première hausse des débits réservés sur un Rhône court-circuité est effective en août 2000 sur l'aménagement de Pierre-Bénite. Les effets positifs de cette réhabilitation sur la faune piscicole sont rapides (LAMOUROUX et al., 2006).

3.7. La septième période (2004 - actuel)

Cette période reste dans la tendance à la hausse des températures, exacerbée en 2003, et toutes les années hormis 2008 comptent parmi les années les plus chaudes depuis 1850 (voir site <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>).

Le brusque changement consécutif à la canicule 2003, les évolutions faunistiques liées à l'arrivée de nouvelles espèces allochtones (FRUGET & BADY, 2006; DAUFRESNE et al., 2007) et leur prolifération se poursuivent.

La politique de restauration hydraulique et écologique du Rhône se poursuit et la modification des débits réservés dans les sections court-circuitées du Haut-Rhône a été réalisée en Chautagne (2004), Belley (2005) et Brégnier-Cordon (2006).

La mise en place de suivis écologiques de la réhabilitation a intensifié la connaissance biologique du fleuve et plus particulièrement de ces sections fluviales. Il en va de même pour le Rhône valaisan dans le cadre des études environnementales engagées dans le cadre de la Troisième Correction du Rhône (REY et al., 2008).

L'amélioration de la qualité des eaux du Léman s'est traduite par des changements substantiels au sein des peuplements piscicoles lacustres, marqués notamment par le retour de la dominance des corégones (CIPEL, 2010).

4. La structuration spatiale

Sachant que la répartition des organismes aquatiques progresse en fonction de la connectivité au sein du maillage hydrographique, interrompue seulement par des obstacles infranchissables interdisant la propagation naturelle de l'espèce depuis l'aval, l'entité biogéographique de base pour la plupart des espèces est constituée par le bassin versant du cours d'eau considéré.

A l'échelle du bassin versant du Rhône (98 500 km²), du fait de la taille et de la densité du réseau hydrographique, du rôle déterminant de facteurs altitudinaux mais également latitudinaux (CHANGEUX, 1995; CHANGEUX & PONT, 1995a), auxquels s'ajoutent les changements hydrologiques majeurs apportés par les grands bassins hydrographiques, il était indispensable de définir plusieurs entités longitudinales, susceptibles d'abriter un fond floristique et faunistique homogène au cours d'une période temporelle donnée.

Le linéaire concerné par ce travail reste limité puisqu'il ne concerne que le drain principal : le Rhône (812 km), accompagné des sections aval des 5 plus grands affluents : l'Ain (3713 km²), la Saône (29 498 km²), l'Isère (11 865 km²), l'Ardèche (2430 km²) et la Durance (14 322 km²).

Nous avons considéré que la diversité écologique et la répartition biogéographique ancestrale des espèces sur l'axe rhodanien s'est constituée dans une arborescence sans discontinuité physique majeure, hormis les singularités créées par la grande cuvette lacustre lémanique puis la brusque rupture de pente du Rhône située à environ 40 km en aval du lac Léman.

Nous avons défini 9 tronçons fluviaux en fonction du contexte topographique et hydrographique, ainsi qu'une entité lacustre constituée par le lac Léman (Figure 2).

Dans ce découpage, nous n'avons pas pris en compte l'existence future des grands aménagements hydrauliques dont les plus importants seront implantés au regard des

apports des grands affluents et de la topographie fluviale. Comme la plupart des grands fleuves régulés, le Rhône a subi un très fort fractionnement longitudinal du fait de la construction de 24 aménagements hydroélectriques, dont 22 en aval du lac Léman (19 sur le cours français). Ces interruptions répétées de la continuité longitudinale ont un impact considérable sur la structuration des populations et altèrent considérablement les possibilités de migration des poissons (Tableau I).

4.1. Le Rhône

Les entités géographiques du Rhône ont des caractéristiques physiques et hydrologiques contrastées liées à la présence de la cuvette lémanique, à l'augmentation des flux hydriques par des affluents aux régimes hydrologiques distincts, et des changements de pente locale marqués :

- 1) le Rhône valaisan du glacier du Rhône jusqu'à son arrivée dans le lac Léman,
- 2) le lac Léman,
- 3) de l'exutoire du lac à Genève jusqu'au début de la rupture de pente de la perte du Rhône (PK - 173.5),
- 4) de la perte du Rhône à la confluence de l'Ain (PK - 34.0)
- 5) de la confluence de l'Ain à celle de la Saône (PK 0.0)
- 6) de la confluence de la Saône à celle de l'Isère (PK + 102.0)
- 7) de la confluence de l'Isère à celle de l'Ardèche (PK + 192.5)
- 8) de la confluence de l'Ardèche à celle de la Durance (PK + 248.0)
- 9) de la confluence de la Durance à la défluence entre le Grand Rhône et le Petit Rhône (PK + 279.0) en amont de la ville d'Arles,
- 10) le delta du Rhône, de la défluence à la Méditerranée (PK + 330.0).

4.2. Les grands affluents

La section aval de chaque grand affluent a été définie depuis la confluence d'un cours d'eau significatif sur cet affluent jusqu'à sa confluence avec le Rhône.

Pour l'**Ain**, la section débute à la confluence du Suran (altitude 234.2 m) située à 39 km de la confluence avec le Rhône (altitude 186 m). La pente moyenne du tronçon est de 1.236 m/km (d'après un profil en long daté de 1920, Service des Grandes Forces Hydrauliques, site IGN).

Pour la **Saône**, la section est longue puisqu'elle prend en compte la totalité de la Grande Saône définie à partir de la confluence du Doubs et située au PK 166.5 (altitude 172 m, relevé daté du 30 septembre 1930, profil SGFH). La confluence de la Saône et du Rhône à Lyon est à une altitude de 161 m. La pente moyenne de ce tronçon est de 0.066 m/km. Il peut paraître surprenant de considérer une section fluviale aussi longue. Ce choix a été fait sur la base des travaux du Schéma de Vocation Piscicole de la Saône (ZYLBERBLAT et al., 1994) donnant à la fois une subdivision par entités géographiques (page 11) et une justification faunistique [page 87, "*L'analyse statistique des résultats de pêche électrique permet de distinguer deux ensembles : la Saône amont (secteurs d'Auxonne et d'Allériot) au nord de Châlon, et la Saône aval (secteurs d'Ouroux, de Thoissey et de Trévoux). De façon générale, la plupart des espèces rencontrées en Saône sont présentes tout le long du cours : seule varie de fait l'importance relative de chacune. Ceci apparaît d'ailleurs logique puisqu'aucune division morphodynamique majeure de la rivière n'est à noter sur notre espace d'étude.*"].

Pour la **Durance**, la section correspond à la Basse Durance. Elle débute à 96 km du Rhône, à la confluence du Verdon (altitude 254 m), le dernier grand affluent de la Durance situé en amont immédiat du défilé Mirabeau. En eaux moyennes, l'altitude de la Durance à Avignon est de 11.8 m, d'après le profil en long du Service des Grandes Forces Hydrauliques daté de 1896. La pente moyenne du tronçon est de 2.52 m/km. Le tronçon est

également long mais (1) il n'y a plus d'affluent significatif en termes de débit après le Verdon, (2) le caractère méditerranéen de la Durance est réellement affirmé après le défilé Mirabeau (SDAGE RMC, 1996).

Pour l'**Ardèche**, la section débute à la confluence du Chassezac (altitude 95.9 m) située à 48.45 km du Rhône, d'après un profil en long SGFH et des relevés datés du 3 octobre 1922. L'altitude de la confluence Rhône-Ardèche est de 40 m d'après un relevé daté du 21 août 1921. La pente moyenne de ce tronçon est de 1.154 m/km.

Pour l'**Isère**, la section débute à la confluence de la Bourne (altitude 151.7 m) située à 41.9 km de la confluence Isère-Rhône (Altitude 107.4 m). La pente moyenne du tronçon est de 1.057 m/km (données d'après un profil en long SGFH daté de 1917).

Tableau I - Caractéristiques des ouvrages hydro-électriques rhodaniens

Site	Date	Hauteur de chute (m)	Longueur de la retenue (km)	Débit turbiné maximum (m3/s)	Capacité de production maximale (MW)	Production moyenne annuelle (Gwh/a)	Longueur de la section court-circuitée (km)	Débit réservé (m3/s)	Écluse
Chippis	1911	88	-	65	41	245			Non
Lavey	1950	34-42	-	220	69	400			Non
Seujet	1995	3	-	550	6	20			Oui
Verbois	1943	34	11,4	530	100	466			Non
Chancy-Pougny	1925	10,7	9	520	38	210			Non
Génissiat	1948	67	23	750	420	1700			Non
Seyssel	1951	8,5	5	600	42	165			Non
Chautagne	1980	15	5	700	90	454	8,9	70 (05-08) / 50 (09-04)	Oui
Belley	1982	17	5	700	90	449	17,2	60 (09-02) / 85 (03,05) / 90 (04) / 80 (06-08)	Oui
Brégnier-Cordon	1984	13,7	12	700	70	324	11,4	80 (11-03) / 100 (04-06,09-10) / 150 (06-08)	Non
Sault-Brénaz	1986	9,7	28	700	45	245	1,8	20 (09-06) / 60 (06-09)	Non
Cusset	1899	12,2	19	600	63	410	18	30-60	Non
Pierre-Bénite	1966	8	11,2	1380	80	535	9,8	100*	Oui
Vaugris	1980	6,7	19,5	1360	72	335	-		Oui
Péage-de-Roussillon	1977	12,2	15,7	1600	168	850	12	10 (09-03) / 20 (04-08)	Oui
Saint-Vallier	1971	11,5	19,5	1650	120	700	3,7	5 (09-03) / 10 (04-08)	Oui
Bourg-lès-Valence	1968	11,7	11,1	2300	186	1100	8,9	10 (09-03) / 20 (04-08)	Oui
Beauchastel	1963	11,8	15	2100	192	1200	6,4	10 (09-03) / 20 (04-08)	Oui
Baix-Le-Logis Neuf	1960	12	8,8	2260	210	1200	8	10 (09-03) / 20 (04-08)	Oui
Montélimar	1957	16,5	9	1850	270	1600	13	15-60	Oui
Donzère-Mondragon	1952	22,5	28	1970	354	2140	29	60	Oui
Caderousse	1975	8,6	11,5	2400	190	840	5	5	Oui
Avignon	1973	10	12	2400	200	935	2,6	5	Oui
Vallabrègues	1970	13,5	18	2200	210	1300	6,3	10	Oui

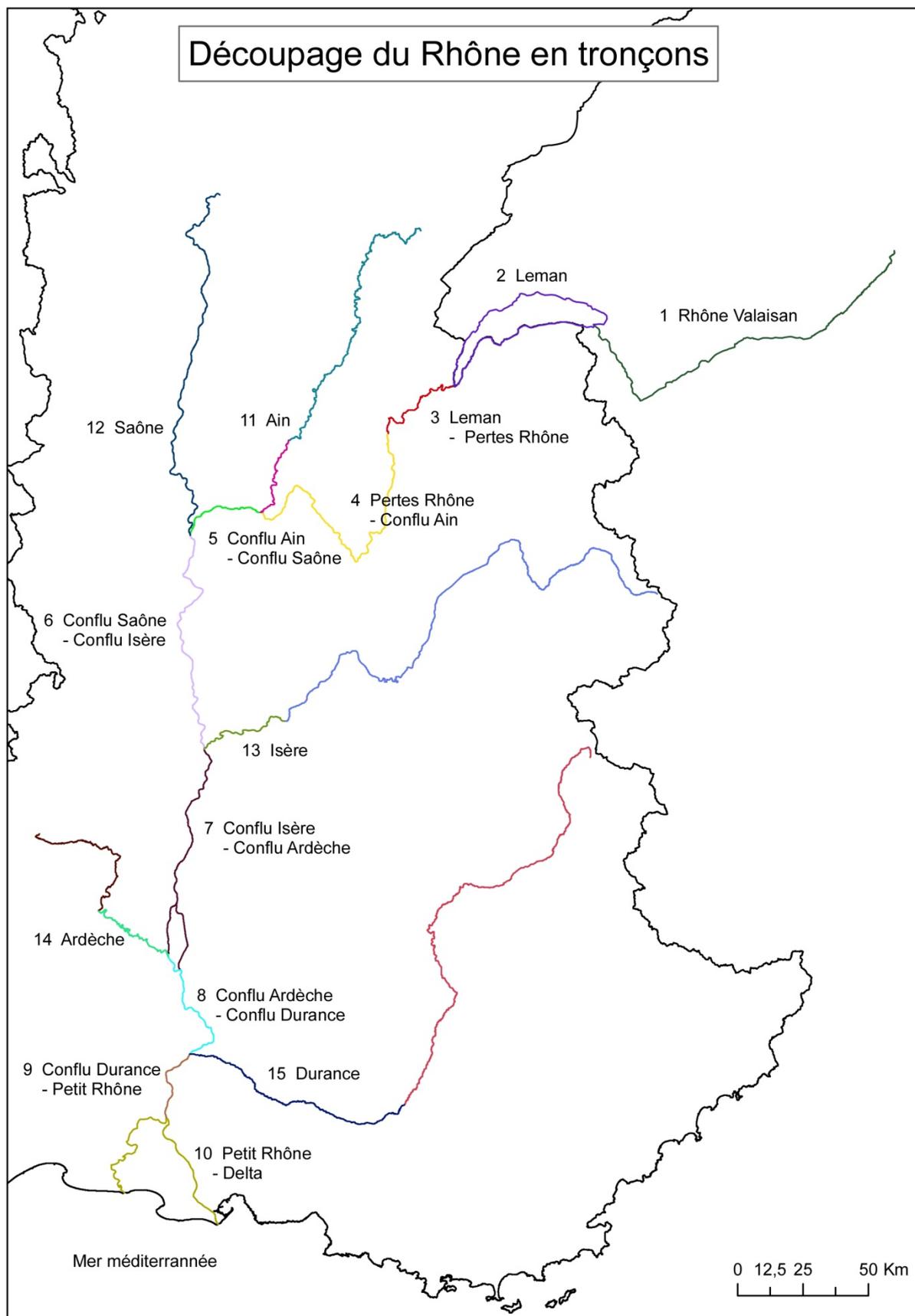


Figure 2 - Présentation des entités géographiques définies sur l'axe longitudinal du fleuve et sur la section aval des plus grands affluents du Rhône.

5. La représentativité d'une espèce

Lors de la reconstitution historique de listes supposées exhaustives des espèces dans un espace spatio-temporel défini, les données disponibles présentent des biais importants, à la fois géographiques et taxonomiques (HORTAL et al., 2008). Par conséquent, la distribution d'une majorité d'espèces est largement incomplète et toujours discutable.

L'évaluation de la biodiversité spécifique observée est le résultat de compilations documentaires de sources très diverses. Elle relève d'inventaires non-standardisés, provenant dans le cas des poissons des résultats de la pêche professionnelle et amateur pouvant biaiser cet inventaire (1) par la nature des engins utilisés pour capturer les espèces, (2) par des intérêts plus ou moins prononcés vis-à-vis des espèces. L'information collectée sera souvent plus importante à proximité d'un laboratoire scientifique ou des lieux de prospection privilégiés par le spécialiste.

A propos des données cartographiques piscicoles établies sur le Rhône par Louis Léger et ses collaborateurs, la consultation des archives permet d'établir une liste de 45 espèces de poissons reconnues en tant que telles dans le dernier Atlas des Poissons d'eaux douces de France (KEITH & ALLARDI, 2001). Les premières difficultés à la lecture des listes utilisées par les auteurs au cours des décennies, indépendamment des problèmes de noms vernaculaires ou scientifiques, résident dans des regroupements d'espèces. Par exemple, sous le label de la truite (T) sont parfois associés la truite fario (*Salmo trutta*) et les salmonidés exotiques (truite arc-en-ciel et omble de fontaine). Dans la carte départementale du Rhône, la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*) et la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) sont placées sous un même label. Les corégones, dont la complexité taxonomique est toujours d'actualité sont également mélangés. Il n'est fait état que d'une seule brème (*Abramis brama*) dans ces cartes alors qu'elle côtoie également la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*) dans les grands cours d'eau. L'inventaire faunistique des ordres supérieurs provenant des résultats de la pêche professionnelle, il est probable que ces deux espèces n'aient jamais fait l'objet d'une quelconque distinction. A cette époque, deux espèces parmi les Alosinae sont identifiées : l'alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*) et la grande alose (*Alosa alosa*).

Si l'intérêt majeur de ces cartes réside dans le descriptif de peuplements par tronçons, un certain nombre d'espèces de petite taille sont bien souvent sous-estimées ou ignorées des inventaires. Cet aspect concerne surtout les secteurs aval des rivières où les espèces ne sont pas directement observables et non inventoriées par les techniques de pêche traditionnelles : cas de la blennie fluviatile (*Salaria fluviatilis*), de la loche (*Barbatula barbatula*), de la bouvière (*Rhodeus amarus*), du chabot (*Cottus gobio*), du vairon (*Phoxinus phoxinus*), de la grémille (*Gymnocephalus cernuus*). Par ailleurs, en se plaçant dans le cadre des grands cours d'eau, la biodiversité est particulièrement importante sur l'axe transversal en présence d'une plaine d'inondation (SCHOMAKER & WOLTER, 2011). Les milieux annexes regroupent des espèces limnophiles inféodées aux espaces lenticues et aux zones humides périfluviales telles que la loche d'étang (*Misgurnus fossilis*) ignorée dans cette cartographie. Ce problème est essentiel car une absence de signalement de l'espèce est beaucoup plus problématique que l'inverse.

Les problèmes évoqués pour les poissons sont encore plus importants pour les macro-invertébrés benthiques. Parmi les chroniques biologiques « anciennes » acquises sur le fleuve, il faut signaler les travaux universitaires de Josette Fontaine portant sur l'écologie et la taxonomie des Insectes Epheméroptères du Rhône, réalisés à partir des années 1950. Les insectes adultes étaient alors capturés par piégeage lumineux sur le quai Claude Bernard au centre de Lyon. Ce travail a été repris et poursuivi par Philippe Usseglio-Polatera

jusqu'à sa thèse (1985) en y ajoutant les Insectes Trichoptères. Ces données exhaustives se sont toutefois limitées à deux ordres parmi les Insectes.

Dans le cadre contractuel des évaluations des impacts et des suivis hydrobiologiques instaurés au droit des Centres Nucléaires de Production Electrique (CNPE), les biocénoses macrobenthiques du chenal principal sont partiellement connues sur de longues chroniques. En effet, face au travail colossal exigé pour une totale exhaustivité, l'identification taxonomique au niveau spécifique n'est pas envisageable dans le cadre d'un suivi permanent. Le niveau minimal de détermination fixé par les méthodes d'évaluation de la qualité des eaux n'exige pas une identification à l'espèce. A titre d'exemple, les Oligochètes sont classiquement considérés comme une seule entité taxonomique, alors que des spécialistes ont signalé la présence de 90 espèces sur le Haut-Rhône français (JUGET & LAFONT, 1994). En 1988-1989, sur le seul chenal du fleuve à Bugey, vingt-neuf espèces ont été identifiées à partir de 15 relevés (ROGER et al., 1991). Par ailleurs, l'échantillonnage limité au seul chenal fluvial ne donne qu'une vue restreinte de la diversité fluviale et alluviale. Le suivi de Bugey évalue sensiblement la présence d'une trentaine d'espèces de Coléoptères alors que l'inventaire de la plaine alluviale réalisé par Emmanuel CASTELLA (1987a) signale 94 espèces (CARRON et al., 2007).

Seule la curiosité des naturalistes, la présence de nombreuses personnes compétentes dans les laboratoires de recherche, la poursuite de travaux spécifiques ainsi que le partage des connaissances par les divers organismes, permettent de constituer progressivement des listes taxonomiques détaillées pour de nombreux groupes.

6. Constitution d'une base commune

6.1. Choix des espèces étudiées

Au vu du grand nombre d'espèces de macro-invertébrés et de macrophytes présentes sur le Rhône, une sélection des taxons les plus représentatifs des changements floristiques et faunistiques consécutifs aux activités humaines a été réalisée. Pour ces deux grands groupes, l'accent a été mis sur la colonisation progressive par des espèces allochtones, mais d'autres critères ont été pris en compte tels que la valeur patrimoniale, les préférences d'habitat (distribution longitudinale, résistance au courant pour les invertébrés, trophie pour les macrophytes) pour une sélection d'espèces autochtones.

Au total, 45 espèces de macro-invertébrés et 25 espèces de macrophytes sont étudiées. En ce qui concerne les poissons, toutes les espèces rencontrées sur le Rhône, soit 64 espèces de poissons et 3 espèces de lamproies, ont été conservées (Tableau II, Tableau III, Tableau IV).

Tableau II - Liste et codage des espèces végétales renseignées. En rouge, les espèces allochtones

Macrophytes	
CER.DEM	Ceratophyllum demersum
ELO.CAN	<i>Elodea canadensis</i>
ELO.NUT	<i>Elodea nuttallii</i>
LEM.MIN	Lemna minor
LUD.GRA	<i>Ludwigia grandiflora</i>
MYR.SPI	Myriophyllum spicatum
NAJ.MAR	<i>Najas marina</i>
NUP.LUT	Nuphar lutea
NYM.ALB	Nymphaea alba
PHA.ARU	Phalaris arundinacea
PHR.AUS	Phragmites australis
POT.CRI	Potamogeton crispus
POT.NOD	Potamogeton nodosus
POT.PEC	Potamogeton pectinatus
POT.PER	Potamogeton perfoliatus
RAN.FLU	Ranunculus fluitans
SAG.SAG	Sagittaria sagittifolia
SPI.POL	Spirodella polyrhiza
VAL.SPI	Vallisneria spiralis

Tableau III - Liste et codage des macroinvertébrés renseignés. En rouge, les espèces allochtones

Codes		Invertébrés			
ACH	ERPOCT	Erpobdella octoculata	MOL	ANCFLU	Ancylus fluviatilis
CRU	ASEAQU	Asellus aquaticus	MOL	BITHTEN	Bithynia tentaculata
CRU	ATYDES	<i>Atyaephyra desmarestii</i>	MOL	CORFLU	<i>Corbicula fluminea</i>
CRU	CORCUR	<i>Chelicorophium curvispinum</i>	MOL	DREPOL	Dreissena polymorpha
CRU	DIKVIL	<i>Dikerogammarus villosus</i>	MOL	DUGTIG	Acroloxus lacustris
CRU	GAMFOS	Gammarus fossarum	MOL	FERCLE	Ferrissia clessiniana
CRU	GAMROE	<i>Gammarus roeseli</i>	MOL	GYRALB	Gyraulus albus
CRU	GAMTIG	<i>Gammarus tigrinus</i>	MOL	PHYACU	Physa acuta
CRU	JAEIST	<i>Jaera istri</i>	MOL	POTANT	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>
EPH	BAEFUS	Baetis fuscatus	MOL	RAD00	Radix spp.
EPH	BAERHO	Baetis rhodani	MOL	THEFLU	Theodoxus fluviatilis
EPH	CAELUC	Caenis luctuosa	MOL	VALPIS	Valvata piscinalis
EPH	CLODIP	Cloeon dipterum	ODO	CALSPL	Calopteryx splendens
EPH	EPH00	Ephemera sp.	ODO	COEMER	Coenagrion mercuriale
EPH	EPHVIR	Ephoron virgo	ODO	ERYLIN	Erythromma lindeni
EPH	HEPSUL	Heptagenia sulphurea	ODO	ISCELE	Ischnura elegans
EPH	SERIGN	Seratella ignita	ODO	PLAPEN	Platycnemis pennipes
PLE	LEU00	Leuctra sp.	TRI	CERDIS	Ceraclea dissimilis
POL	HYPINV	<i>Hypania invalida</i>	TRI	ECNTEN	Ecnomus tenellus
TUR	DUGTIG	Dugesia tigrina	TRI	HYDCON	Hydropsyche contubernalis
			TRI	HYDEXO	Hydropsyche exocellata
			TRI	HYDMOD	Hydropsyche modesta
			TRI	HYDR00	Hydroptila spp.
			TRI	POLFLA	Polycentropus flavomaculatus
			TRI	PSYPUS	Psychomyia pusilla

Tableau IV - Liste et codage des poissons renseignés. En rouge, les espèces allochtones

Code	Poissons				
ABH	<i>Able de Heckel</i>	CHL	Chabot du Lez	LPR	Lamproie de rivière
ABL	Ablette	COR	Lavaret	MGL	Mulet à grosses lèvres
ALR	Alose du Rhône	CRI	<i>Cristivomer</i>	MUC	Mulet cabot
ANG	Anguille	EPI	Epinoche	MUD	Mulet doré
APR	Apron	EPT	Epinochette	MUP	Mulet porc
ATH	Joël	EST	Esturgeon	MUS	Mulet sauteur
BAF	Barbeau fluviatile	FLE	Flet	OBL	Ombre chevalier
BAM	Barbeau méridional	GAM	Gambusie	OBR	Ombre commun
BAR	Loup	GAR	Gardon	PCH	<i>Poisson chat</i>
BBG	<i>Achigan à grande bouche</i>	GON	Gobie noir	PER	Perche commune
BLE	Blennie fluviatile	GOT	Gobie tacheté	PES	<i>Perche soleil</i>
BLN	Blageon	GOU	Goujon	PSR	<i>Pseudorasbora</i>

Code	Poissons					
BOU	Bouvière		GRE	Grémille	ROT	Rotengle
BRB	Brème bordelière		HOT	Hotu	SAN	Sandre
BRE	Brème commune		IDE	Ide mélanote	SDF	Ombre de fontaine
BRO	Brochet		LOB	Loche épineuse (Durance)	SIL	Silure
CAA	Carassin doré		LOE	Loche d'étang	SPI	Spirin
CAG	Carassin argenté		LOF	Loche franche	TAC	Truite arc en ciel
CAS	Carassin commun		LOR	Loche de rivière	TAN	Tanche
CCO	Carpe commune		LOT	Lote de rivière	TOX	Toxostome
CHA	Chabot		LPM	Lamproie marine	TRF	Truite commune
CHE	Chevaine		LPP	Lamproie de Planer	VAI	Vairon
					VAN	Vandoise

6.2. Origine des données disponibles

Cette compilation documentaire regroupe des documents présents dans les fonds propres des différents partenaires de l'étude (ARALEP, Irstea, Université Lyon 1) et les fonds anciens et numérisés de plus en plus nombreux sur Internet. Par une recherche approfondie, de nombreux documents ont pu être récupérés et analysés, des plus récents (rapports CIPEL sur le Léman, Programme Rhône Thur pour la section fluviale suisse) aux plus anciens (revues et livres numérisés des fonds documentaires de la BNF Gallica ou ceux de Biodiversity Heritage Library).

Parmi les données les plus anciennes (avant 1900), nous pouvons citer : « Histoire entière des poissons » de Rondelet, 1558 ; « Les poissons des eaux douces de la France », Blanchard, 1880 ; « Catalogue des plantes qui croissent spontanément le long du Rhône », Fourreau, 1868 ; « Catalogue des mollusques vivants du département de l'Ain », Locard, 1881.

Pour la partie du Rhône située en Suisse, les données du Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) remontent jusqu'à 1800 tandis que des analyses historiques ont été réalisées récemment sur le Léman (macrophytes et macro-invertébrés). L'ensemble de ces données historiques renseignent sur la présence d'une espèce sur un site précis, les vrais inventaires survenant bien plus tard.

Entre 1900 et 1950, aucune étude n'a été recensée sur les macro-invertébrés et macrophytes hormis sur le Rhône suisse (source CSCF). Pour les poissons, il existe les travaux de Gourret, Trippier, Léger et Kreitmann. Passées les années 1950, les premiers inventaires de macro-invertébrés font leur apparition (travaux de Lafon, 1953 à Lyon, de Brun, 1967 sur l'estuaire, et de Vaillant, 1972 sur l'Isère) suivis des premières études écologiques associées entre autres à des études d'impact (CTGREF, 1977). Par la suite, un grand nombre de travaux ont été réalisés, avec un pic au cours de la décennie 1980 sur le Haut Rhône. Actuellement, ils sont essentiellement réalisés dans le cadre de grands programmes de recherche appliquée (suivi thermique des centrales, suivi de la restauration du Rhône).

Pour élargir le panel de milieux étudiés, les études réalisées sur les milieux annexes ont été intégrées à l'analyse des informations obtenues sur le chenal principal. En tout, plus de 130 sources ont été utilisées dans le cadre de ce travail. Globalement, les macrophytes, les macro-invertébrés et les poissons du Haut Rhône ont été plus étudiés, et depuis plus longtemps, que ceux du Bas Rhône (Tableau V).

Tableau V - Nombre de sources documentaires analysées par tronçon et par tranche temporelle pour les macrophytes, les macro-invertébrés et les poissons (sans distinction des sources).

		Avant 1800	1800 - 1900	1900 - 1948	1949 - 1977	1978 - 1987	1988 - 2003	2003 - 2010	Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Macrophytes									
Rhone Valaisan	1		1						1
Leman	2		1	1	2	2	3	2	11
Leman-Perte Rhone	3		2				1	1	4
Perte Rhone - Ain	4		3		1	3	4	2	13
Ain - Confl Saône	5		2			1	2	1	6
Saône - Confl Isere	6		2		1	3	7	5	18
Isere - Confl Ardeche	7		2		1	1	2	2	8
Ardèche - Confl Durance	8		2				4		6
Durance - Pt Rhone	9		2			2	1	1	6
Pt Rhone - Delta	10		2						2
Ain	11		1			1		1	3
Saone	12		3		1	1	1	1	7
Isère	13							1	1
Ardèche	14							1	1
Durance	15					1			1

		Avant 1800	1800 - 1900	1900 - 1948	1949 - 1977	1978 - 1987	1988 - 2003	2003 - 2010	Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Macro-Invertébrés									
Rhone Valaisan	1		1	1	1	1	2	1	7
Leman	2		3	3	3	3	4	3	19
Leman-Perte Rhone	3		1	1	2	4	6	3	17
Perte Rhone - Ain	4		1		5	10	5	4	25
Ain - Confl Saône	5		1		5	9	3	2	20
Saône - Confl Isere	6				1	4	6	2	13
Isere - Confl Ardeche	7				1	4	5	3	13
Ardèche - Confl Durance	8						2		2
Durance - Pt Rhone	9				1	4	4	1	10
Pt Rhone - Delta	10		1		1	1	2	1	6
Ain	11		1		1	3	2		7
Saone	12		1		1	2	1	2	7
Isère	13				1		1		2
Ardèche	14					3	2	2	7
Durance	15					1	1		2

		Avant 1800	1800 - 1900	1900 - 1948	1949 - 1977	1978 - 1987	1988 - 2003	2003 - 2010	Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Poissons									
Rhone Valaisan	1	2	3	5	4	5	6	5	30
Leman	2	1	3	6	1	3	2	2	18

		Avant 1800	1800 - 1900	1900 - 1948	1949 - 1977	1978 - 1987	1988 - 2003	2003 - 2010	Total
Leman-Perte Rhone	3		5	3	2	2	5	4	21
Perte Rhone - Ain	4	1	5	5	4	8	6	4	33
Ain - Confl Saône	5	1	4	5	3	3	5	3	24
Saône - Confl Isere	6	1	1	3	3	4	6	3	21
Isere - Confl Ardeche	7	1	1	2	3	4	7	4	22
Ardèche - Confl Durance	8	1	1	3	2	3	8	3	21
Durance - Pt Rhone	9	2	2	3	3	6	5	3	24
Pt Rhone - Delta	10	2	3	3	3	2	4	2	19
Ain	11		3	3	2	4	4	3	19
Saone	12	1	3	4	1	3	6	3	21
Isère	13		1	3	1	1	3	3	12
Ardèche	14		1	2	2	3	2	1	11
Durance	15		1	2	1	2	4	3	13

6.3. Création de la base de données et du Système d'Information Géographique

Toutes les données recueillies ont été intégrées dans une base données Access, conçue pour rassembler l'information et permettre le lien avec le logiciel de SIG ArcGis.

La base de données se compose de 5 types de tables (Figure 3) :

- une table de base qui rassemble l'information par espèce, tronçon et période (Tronçon-Code) ;
- les tables regroupant les espèces sélectionnées pour l'étude avec leurs caractéristiques (MacrophytesEtude, PoissonEtude, InvertebresEtude) ;
- les tables des sources utilisées dans l'étude (Source) ;
- les tables des éventuelles protections mises en place sur certaines espèces (ProtectionMacrophyte, ProtectionPoisson) ;
- les tables taxonomiques générales issues du référentiel Sandre (Taxonomie-Macrophytes, Taxonomie-Poissons, Taxonomie-Invertébrés) ;
- les tables rassemblant la légende (CdTheme, CodesTable, CodesProtection, CodeTronçon).

Pour limiter le poids de la base, une seconde base de données rassemblant les pièces jointes (documents consultés en format informatique) a été mise en lien direct avec la base.

Plusieurs requêtes permettent des liens directs avec le logiciel de SIG pour l'obtention d'un rendu cartographique. Toute modification dans la base de données est directement prise en compte dans le SIG. Les cartes obtenues sont figées au format pdf.

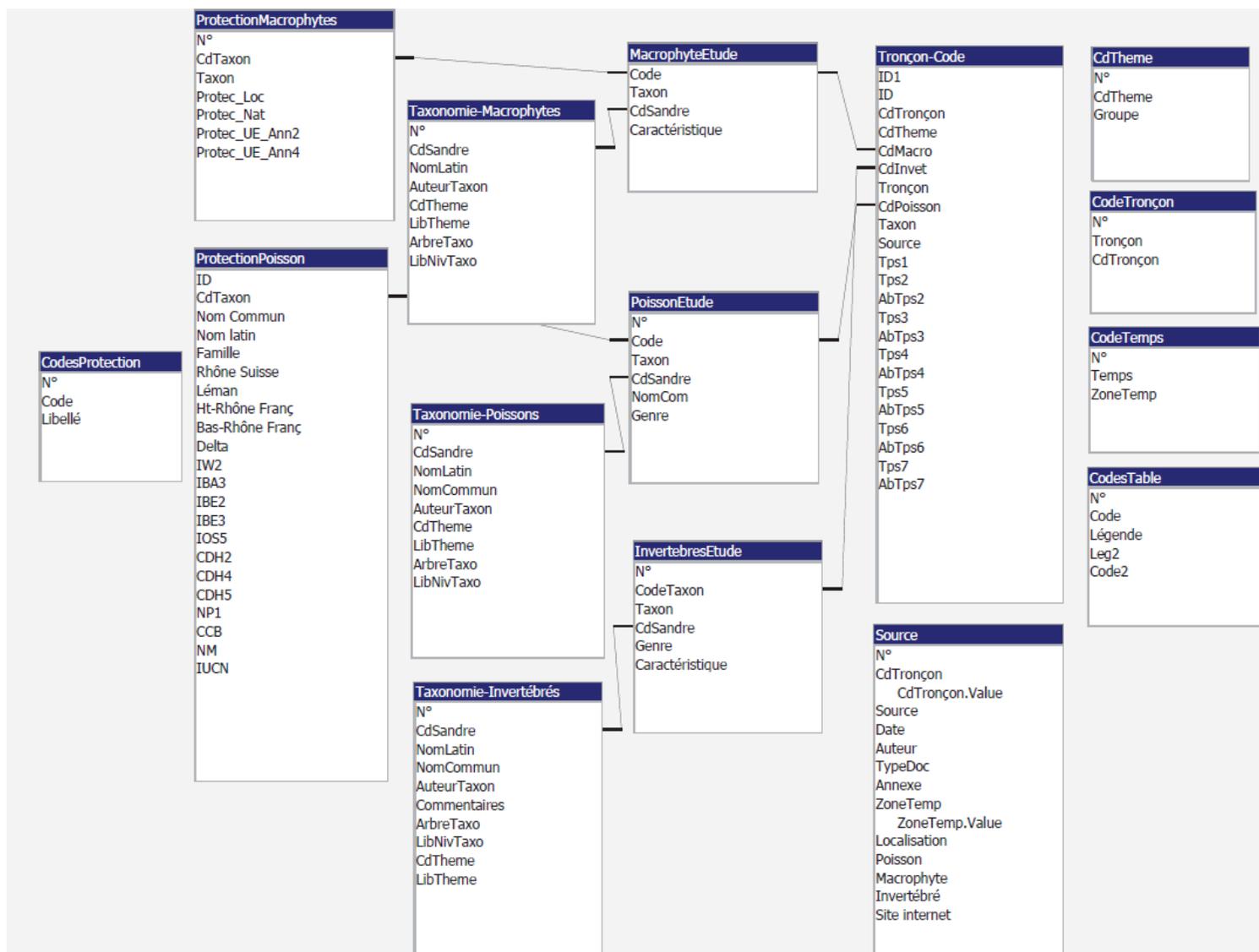


Figure 3 - Tables composant la base de données et leurs relations

6.4. Création des cartes

A partir des requêtes de la base de données et d'un fond cartographique simplifié extrait des couches de la BD Carthage (Agence de l'Eau), des cartes d'évolution spatiale et temporelle des espèces ont été réalisées (Figure 4).

Elles représentent l'évolution à la fois spatiale et temporelle de l'abondance des espèces. Une distinction a été réalisée entre les données « Non Renseignée » (pas d'information disponible), les données « Absent des inventaires » (espèce pouvant être présente mais non relevée dans les inventaires) et « Non Rencontré ». Le dernier critère rassemble plusieurs types d'informations : les espèces non rencontrées car hors de leur aire de répartition (estuaire, lac par exemple), les espèces non rencontrées dans les inventaires anciens (avant 1948) surtout ponctuels et partiels et les espèces invasives non relevées avant leur arrivée sur le territoire. Cette distinction permet de les différencier des espèces absentes des inventaires.

6.5. Mise à disposition des informations recueillies

Ce travail vise à être mis à disposition des divers partenaires et utilisateurs et à être amélioré par l'ajout de nouvelles informations. De ce fait, une interface a été créée pour faciliter la navigation et permettre une modification aisée des informations de la base de données.

La page d'accueil de cette interface propose l'accès à 4 rubriques (Figure 5).

1- Modification

Elle permet une actualisation des cartes suite à une modification de la base de données. Toutefois, cela nécessite d'accéder au dossier « lien BD-SIG », qui n'est pas en accès libre mais géré par le dépositaire de la BD (ARALEP actuellement).

2- Consultation

Elle permet de consulter individuellement chaque espèce parmi les 3 groupes taxonomiques (cf Figure 6, exemple fiche *Acroloxus*). Pour chaque espèce, les informations disponibles sont les suivantes : la présence (ou non) par tronçon spatial et par période temporelle, la carte synthétique au format pdf, les références bibliographiques relatives à l'espèce au format EndNote (cf Figure 8).

3- Liens vers Atlas

Cette rubrique permet d'afficher les différentes cartes par espèces et par périodes temporelles.

4- Liste des espèces étudiées

Cette rubrique affiche un tableau avec différentes informations pour chacune d'entre elles (cf Figure 7, exemple liste poissons).

Alose du Rhône

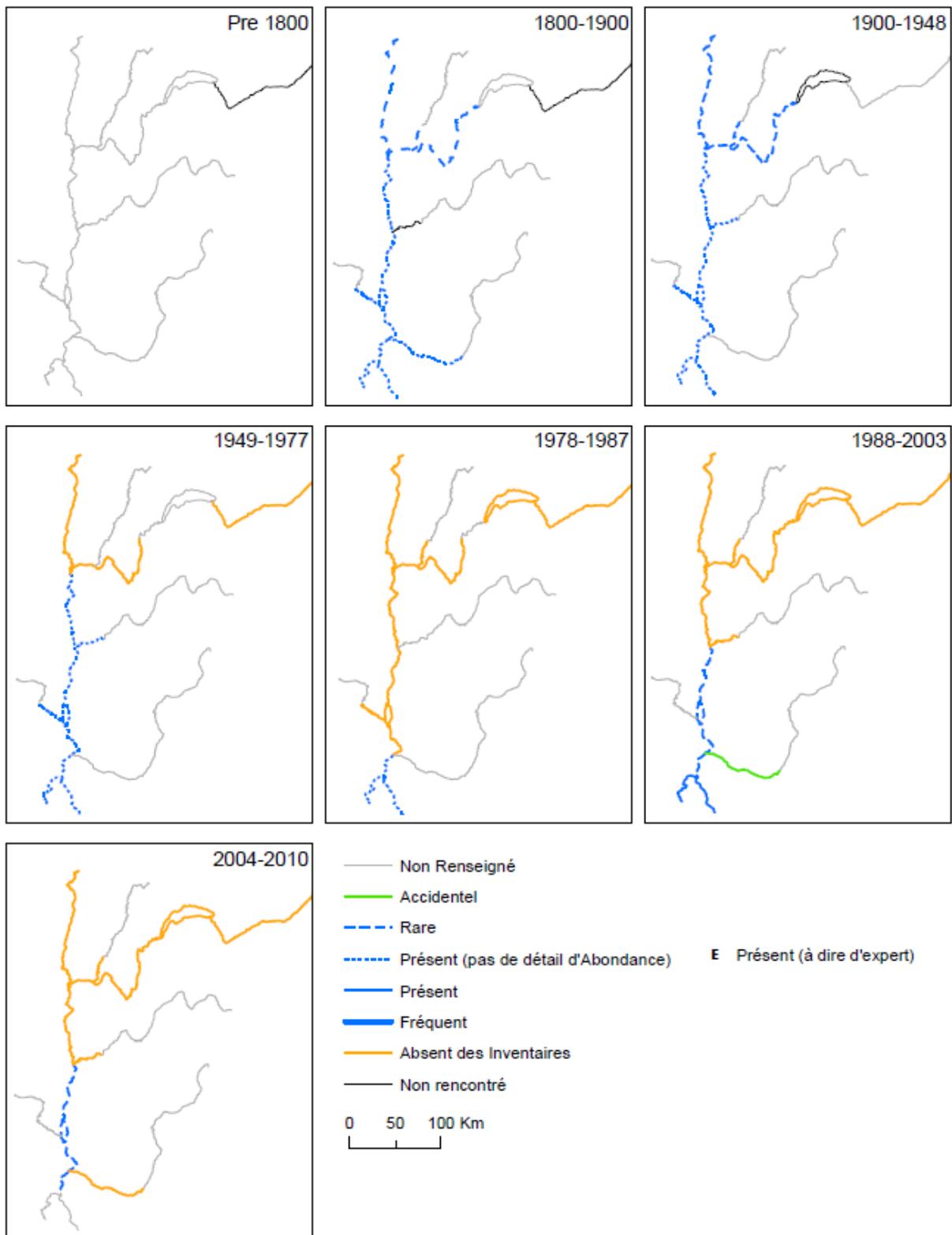


Figure 4 - Exemple d'une carte de répartition : l'Alose du Rhône

Distribution longitudinale et historique des espèces sur Rhône

Modification

 Invertébré

 Macrophyte

 Poisson

Consultation

 Invertébré

 Macrophyte

 Poisson

Liens vers Atlas

Invertébrés

Espèces invasives

Macrophytes

Poissons

Espèces d'estuaire

Espèces invasives

Espèces de milieu lacustre

Liste des espèces étudiées

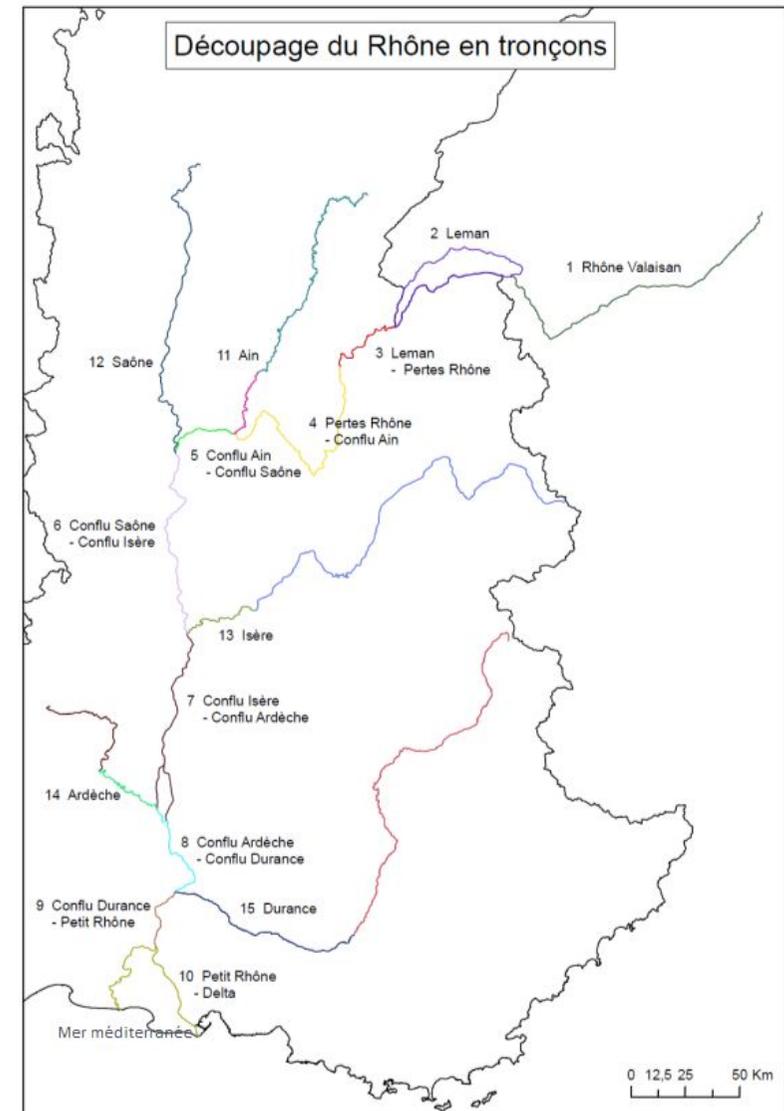


Figure 5 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Page d'accueil et accès aux quatre rubriques

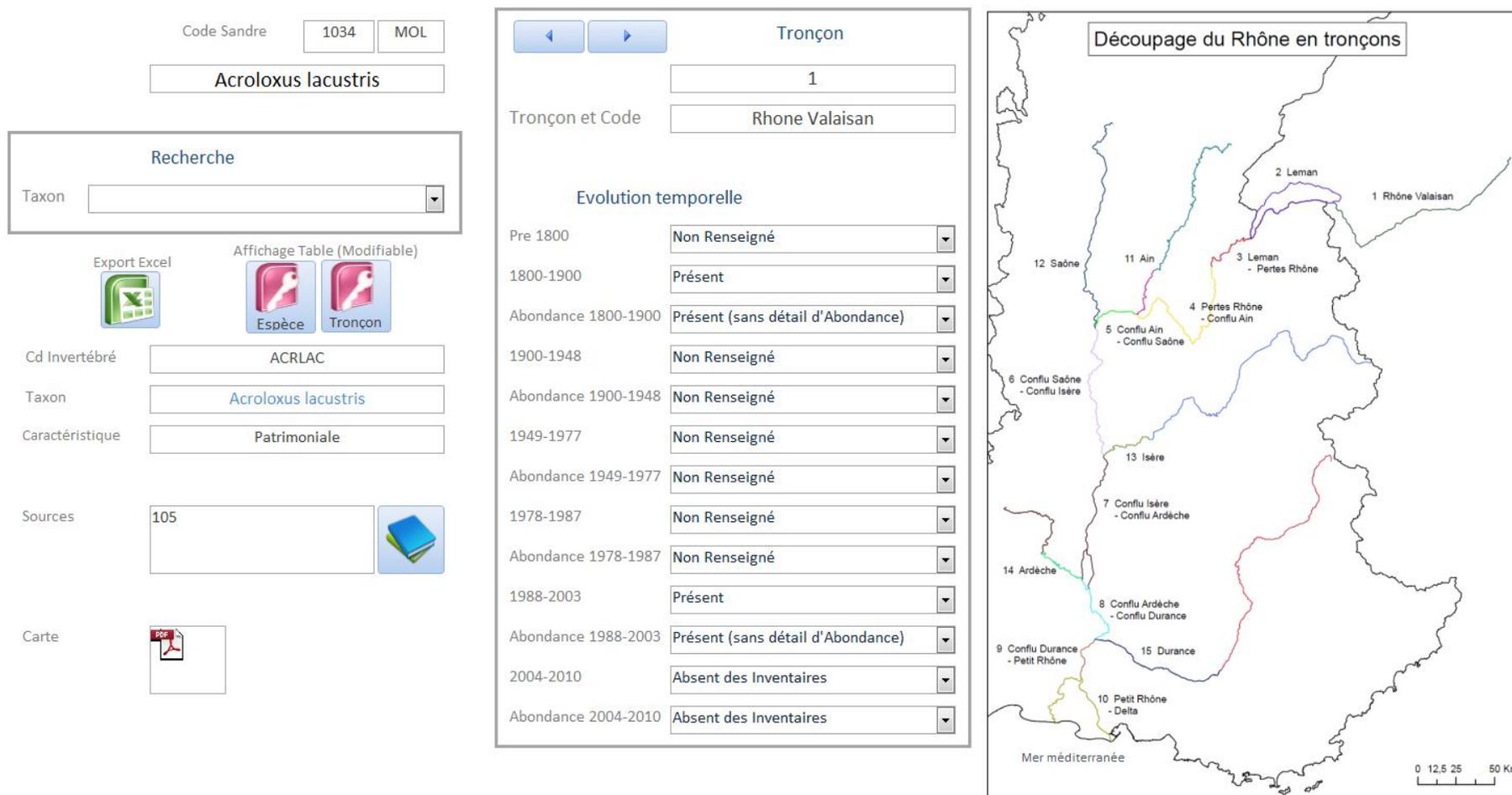


Figure 6 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Exemple de fiche pour le mollusque *Acroloxus lacustris*.

 Liste des Poissons étudiés				
Taxon	Code	Code Sandre	Nom commun	Genre
<i>Leucaspis delineatus</i>	ABH	2117	Able de Heckel	Cyprinidae
<i>Alburnus alburnus</i>	ABL	2090	Ablette	Cyprinidae
<i>Alosa fallax rhodanensis</i>	ALR	2058	Alose du Rhône	Clupeidae
<i>Anguilla anguilla</i>	ANG	2038	Anguille	Anguillidae
<i>Zingel asper</i>	APR	2197	Apron	Percidae
<i>Atherina boyeri</i>	ATH	2041	Joël	Atherinidae
<i>Barbus barbus</i>	BAF	2096	Barbeau fluviatile	Cyprinidae
<i>Barbus meridionalis</i>	BAM	2097	Barbeau méridional	Cyprinidae
<i>Dicentrarchus labrax</i>	BAR	2234	Loup	Moronidae
<i>Micropterus salmoides</i>	BBG	2053	Black bass	Centrarchidae
<i>Salaria fluviatilis</i>	BLE	2045	Blennie fluviatile	Blenniidae
<i>Leuciscus (Telestes) souffia</i>	BLN	2119	Blageon	Cyprinidae
<i>Rhodeus sericeus</i>	BOU	2130	Bouvière	Cyprinidae
<i>Abramis bjoerkna</i>	BRB	19511	Brème bordelière	Cyprinidae
<i>Abramis brama</i>	BRE	2086	Brème commune	Cyprinidae
<i>Esox lucius</i>	BRO	2151	Brochet	Esocidae
<i>Carassius auratus</i>	CAA	20597	Carassin doré	Cyprinidae
<i>Carassius gibelio</i>	CAG	20550	Carassin argenté	Cyprinidae
<i>Carassius carassius</i>	CAS	2102	Carassin commun	Cyprinidae
<i>Cyprinus carpio</i>	CCO	2110	Carpe commune	Cyprinidae
<i>Cottus gobio</i>	CHA	2080	Chabot	Cottidae
<i>Leuciscus cephalus</i>	CHE	2120	Chevaine	Cyprinidae
<i>Cottus petiti</i>	CHL	2354	Chabot du Lez	Cottidae
<i>Coregonus lavaretus</i>	COR	20551	Lavaret	Salmonidae
<i>Salvelinus namaycush</i>	CRI	2228	Cristivomer	Salmonidae
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	EPI	2165	Epinoche	Gasterosteidae
<i>Pungitius pungitius</i>	EPT	2167	Epinochette	Gasterosteidae

Figure 7 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône. Extrait de la liste des poissons étudiés.

Sources 

Recherche

N° Source

N° Source ⏪ ⏩

Code Tronçon Confli Durance - Defluence Pt Rhone

Source

Date

Auteur

Zone Temporelle

Type de document

Milieu Annexe

Localisation

Pièce Jointe

Lien vers site internet

Données Poisson

Données Macrophyte

Données Invertébré

**Figure 8 - Distribution longitudinale et historique des espèces sur le Rhône.
Extrait d'une référence bibliographique**

7. Résultats

7.1. Les macrophytes

7.1.1. Les milieux annexes

Nous reprenons ici en grande partie la synthèse réalisée par OLIVIER et al. (2009) dans le cadre de l'ouvrage « Rivers of Europe ».

La diversité des végétaux aquatiques du Rhône et de ses principaux affluents est en grande partie due à la présence de milieux annexes. Dans ces derniers, beaucoup d'espèces dominantes sont à tendance eutrophe (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Lemna minor*, *Spirodella polyrhiza*) ou bien indifférentes au lessivage par les crues (*Phragmites australis*, *Nuphar lutea*, *Nymphaea alba*) (BORNETTE et al., 2001). Quelques espèces telles que *Callitriche platycarpa*, *Elodea canadensis*, *Berula erecta* et *Phalaris arundinacea* se rencontrent dans certains chenaux déconnectés de la basse rivièrè d'Ain et du Haut-Rhône mais soumis aux crues. Plusieurs espèces de niveaux trophiques faible et intermédiaire se rencontrent sur l'Ain telles que *Potamogeton coloratus*, *Chara major*, *Cladium mariscus*.

Une étude exhaustive de la végétation aquatique de tous les bras secondaires du Rhône localisés entre le lac Léman et la Méditerranée (HENRY & AMOROS, 1988 - unpublished data) fait état de 67 espèces strictement aquatiques et de 46 espèces d'Hélophytes, distribuées toutefois de façon non uniforme. Sur le Haut-Rhône, les espèces indicatrices des conditions eutrophes sont peu abondantes car les milieux sont plutôt oligotrophes en raison d'apports phréatiques. De Lyon à la confluence de l'Isère, l'eutrophie devient très marquée. En aval de l'Isère, ce caractère diminue légèrement et on retrouve quelques espèces oligotrophes. La richesse croît en aval de la confluence de la Drôme avec à nouveau une large proportion d'espèces oligotrophes. Plus en aval, la tendance eutrophe devient à nouveau très marquée. Quelques espèces mésotrophes comme *Hippuris vulgaris*, *Hottonia palustris* ou *Potamogeton natans* sont présentes en amont de Lyon. Quelques espèces sont présentes à la fois en amont de Lyon en aval de la confluence de l'Isère (*Groenlandia densa*, *Sparganium emersum*, par exemple) ou bien de la Drôme (*Potamogeton coloratus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Juncus articulatus*). Enfin, sur le cours aval, les espèces des milieux eutrophes dominent telles que *Spirodella polyrhiza*, *Vallisneria spiralis*, *Lemna gibba* ainsi que des espèces allochtones (*Egeria densa*, *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii*, *Lagarosiphon major*, *Ludwigia peploides*, *Ludwigia grandiflora*, *Myriophyllum aquaticum*).

7.1.2. Le cours principal

La flore du chenal principal a peu été étudiée comparativement aux milieux annexes du fleuve. Des informations sont disponibles dans une étude de la Compagnie Nationale du Rhône réalisée en 1986 dans le cadre de la manifestation du phénomène d'eutrophisation sur le Bas-Rhône, et dans les suivis environnementaux contemporains de l'ARALEP et de Irstea pour le compte des sites eDF.

7.1.2.1. Etude CNR (1986)

Elle montre une certaine similitude entre les retenues de St-Vallier et de Vallabrègues, mais aussi de Valence et de Caderousse, liée à des caractéristiques mésologiques très homogènes dans ces milieux. Les enrochements des berges servent de support aux algues filamenteuses. Plus ou moins éloigné de la rive, un cordon végétal constitué de *Potamogeton trichloides* et *Potamogeton fluitans* se développe sur les dépôts sédimentaires fins. Les développements d'algues filamenteuses sont parfois très importants mais relativement localisés.

Par opposition, la flore des tronçons court-circuités regroupe principalement des algues de nature distincte selon la vitesse d'écoulement : couverture biologique en milieu lotique sur des substrats minéraux grossiers, dominance des algues filamenteuses en faciès lentique. Dans les secteurs lotiques, l'absence de sédiments fins limite les phanérogames ; toutefois présentes dans les parties aval où se fait ressentir le remous de l'aménagement suivant. Les espèces sont souvent les mêmes que celles identifiées précédemment en retenue (*Potamogeton* sp., avec également la présence de *Najas marina*).

7.1.2.2. Etudes ARALEP et Irstea (ex-Cemagref)

La végétation du chenal est régulièrement suivie depuis plus ou moins longtemps sur les retenues de Péage-de-Roussillon et de Vallabrègues au droit de la centrale thermique d'Aramon (CARREL et al., 2010), ainsi que sur le RCC de Baix (ARALEP, 2011).

Ces sites sont dominés par un cortège d'espèces très communes, indicatrices d'une eutrophie marquée, comme *Potamogeton pectinatus*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, accompagnés d'espèces secondaires elles aussi très ubiquistes et des milieux eutrophes telles que *Vallisneria spiralis*, *Najas marina*, *Spirodella polyrhiza*, *Lemna minor* et, surtout, depuis quelques années, *Elodea nuttallii*.

La richesse est classiquement plus élevée dans les RCC que dans les retenues. Une cinquantaine de taxons, toutes catégories confondues, ont été inventoriés sur le RCC de Baix en 2010 : une vingtaine d'espèces d'hélophytes, une vingtaine d'espèces de macrophytes et une dizaine de genres d'algues. Sur les rives de la retenue de Vallabrègues, onze espèces de macrophytes ont été signalées en 2010. Au cours des 10 dernières années, sur la retenue de Péage-de-Roussillon, la richesse oscille aux environs d'une quinzaine d'espèces de macrophytes.

La faible diversité des conditions hydrodynamiques des retenues explique la pauvreté végétale de ces milieux tant en termes de richesse que d'abondance. En dehors du cortège précédemment cité, les variations se font en fonction de la présence-absence de quelques espèces dont l'apparition et la localisation sont très ponctuelles dans l'espace et dans le temps (divers potamots en particulier).

La dynamique sédimentaire, les conditions de turbidité et l'hydraulicité sont les facteurs de contrôle prépondérants de l'établissement du peuplement macrophytique annuel. L'impact des débits en début de saison végétative, dans ce milieu extrêmement artificialisé et peu diversifié, est en effet très important. Il pourrait expliquer dans une certaine mesure la variabilité interannuelle observée.

Tout comme les autres descripteurs biologiques (invertébrés et poissons), plusieurs espèces allochtones commencent à proliférer depuis le début des années 2000, en particulier *Ludwigia grandifolia* et *Elodea nuttallii*. Ces deux espèces tendent à éliminer les espèces autochtones de certains milieux.

7.1.3. Quelques exemples

Au travers d'exemples, nous illustrerons des modifications de la distribution spatio-temporelle de plusieurs espèces de macrophytes.

Il est important de bien distinguer les autochtones qualifiées d'espèces « envahissantes » telles que le cératophylle (*Ceratophyllum demersum*) et le myriophylle (*Myriophyllum spicatum*) et les espèces allochtones dites « invasives » (qui peuvent également être envahissantes ...) comme les élodées du Canada (*Elodea canadensis*) et de Nuttall (*Elodea nuttallii*).

Les premières (Figure 9) sont des hydrophytes flottantes entièrement submergées dont l'enracinement est superficiel. Elles sont très compétitives en raison de leur importante

faculté de bouturage. Elles apprécient les eaux bien minéralisées, voire à tendance eutrophe, les vitesses de courant modérées, des conditions prédominantes sur le Rhône aménagé. A l'heure actuelle, le cératophylle et le myriophylle, dominants au début du suivi de ce secteur du Bas-Rhône, n'atteignent au mieux que 25% de recouvrement.

Les secondes (Figure 10) ont des stratégies de reproduction multiple, une dissémination par fragmentation d'éléments végétatifs, d'où un fort potentiel colonisateur. Elles sont favorisées par l'ensoleillement (cf retenues et RCC). Elles ont un spectre trophique important (de mésotrophe à eutrophe). Toutes les conditions requises sont réunies pour expliquer le fort développement des élodées. L'élodée du Canada a été signalée en France en 1845. L'envahissement a été rapide (« peste aquatique ») dans un premier temps puis a progressivement regressé suite à la compétition. Elle s'est ainsi retrouvée intégrée aux phytocénoses locales. L'élodée de Nutall a été signalée en Belgique en 1939, dans le nord de la France dans le courant des années 1950. L'envahissement a été progressif vers le sud. Sa première rencontre sur le Rhône à Saint-Alban date de 1998. Elle est constante dans les relevés depuis 2002. Cette élodée est la plus compétitive. Elle est ammoniacophile et a une forte capacité à accumuler le phosphore. Elle est réputée pour ses fortes biomasses. A Saint-Alban, elle présentait moins de 25% de recouvrement en 2007. En 2008-2009, les taux de recouvrement atteignent 50-75%.

Deux espèces cosmopolites peuvent être considérées comme « intégrées » : la Grande Najas et de la Vallisnérie. Ces espèces de milieux méso à eutrophes se sont installées et développées sur le Rhône avec l'évolution des conditions mésologiques (accroissement de la température de l'eau, envasement des zones rivulaires, accroissement de la charge organique - eau légèrement « saumâtre »). Bien qu'abondantes sur le Rhône, ces espèces bénéficient d'un statut de protection à certains endroits (Figure 11).

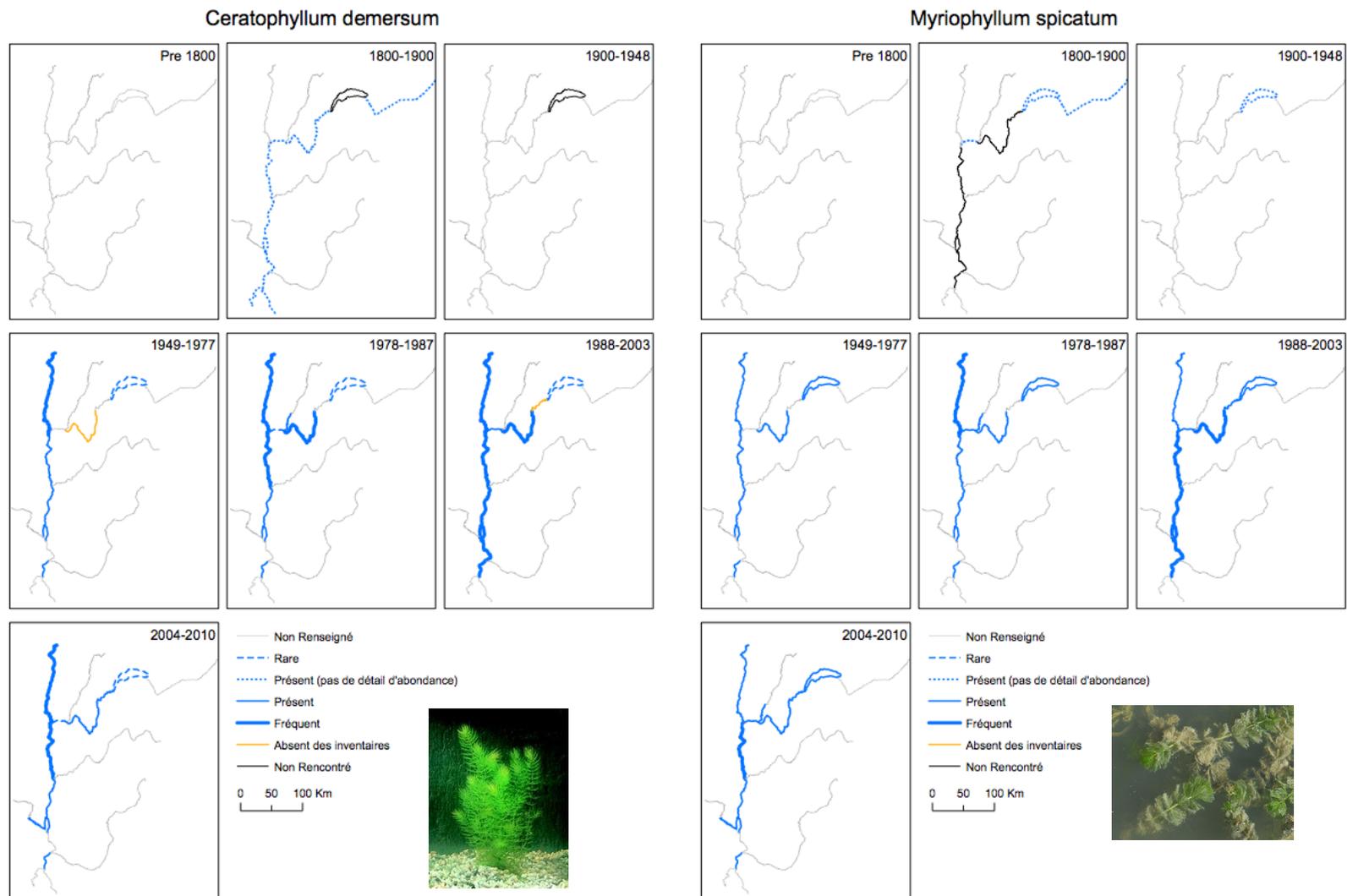


Figure 9 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces autochtones “envahissantes”.

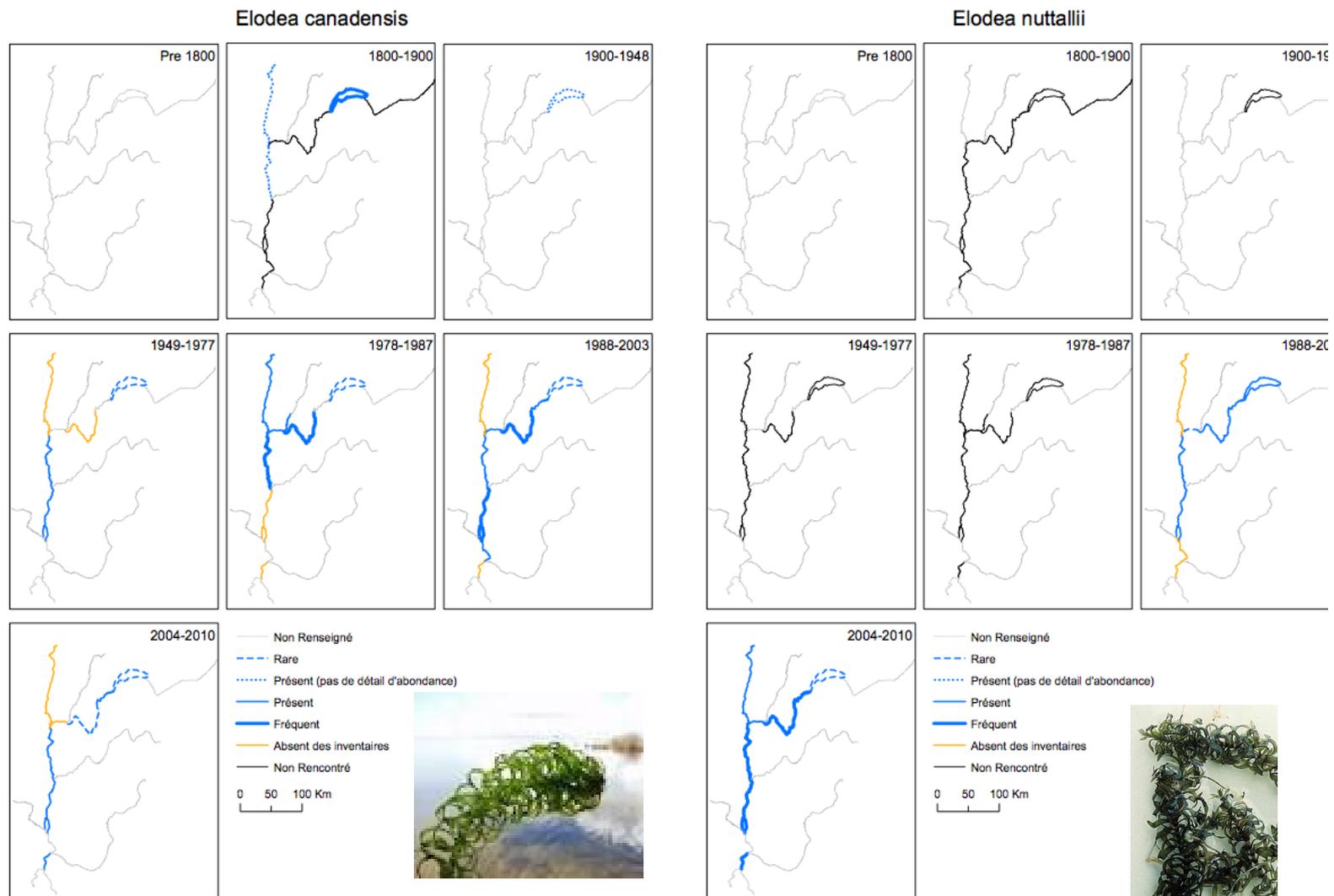


Figure 10 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces allochtones “invasives”.

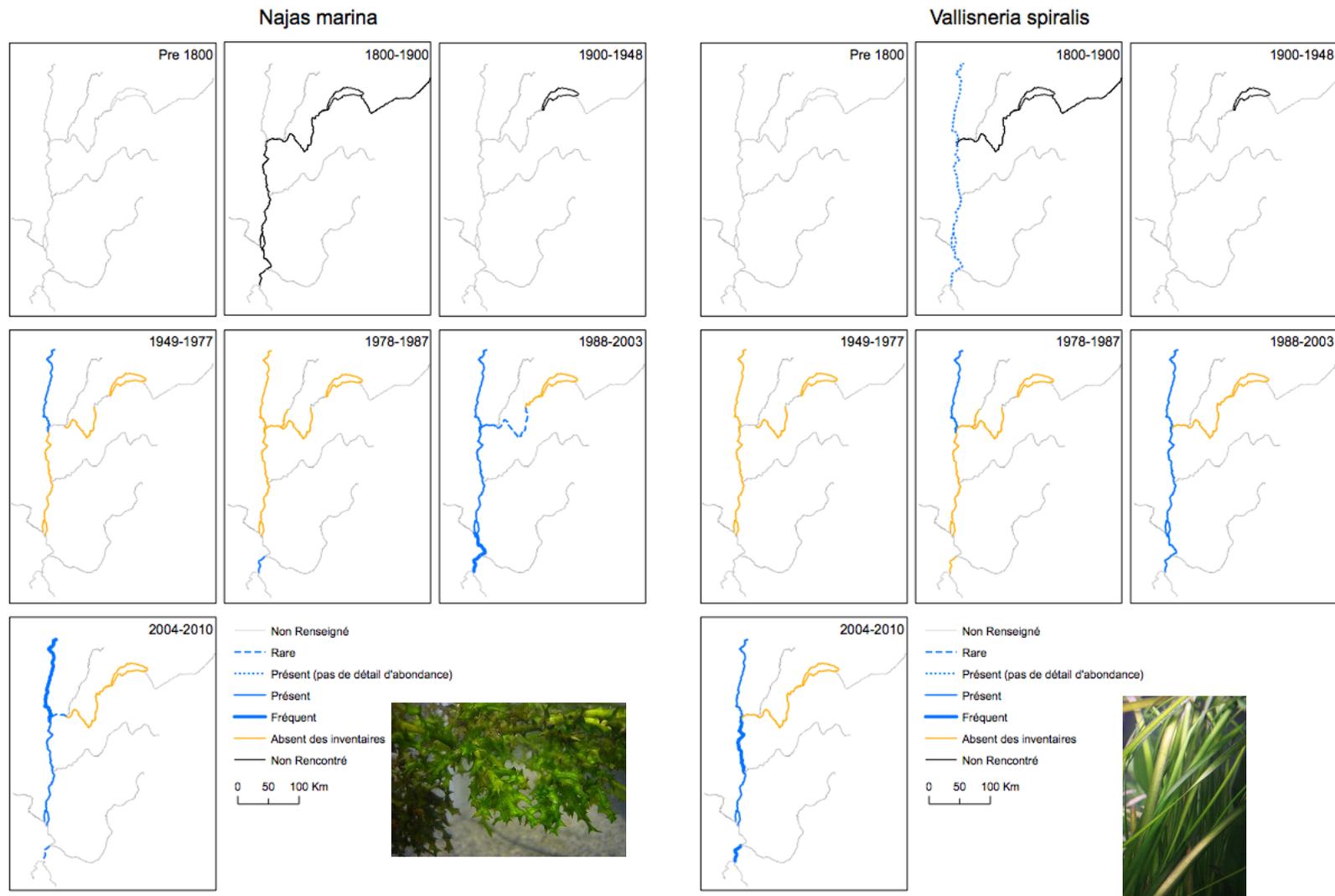


Figure 11 - Evolution de la répartition spatio-temporelle de deux espèces allochtones cosmopolites et "intégrées".

7.2. Les macro-invertébrés benthiques

Contrairement aux poissons, peu de données anciennes sont disponibles et servir de références avant les modifications anthropiques contemporaines. Nous considérerons donc comme « point de départ » les données de LAFON (1953) sur la macrofaune littorale du fleuve dans sa traversée de Lyon ; puis nous nous intéresserons à l'évolution des peuplements de macroinvertébrés tout au long de l'axe longitudinal du fleuve au cours de diverses grandes étapes, essentiellement liées à l'aménagement contemporain du Rhône.

7.2.1. Le Rhône suisse

Une synthèse sur ce tronçon a été réalisée par OLIVIER et al. (2009) dans le cadre de l'ouvrage « Rivers of Europe ». Nous reprenons ici leurs propos.

Dans sa section la plus amont, la macrofaune benthique du Rhône suisse est influencée par la température de l'eau de fonte du glacier rarement supérieure à 4°C, la faible stabilité du substratum et le fort taux de matières en suspension. La richesse taxonomique est faible. La confluence de la rivière Mutt enrichit le fleuve en aval de taxons tels que *Ecdyonurus picteti* (Ephémère), *Capnia* spp. (Plécoptères), Dixidae et Thaumalidae (Diptères). Par la suite, l'accroissement de la diversité des habitats avec le développement du tressage dans la plaine alluviale permet un accroissement corrélatif de la richesse et la présence de Plécoptères *Perlodes intricatus*, *Protonemoura* sp. et Leuctridae, de Trichoptères Limnephilidae, des Ephéméroptères *Ecdyonurus picteti*, *Epeorus alpicola*, *Rhithrogena loyolaea*.

Le peuplement de la partie supérieure de ce secteur, en aval immédiat du glacier, est composé de petits mangeurs de substrat ou de racleurs, se nourrissant de débris ou de périlithon : Chironomidae, Diamesinae et Baetidae tel que *Baetis alpinus*. La petite taille, le semi-voltinisme, l'absence de formes de résistance, l'aptitude à vivre dans les interstices des sédiments sont des traits biologiques importants et des adaptations pour vivre dans un cours d'eau glaciaire. En progressant vers l'aval, ces taxons se maintiennent au milieu d'une faune plus hétérogène composée principalement de nageurs et de broyeurs qui exploitent des sources de nourriture plus diverses (Nemouridae et Lemniphilidae).

7.2.2. Le Haut-Rhône

7.2.2.1. Les travaux de LAFON (1953)

Cet auteur fait le constat que le Rhône à Lyon renferme une faune littorale peu abondante qui s'abrite du fort courant en vivant cachée sous les pierres ou enfouie dans le sable vaseux. Cette faune est riche en espèces (environ 80) mais un petit nombre seulement est abondamment représenté, ce sont des espèces caractéristiques d'une eau courante. La macrofaune du Rhône est donc très spécialisée. Elle vit dans un biotope de faciès torrenticole⁶ avec une eau très courante, bien oxygénée, pauvre en matière organique. A l'étiage, des plages de gros galets roulés, de graviers ou de boues fines s'étendent depuis la rive jusqu'à des distances parfois assez grandes dans le lit du fleuve ; ces dépôts, recouverts par une faible épaisseur d'eau, recèlent une faune facilement échantillonnable (LAFON, 1953).

Les espèces les plus caractéristiques de cette situation et signalées comme étant parmi les plus abondantes sont : le Mollusque Gastéropode *Ancylus fluviatilis*, le Crustacé *Gammarus (Rivulogammarus) pulex* variété *fossarum*, les Ephéméroptères *Potamanthus luteus*, *Heptagenia coeruleans*, *Ecdyonurus fluminum*, *Paraleptophlebia submarginata*, les Plécoptères *Perla bipunctata* et *Leuctra geniculata* (bien que rares), les Trichoptères

⁶ Ces travaux sont antérieurs à l'aménagement hydro-électrique de Pierre-Bénite. A l'époque, le Rhône à Lyon est bien un fleuve vif et courant.

Hydropsyche spp. (ainsi que *Rhyacophila* sp., *Polycentropus flavomaculatus* et *Brachycentrus subnubilus*, bien plus rares toutefois), les Diptères *Atheryx* sp., *Trichocladius bicinctus*, *Chironomus* groupe thumni.

7.2.2.2. Les travaux de USSEGLIO-POLATERA (1985) et USSEGLIO-POLATERA & BOURNAUD (1989)

Usseglio-Polatera a étudié les peuplements de Trichoptères et d'Ephéméroptères du Rhône à Lyon avant et après la mise en service du barrage de Pierre-Bénite en 1966 (USSEGLIO-POLATERA, 1985; USSEGLIO-POLATERA & BOURNAUD, 1989). Il note une réduction de 47% du nombre d'espèces de trichoptères et de 42% de celui d'éphémères (Figure 12).

Pour cet auteur, les facteurs déterminants de cette évolution sont d'une part les vidanges des barrages du Haut-Rhône et d'autre part la mise en service du barrage de Pierre-Bénite. Ces événements ont abouti à une redistribution simplifiée des niches écologiques par banalisation du substrat et des sources de nourriture exploitables. Ainsi, les espèces dont l'amplitude écologique, à un stade donné de l'évolution des conditions mésologiques, se révèle insuffisante pour assurer le maintien de la compétitivité de leur population, se raréfient, voire disparaissent.

Seules les espèces à grande valence écologique se maintiennent et remplacent celles initialement signalées par LAFON (1953). C'est le cas en particulier des Trichoptères *Hydropsyche* sp., *Psychomyia pusilla* et *Ceraclea dissimilis* ainsi que de l'éphémère *Heptagenia sulphurea*.

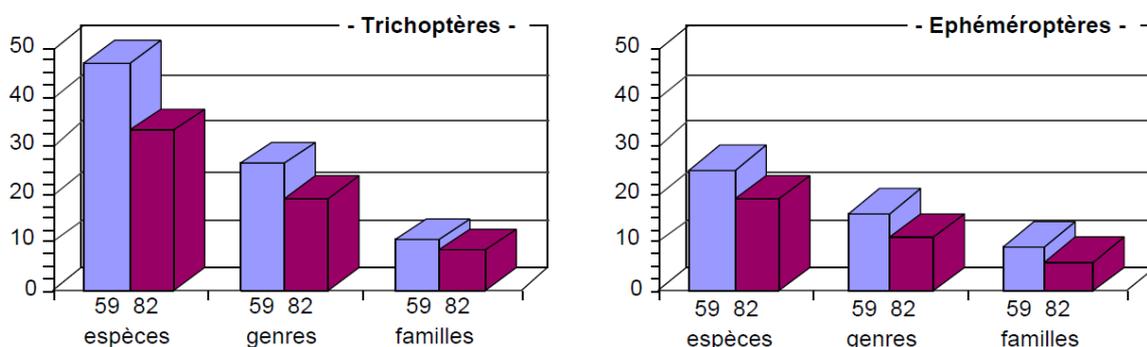


Figure 12 - Evolution du nombre de taxons de Trichoptères et d'Ephéméroptères dans le Rhône à Lyon, avant (1959) et après (1982) la mise en service du barrage de Pierre-Bénite en 1966. Adultes capturés par piégeage lumineux. D'après Usseglio-Polatera (1985).

7.2.2.3. Les travaux de PERRIN (1978)

Dans sa thèse de doctorat, PERRIN (1978) conclue que la plus forte contribution en biomasse à la faune benthique du Haut-Rhône est apportée par des organismes rhéophiles appartenant au Potamon (Ephéméroptères, Trichoptères) et par une faune d'invertébrés peu exigeants (Gammare, Planaires, Sangsues, Mollusques). D'autre part, l'existence de nombreuses formes issues de la zone supérieure (Rhithron) dans les biotopes marginaux du cours principal (digue et radiers des bras latéraux) est intéressante car elle indique une originalité faunistique relicte qui pourrait être le témoin d'un état originel de la macrofaune du Rhône (forte tendance vers le Rhithron).

Les espèces les plus descriptives de cet état sont des Plécoptères (*Brachyptera risi*, *Perla burmeisteriana* et *Amphinemura* sp.), des Ephéméroptères (*Rhitrogena aurantiaca* et

Epeorus assimilis), des Trichoptères (*Lype reducta*, *Odontocerum albicorne*), des Coléoptères (6 espèces de la famille des Elmidae) et un Odonate *Calopteryx splendens*.

A la fin des années 1970, le chenal principal du Haut-Rhône correspondait à un épiptamon avec comme espèce caractéristique l'éphémère *Baetis fuscatus*. Les bras latéraux, avec un substrat plus complexe, correspondaient à un niveau typologique légèrement supérieur, l'hyporhitron, notamment en raison de la diversité de leurs peuplements d'Ephéméroptères et de Plécoptères (bras de Brégnier-Cordon et canal de Miribel).

7.2.2.4. Les travaux de CASTELLA (1987 & 1991)

Une typologie des bras secondaires du Haut-Rhône et de la basse rivière d'Ain a été établie par CASTELLA (1987a, b) et CASTELLA et al. (1991). Des groupements descripteurs des successions évolutives ont pu être établis pour les groupes de macroinvertébrés considérés.

Chez les Mollusques, trois types sont déterminants : *Physa acuta* seul ; *Physa fontinalis* associé à *Anisus vorticulus* ; *Galba corvus* associé à *Anisus vorticulus*. Chez les Crustacés, *Asellus aquaticus* cohabite ou non avec *Gammarus fossarum* et *Gammarus pulex*. Chez les Ephéméroptères, le fond commun est représenté par les variantes du groupement *Caenis* spp. et *Cloeon dipterum*. Chez les Odonates, le groupement le plus répandu est caractérisé par les *Coenagrion* du groupe *puella* avec l'ajout de *Lestes viridis* sur l'Ain et à Jons, de *Enallagma cyathigerum* sur l'Ain, de *Erythromma viridulum* à Brégnier-Cordon. Chez les Coléoptères, on rencontre les Dytiscidae et Haliplidae en milieux lénitiques ou faiblement renouvelés. Les Elmidae constituent le second groupement avec comme « espèce phare » *Esollus parallelepipedus* ; et le Dytiscidae *Laccophilus hyalinus* constitue le troisième. Enfin, chez les Trichoptères, le groupement *Limnephilus* gr. *Lunatus*, *Anabolia nervosa*, *Athripsodes sterrimus* est particulièrement ubiquiste et réparti inégalement (dominant dans l'Ain, moyennement représenté à Jons, non rencontré à Brégnier-Cordon).

L'observation de la répartition des groupements descripteurs autorise une comparaison entre secteurs fonctionnels ou bien le contrôle d'un secteur particulier au fil du temps.

7.2.2.5. Les travaux de DESSAIX, OLIVIER & ROUX (1987)

Sur l'aménagement CNR de Chautagne mis en service en 1981, les modifications apparues après aménagement sont les suivantes.

Sur la retenue, l'importante réduction de la vitesse du courant a exclu ou limité les espèces rhéophiles et lithophiles ainsi que les taxons potamiques, et favorisée des espèces limnophiles qui étaient accidentelles auparavant. La présence de ces dernières est liée soit à une expansion des macrophytes (*Hydra*, *Chaetogaster*, *Potamopyrgus*, *Physa acuta*, *Hydroptila*), soit au dépôt de particules fines (Psychodidae).

Sur la partie court-circuitée, l'importante réduction du débit, et consécutivement celles de la vitesse du courant et de la surface mouillée, s'accompagne d'une instabilité accrue du substrat. Cela a pour effet d'éliminer ou de limiter les taxons potamiques tels que les Ephéméroptères *Heptagenia sulphurea*, espèce typiquement potamique, et *Baetis fuscatus*, espèce très sensible aux variations importantes de débit, ainsi que les Trichoptères filtreurs *Neureclipsis bimaculata* et *Hydropsyche pellucidula*, et prédateurs *Rhyacophila* sp.. Cette décroissance est à relier aux réductions drastiques de débit (baisse des espèces potamiques) et à l'instabilité générale des biotopes lors des brutales variations de débit (crues). A l'opposé, certaines espèces, caractéristiques de milieux moins lotiques peuvent subsister, voire accroître leurs effectifs, telles *Potamanthus luteus* ou *Polycentropus flavomaculatus*.

7.2.2.6. Les travaux de DESSAIX et al. (1988)

Après la mise en service des aménagements de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon entre 1981 et 1984, une modification globale des peuplements macrobenthiques semble apparaître. Ainsi, on note les caractéristiques suivantes selon les types de milieux (retenues, sections court-circuitées et canaux de dérivation).

Les peuplements des retenues sont essentiellement dominés par les Mollusques *Lymnaea* et *Radix*, avec toutefois encore la présence de quelques Trichoptères du genre *Hydropsyche*.

Les tronçons en dérivation ont un fonctionnement analogue avec un petit nombre d'espèces pionnières : Planaires, Hydres, Gammars, Ephéméroptères *Heptagenia sulphurea* et *Potamanthus luteus*, Trichoptères *Hydropsyche contubernalis* (seule espèce d'Hydropsyche colonisant de façon significative ces nouveaux milieux) et *Polycentropus flavomaculatus*.

Les sections court-circuitées sont dominées par les formes rampantes : Mollusques *Theodoxus fluviatilis* et *Ancylus fluviatilis*, Isopode *Asellus aquaticus*, éphémère *Ephemerella ignita*.

Du point de vue spatial, les différences entre les débits réservés des 3 aménagements induisent certaines différences de fonctionnement biologique mises en évidence par l'éphémère *Potamanthus luteus* qui n'apparaît en Chautagne et à Belley qu'après la mise en service du barrage.

Du point de vue temporel, il y a modification globale des peuplements après la mise en service des deux premiers aménagements. Cette modification est attribuée à la fois à l'apparition de nouveaux milieux et à l'exportation vers l'aval d'espèces dont les effectifs se sont fortement accrus dans ces nouveaux milieux. Toutefois, avant aménagement, des fluctuations inter-annuelles des effectifs étaient notables. On doit également considérer le rôle des facteurs naturels (notamment température et débit) et/ou artificiels (vidange des barrages-réservoirs amont).

7.2.2.7. Travaux de DOLEDEC, DESSAIX & TACHET (1996)

L'étude diachronique 1975-1991 de l'aménagement de Brégnier-Cordon sur le Haut-Rhône montre un changement progressif dans la structure des peuplements macrobenthiques. Avant l'aménagement, les peuplements étaient dominés par des taxons rhéophiles (*Hydropsyche* spp., *Heptagenia sulphurea*). Après sa mise en service en 1984, une majorité de taxons limnophiles et thermophiles sont échantillonnés (Planaires, Mollusques Gastéropodes, Sangsues, *Gammarus pulex*). Ce changement à moyen terme ne résulte pas directement de la mise en service de l'aménagement de Brégnier-Cordon mais également de celle de l'aménagement de Chautagne, situé environ 40 km en amont, effectuée trois ans auparavant. Ce changement est le fait d'un réchauffement de l'eau, en particulier d'une succession d'étés chauds entre 1979 et 1988, laquelle s'ajoute au faible turn-over de l'eau dans la retenue (DOLEDEC et al., 1996).

7.2.2.8. Travaux de DESSAIX et al. (1995)

Sur le Haut-Rhône régulé par les aménagements hydro-électriques CNR, ces auteurs montrent une diminution, voire une disparition, de certaines larves d'insectes potamiques et rhéophiles tels que les Plécoptères s.l., plusieurs espèces d'éphémères Heptageniidae, les trichoptères *Neureclipsis bimaculata*, *Rhyacophila* sp., *Hydropsyche* spp. et, parallèlement, l'apparition ou l'augmentation de taxons potamo-lénitiques tels que l'éphémère *Potamanthus luteus*, le trichoptère *Polycentropus flavomaculatus*, le crustacé *Asellus aquaticus*, et plusieurs espèces de planaires et de mollusques gastéropodes.

La macrofaune est composée de quelques espèces rhéophiles et potamiques, rencontrées aussi bien dans les chenaux courants que le long des rives endiguées où les jeunes stades larvaires s'abritent du courant (*Hydropsyche modesta*, *Hydropsyche contubernalis*, *Heptagenia sulphurea*).

Les taxons dominants sont ceux les moins exigeants vis-à-vis du courant : *Gammarus fossarum*, *Gammarus pulex*, *Dugesia* spp., *Dreissena polymorpha* ; trouvés en abondance sur la partie court-circuitée de Chautagne. Les taxons limnophiles sont principalement récoltés près des rives, dans les chenaux limoneux et les zones particulièrement lenticules (Ephéméroptère *Cloeon dipterum*, Coléoptère *Halipus* sp., Odonate *Platycnemis* sp.).

Dans la globalité, plusieurs taxons déjà rares avant la réalisation des aménagements ne sont plus retrouvés : les Ephéméroptères Heptageniidae *Rhithrogena* sp. et *Ecdyonurus* sp., plusieurs espèces de Plécoptères (*Protonemura* sp., *Isoperla* sp. et *Perla intricata*), les Diptères Simuliidae. Cela peut être imputé à leur disparition totale ou bien à une importante raréfaction. A l'opposé, plusieurs espèces de Planaires et de Mollusques, peu abondants avant la mise en service des aménagements, voient leurs effectifs augmenter : *Dendrocoelum lacteum*, *Dugesia tigrina*, *Polycelis tenuis* dans les trois ouvrages ; *Bithynia tentaculata*, *Physa acuta* et *Radix peregra-ovata* en Chautagne et/ou à Belley ; *Sphaerium* sp. à Belley et/ou Brégnier ; *Pisidium* sp. à Brégnier uniquement.

Dans le même ordre d'idée, les Trichoptères Limnephilidae et les Diptères Ceratopogonidae apparaissent également, mais uniquement à Brégnier. Il en est de même pour *Pisidium* sp. et *Cyrrhus* sp. particulièrement abondants à Chautagne, tandis que *Erpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* et *Polycentropus flavomaculatus* sont largement distribués dans les trois aménagements, ce qui n'était pas le cas avant régulation du fleuve.

Les impacts et l'évolution des peuplements macrobenthiques peuvent être ainsi résumés. Dans la retenue, l'importante réduction de la vitesse du courant a éliminé ou limité l'extension des espèces potamiques, rhéophiles et lithophiles. Les particularités hydrauliques de ce type de milieu favorisent les espèces limnophiles qui étaient accidentelles avant l'aménagement. Dans les parties court-circuitées, les facteurs hydrauliques (débit, vitesse du courant, surface en eau, profondeur) déterminent la présence ou l'absence des espèces, tandis que leur abondance est largement influencée par la stabilité du substrat, la quantité et la qualité de la nourriture disponible, le développement de la végétation macrophytique et du périlithon. Ces altérations du milieu éliminent, ou limitent, les taxons potamiques tels que *Hydropsyche* spp. et *Heptagenia sulphurea*, caractéristiques des grands cours d'eau. Toutefois, quelques espèces plus potamo-lénitiques peuvent se développer occasionnellement telles que *Potamanthus luteus* et *Polycentropus flavomaculatus*.

7.2.3. Le Bas-Rhône

7.2.3.1. Travaux du CTGREF (1977) et du Cemagref (1984)

Il a été noté sur le fleuve en aval de Lyon que le potentiel faunistique observé au début de l'étude en 1975-1976 n'est plus exprimé les années suivantes. Ainsi, les taxons polluo-sensibles encore rencontrés en 1977 ne sont retrouvés que très sporadiquement et ponctuellement (voire plus du tout pour certains) dans les études réalisées à partir de 1979.

A St-Etienne-des-Sorts (aval immédiat de l'aménagement de Donzère-Mondragon), la composition des biocénoses montre d'importantes modifications au sein des peuplements benthiques entre 1979 et 1984 avec la disparition de nombreuses espèces, l'apparition de nouveaux Mollusques et l'augmentation de la densité d'espèces particulièrement polluo-résistantes.

Selon les auteurs, un appauvrissement important de la macrofaune benthique semble s'être produit au cours des dix dernières années sur l'ensemble du cours principal du fleuve entre Lyon et Donzère. D'après les auteurs, ni les aménagements antérieurs et contemporains de cette période, ni la pollution oxydable qui est plutôt allée en s'atténuant au fil du temps (meilleure épuration augmentation des dispositifs, etc.) ne peuvent expliquer cette évolution pas plus que les rejets thermiques des sites nucléaires, la dégradation étant notée tant en amont qu'en aval. Le seul facteur ayant pu évoluer défavorablement durant cette période est la pollution toxique, essentiellement sous forme accidentelle depuis 1976.

Suite à ces épisodes, le substrat est devenu moins hospitalier pour la macrofaune benthique (simplification de la diversité du substrat, envasement des retenues, etc.) et une toxicité latente de l'eau ont pu limiter la recolonisation par dérive d'organismes en provenance de l'amont, d'affluents ou de milieux annexes (lônes, tronçons court-circuités).

7.2.3.2. Travaux de FRUGET (1989; 1991)

La distribution synthétique des invertébrés le long du Bas-Rhône, de Pierre-Bénite à Vallabrègues, montre la présence des Oligochètes, Mollusques et Chironomes sur tout le continuum. Les Sangsues sont surtout significativement présentes sur le tiers amont en lien potentiel avec la charge organique, tout comme *Asellus aquaticus* (forts effectifs à Péage-de-Roussillon, d'où les Gammarels sont quasiment absents). *Hydropsyche modesta* est représenté sur tout le continuum mais de nombreux Ephéméroptères et Trichoptères sont plus particulièrement représentés dans le secteur de Donzère en lien avec la confluence de l'Ardèche et le caractère particulièrement vif et courant du RCC.

La vitesse du courant apparaît être le facteur structurant principal de ce secteur fortement régulé du fleuve. Les radiers des sections court-circuitées, proches de secteurs épiptamiques en raison de leurs conditions hydrauliques, abritent la faune la plus diversifiée. Ce type de milieu est toutefois très localisé sur le Bas-Rhône et se trouve très isolé du point de vue biotypologique au milieu d'un environnement à dominance lentic.

Il n'y a ainsi pas de continuum typologique sur le Bas-Rhône, les peuplements de macroinvertébrés sont homogènes le long de celui-ci en dépit de quelques particularités locales : mélange d'espèces potamo-lénitiques typiques du métapotamon et d'espèces eurypotes et polluo-tolérantes (Oligochètes, sangsues, Gammarels et Aselles, divers Gastéropodes). Quelques espèces franchement potamiques sont toutefois présentes mais localisées (*Hydropsyche modesta*, *Baetis fuscatus*).

Une diminution de la connectivité biologique s'est ainsi faite en parallèle de la diminution de connectivité morphologique du milieu. Le Bas-Rhône est devenu un cours d'eau potamo-lénitique comme la majorité des grands cours d'eau médio-européens.

7.2.3.3. Travaux de BADY & FRUGET (2006) et de DAUFRESNE, BADY & FRUGET (2007)

Une synthèse de 20 années (1985-2004) de suivi de la macrofaune sur l'axe longitudinal du Rhône, du CNPE Bugey à celui de Tricastin, montre que celle-ci enregistre au fil du temps un glissement temporel de la composition des communautés avec un renouvellement des familles au cours de la chronique (FRUGET & BADY, 2006; DAUFRESNE et al., 2007).

Il est observable sur l'ensemble des sites avec un décalage relatif à leur localisation. Ainsi, la structure temporelle de la macrofaune est spatialement stable à l'échelle du fleuve, en dépit de l'instabilité de certaines familles entre les stations. Si elle n'apparaît pas directement rattachée à l'évolution des conditions thermiques et hydrologiques prises isolément, mais plus liée aux conditions physico-chimiques de l'eau (qualité), ces deux paramètres interviennent malgré tout de manière sous-jacente au travers de différents

phénomènes influençant largement la qualité de l'eau. Si les peuplements d'invertébrés ont évolué progressivement depuis le courant des années 1990, les modifications enregistrées après 2002 sont les plus marquées de la chronique d'étude. Elles persistent en 2004, soulignant la force de la contrainte subie mais aussi la faible résilience des peuplements d'invertébrés à l'évolution thermique des dernières années. Un tel patron d'évolution a été noté de la même manière pour les peuplements de Mollusques de la Saône par MOUTHON & DAUFRESNE (2006) qui l'ont clairement relié à l'évolution graduelle des conditions thermiques.

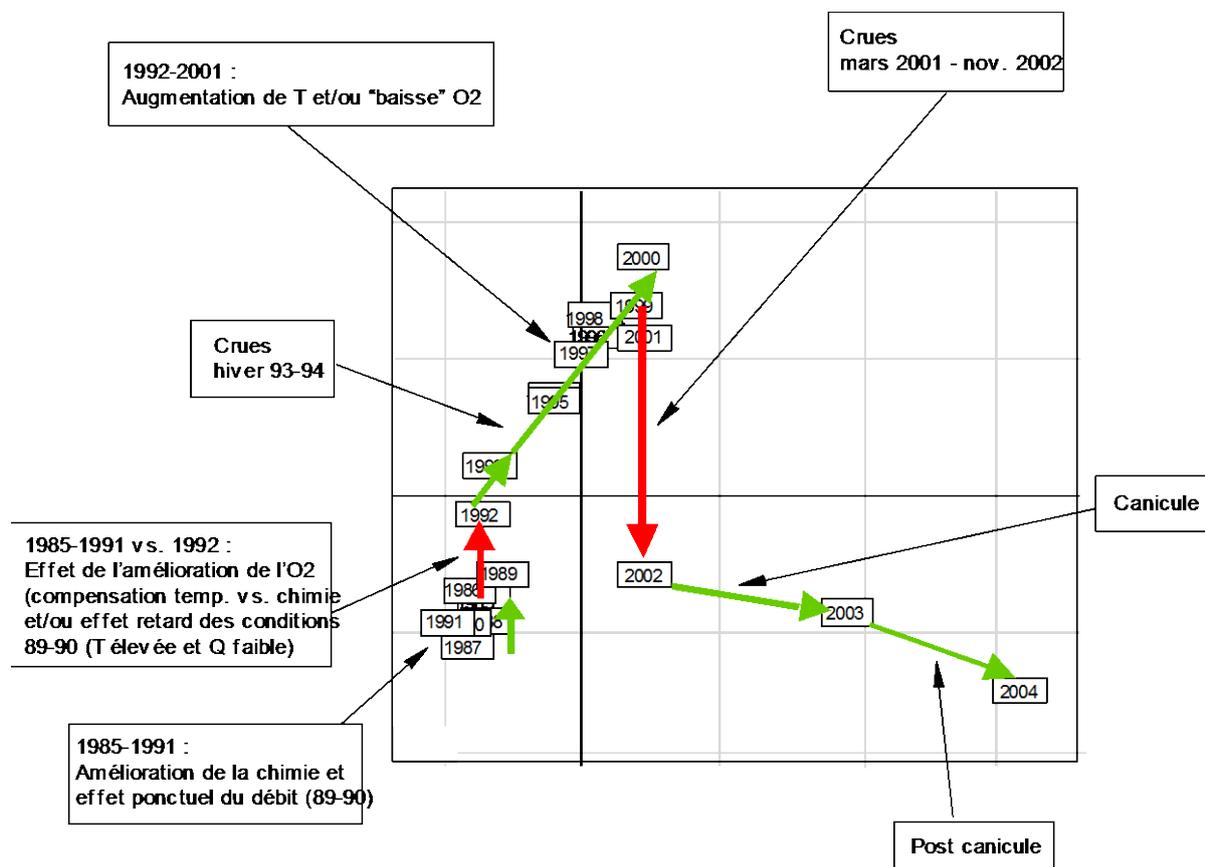


Figure 13 - Facteurs confondants projetés sur le plan factoriel de l'analyse faunistique.

L'analyse permet de distinguer trois périodes évolutives (Figure 13).

(1) Période 1985-1991. Il n'y a pas de lien clair entre les évolutions environnementales et biologiques. Tout se passe comme si l'amélioration de la qualité de l'eau compensait les perturbations éventuelles (augmentation de la température et/ou influence de l'hydrologie).

(1bis) De 1991 à 1992, une dérive est observée avec deux explications possibles : (i) soit un effet de l'oxygène dissous (le basculement d'O₂ est très clairement apparu à cette période) ; (ii) soit un effet retard de l'amélioration de la qualité des eaux et des périodes plus chaudes de 1989-1990.

(2) Période 1992-2001. Les évolutions biologiques et environnementales sont liées d'après nos résultats. La question de l'influence de la dérive thermique peut être posée.

(2bis) Une dérive interne 1993-1994 est apparente. Une influence très claire des épisodes de crue de l'hiver 93-94 est à signaler. Ces crues sont toutefois moins marquées

sur le Haut-Rhône (période de retour 10-20 ans), voire sur le Rhône Moyen (i.e. St-Alban) qu'en aval de la confluence de l'Isère.

(2ter) La dérive 2001-2002 est marquée, sous l'influence de crues très importantes en mars 2001 et novembre 2002 (période de retour 20-50 ans sur le Bas-Rhône et 10-20 ans sur le Haut-Rhône. Ces événements sont en intensité aussi forts que les précédents.

(3) Période 2002-2004. Une dérive progressive 2002-2003 et 2003-2004 avec les épisodes de canicule et post canicule. C'est l'événement qui entraîne le plus de modification de structure. Cette dérive progressive est plus marquée que celle de la période intermédiaire, la véritable cassure étant 2001-2002 (crues de mars 2001 et novembre 2002).

En résumé, la première période 1985-1991 semble marquée par une variabilité chimique et hydrologique (c'est le patron temporel le plus important durant cette période), tandis que la structure des peuplements est parallèlement très peu contrastée. A partir de 1992-2002, on entre ensuite dans une dérive temporelle des conditions environnementales qui semble plus liée à la thermie, avec une évolution sans doute moins sensible des autres paramètres (en tout cas en relatif). C'est à partir de cette période que les peuplements évoluent le plus. Enfin, à partir de 2003, on enregistre l'effet canicule et post-canicule.

D'un point de vue biologique, les changements enregistrés (diminution globale des Glossiphoniidae, chute des Erpobdellidae et Asellidae aux stations médianes et aval, accroissement général des Caenidae, Heptageniidae et Hydroptilidae) tendent à refléter la sensibilité relative de ces familles aux conditions extrêmes de température et de faible hydrologie. Il est également important de noter que la période de canicule et post canicule se traduit par le développement d'une seconde vague d'espèces exotiques invasives (*Atyaephyra desmarestii*, *Hypania complanata* et *Hemimysis anomala* appartenant respectivement aux familles des Atyidae, Ampharetidae et Mysidae) sur le Rhône Moyen et le Bas-Rhône (stations 4-9) et de taxons ubiquistes et tolérants comme les Dugesidae sur le Haut-Rhône.

7.2.4. Le delta du Rhône

Travaux de FRUGET, TACHET & PONT (1995)

Les Mollusques représentent le groupe le plus abondamment diversifié quant au nombre de taxons dans cette étude. Les Crustacés, Trichoptères et Diptères sont également bien représentés. Quelques taxons marins (*Mysis* sp. et *Balanus* sp.) ainsi que d'eau saumâtre (*Echinogammarus* sp.) ont été capturés dans le Grand Rhône.

Le seuil de Terrin (limite amont de la remontée du coin salé sur le Grand Rhône constitue un facteur structurant des peuplements. Les peuplements se distinguent ainsi selon leur préférence écologique à différentes conditions de milieu :

- tolérance à la salinité (*Gammarus* sp., *Echinogammarus* sp., *Theodoxus fluviatilis*) ;
- changement progressif de la granulométrie du chenal en aval d'Arles, mais surtout dans le Petit Rhône au chenal plus limoneux (*Hydropsyche* spp., *Gammarus* sp., *Dugesia* sp.) ;
- différence de vitesse de courant et de température entre les rives et le chenal (*Ecnomus tenellus*, *Hydropsyche modesta*, *Dugesia* sp.).

7.2.5. Quelques exemples

Au même titre que les macrophytes, nous donnons des exemples observés pour les macro-invertébrés benthiques (Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17, Figure 18).

7.2.5.1. Evolution conjointe des espèces allochtones « invasives »

Cet exemple concerne deux espèces de mollusques allochtones ayant toutes deux pris un caractère invasif dès leur arrivée dans de nouveaux milieux : la moule zébrée

(*Dreissena polymorpha*) et la corbicule (*Corbicula fluminea*). La moule zébrée, signalée en France depuis les années 1850, est connue de longue date sur l'axe rhodanien. Elle est notamment citée sur le tiers aval du Bas-Rhône par GOURRET (1897). La corbicule est considérée comme présente sur la Saône à partir de 1985 (MOUTHON, 2001). Elle a été observée sur le Bas-Rhône à partir des années 1990. La moule zébrée tend à régresser depuis l'arrivée de la corbicule.

7.2.5.2. Evolution conjointe des espèces invasives et des espèces natives et/ou intégrées

Les Crustacés comptent un grand nombre d'espèces allochtones installées sur le Rhône. Parmi ce groupe, nous pouvons signaler une décroissance notable des populations de *Gammarus fossarum* et de *Asellus aquaticus* depuis l'arrivée de *Dikerogammarus villosus* (voir le rapport Etude Rhône Phase IV, lot 3b).

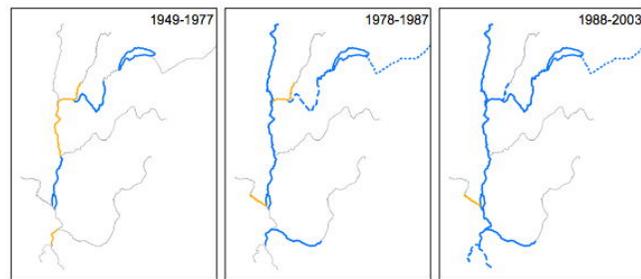
Asellus aquaticus est une espèce originaire du sud-est de l'Asie, dont la présence dans les milieux aquatiques français ne peut être datée mais elle est totalement intégrée à la macrofaune de nos eaux douces.

7.2.5.3. Régression des espèces potamiques lotiques

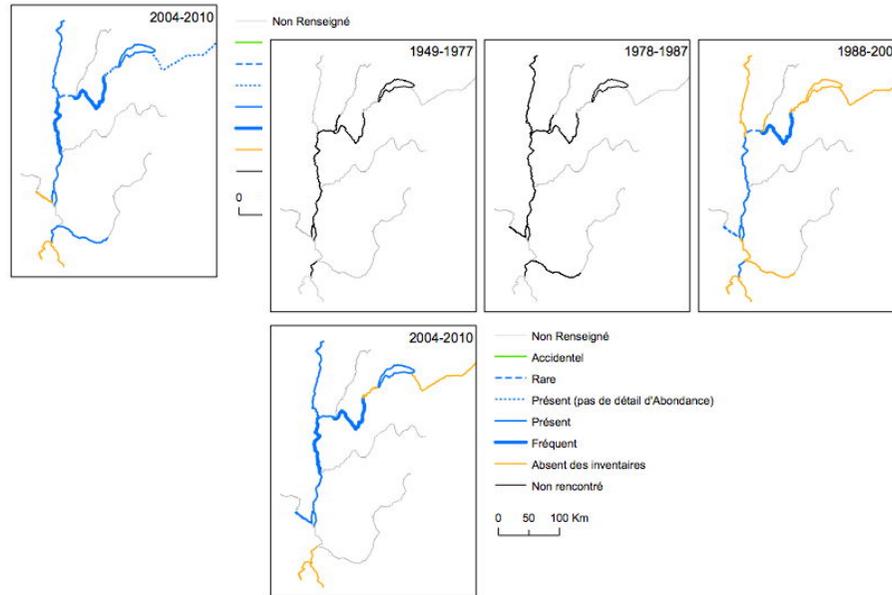
Le passage d'un fleuve vif et courant à un hydrosystème aménagé en marches d'escaliers à la suite de l'aménagement hydro-électrique du fleuve a entraîné une régression des espèces inféodées au premier type de milieu, d'abord sur le tiers amont du Bas-Rhône, puis les tiers médian et aval du Bas-Rhône, et enfin sur le Haut-Rhône (voir également ERP4 lot 3a, évolution de la diversité fonctionnelle des macroinvertébrés).

Les conséquences sur la macrofaune benthiques des changements hydromorphologiques consécutifs à la réalisation de barrages ont été bien décrits dans la thèse de Philippe USSEGLIO-POLATERA (1985). Ce travail présentait les modifications observées sur le Rhône à Lyon lors de la mise en eau de Pierre-Bénite.

Nous présentons trois espèces potamiques lotiques : le mollusque *Theodoxus fluviatilis*, l'éphémère *Baetis rhodani* et le trichoptère *Hydropsyche modesta*, toutes trois sont révélatrices de ces altérations.



Potamopyrgus antipodarum



Corbicula fluminea



Hypania invalida

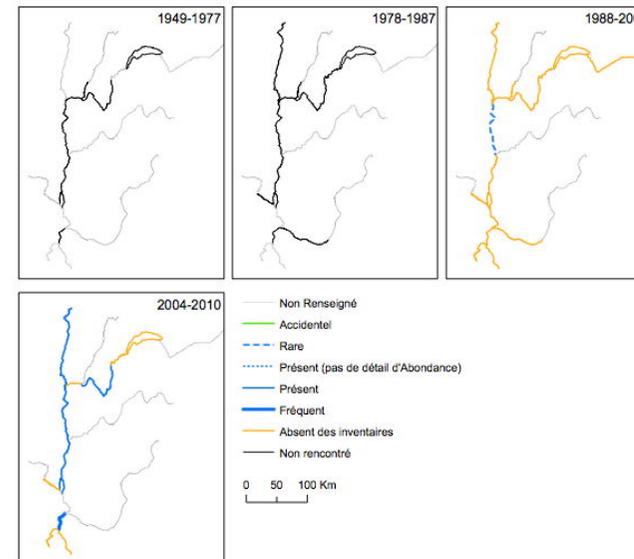


Figure 14 - Trois exemples d'invasion progressive : un mollusque bivalve, la corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*), un gastrope, l'hydrobie des antipodes (*Potamopyrgus antipodarum*) et un polychète d'origine Ponto-Caspienne (*Hypania invalida*).

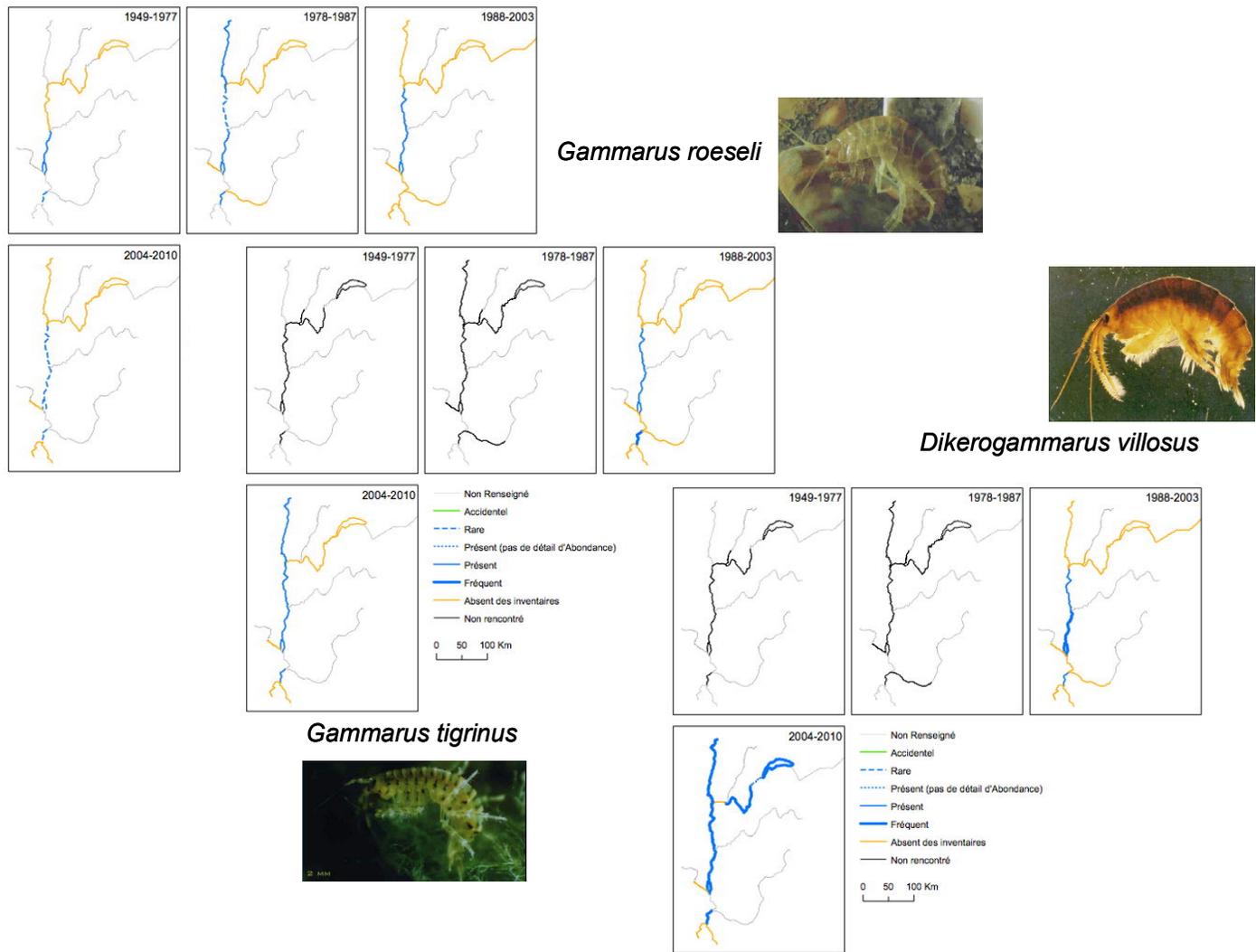


Figure 15 - Distribution spatio-temporelle de trois crustacés Gammaridés invasifs.

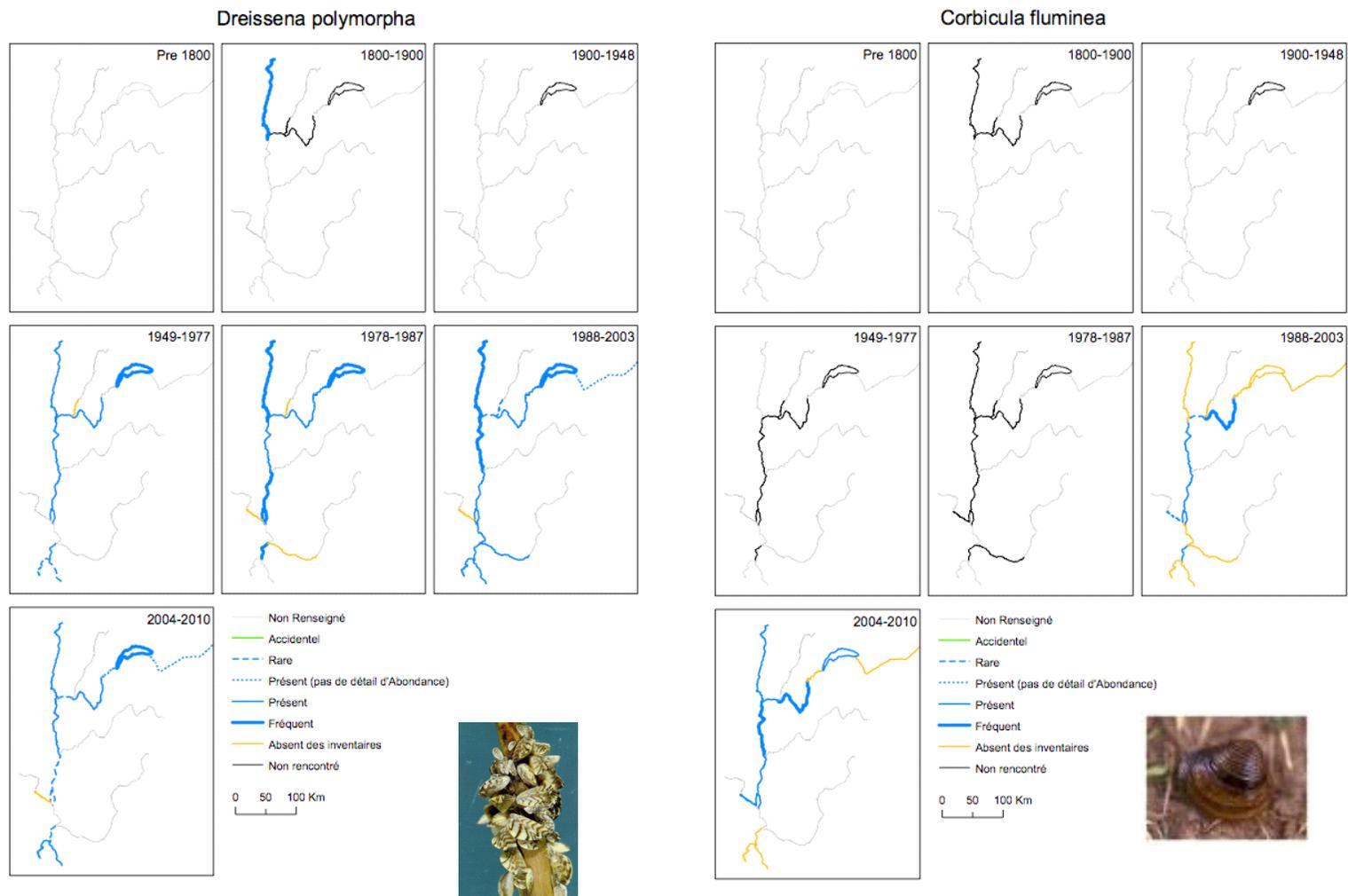


Figure 16 - Distribution spatio-temporelle de deux bivalves allochtones invasifs: la moule zébrée et la corbicule.

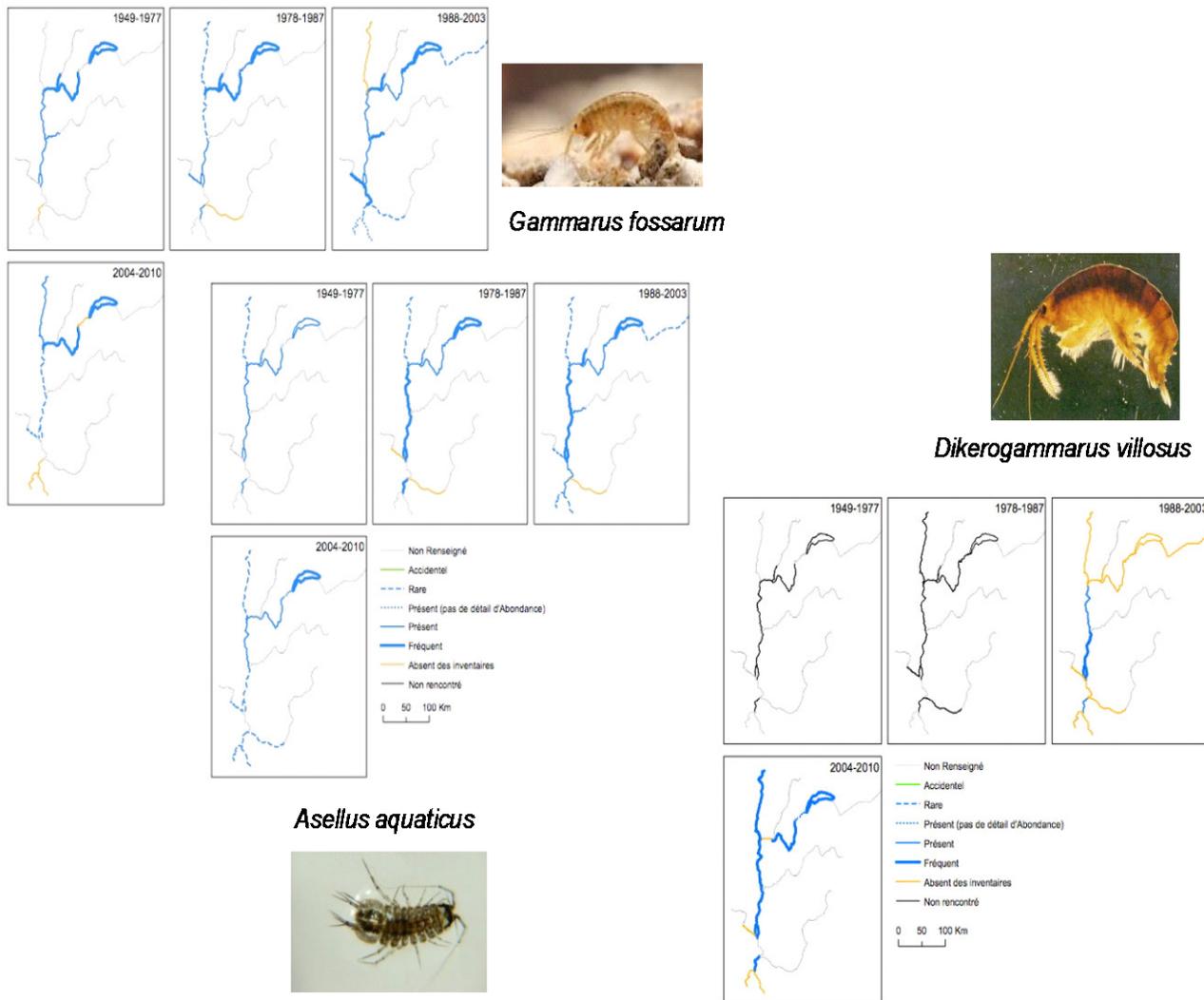


Figure 17 - Distribution spatio-temporelle des espèces invasives et espèces natives et/ou intégrées

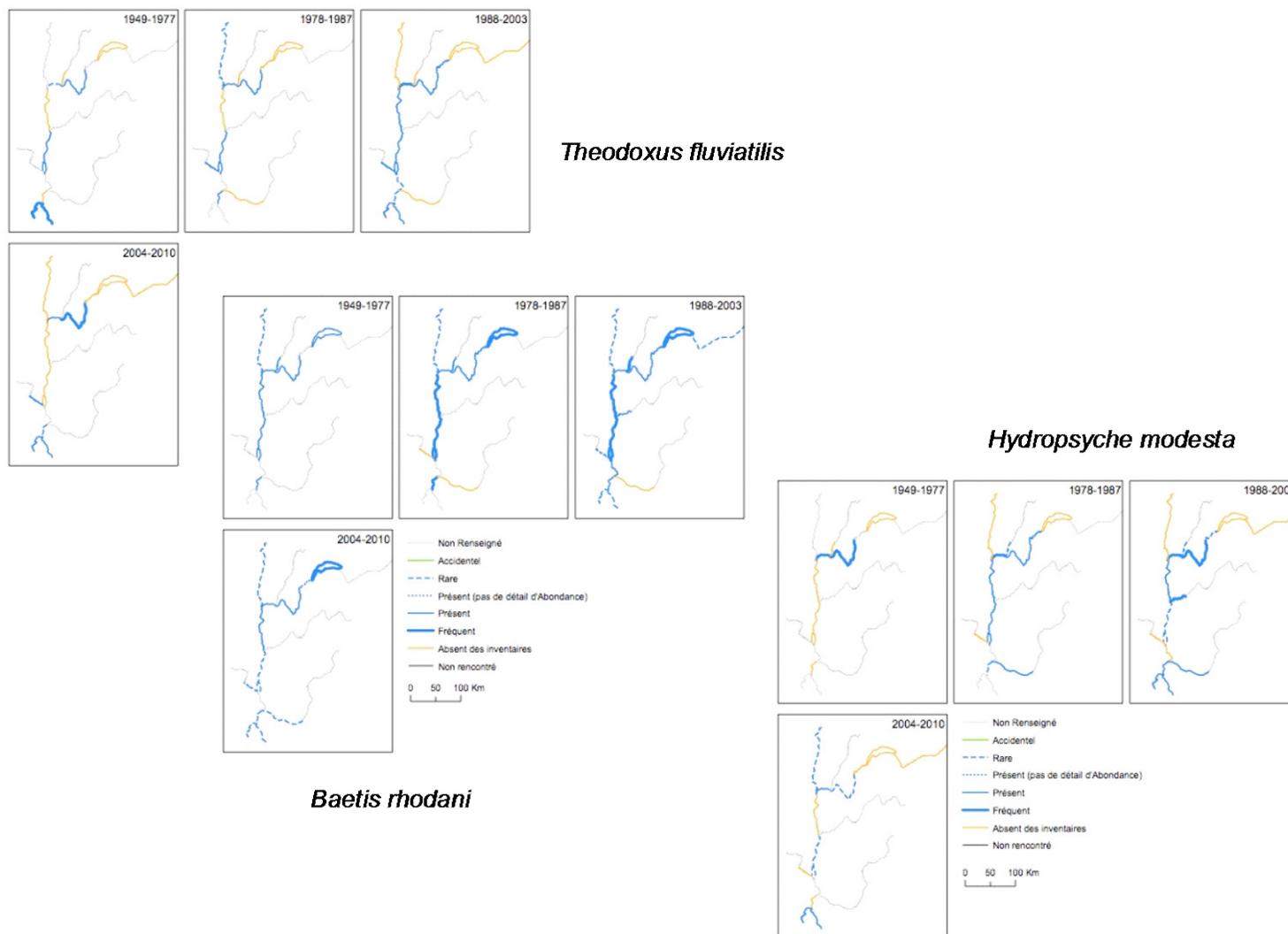


Figure 18 - Espèces potamiques de milieu lotique ayant fortement régressé suite à l'aménagement du fleuve : le mollusque *Theodoxus fluviatilis*, l'éphémère *Baetis rhodani* et le trichoptère *Hydropsyche modesta*.

7.2.6. Nouveaux invertébrés potentiels

Depuis l'arrivée des crustacés *Atyaephyra desmarestii* et *Gammarus roeseli* au milieu du XIX^{ème} siècle, DEVIN et al. (2005) ont recensé 43 espèces d'invertébrés allochtones dans les cours d'eau français, dont 36 sont issues de transferts intra-continentaux, en particulier depuis le bassin Ponto-Caspien. Les caractéristiques de ce bassin, ayant une forte variabilité de la salinité et de la température et un fort taux d'endémisme lié à un long isolement au cours des temps géologiques, ont favorisé la sélection d'espèces euryèces.

D'après ces auteurs, le développement de 6 espèces est particulièrement "remarquable" : le cnidaire (méduse d'eau douce) *Craspedacusta sowerbyi*, les mollusques bivalves *Dreissena polymorpha* (moule zébrée) et *Corbicula fluminea* (clame asiatique), les crustacés *Dikerogammarus villosus* (crevette tueuse), *Chelicorophium curvispinum* et *Orconectes limosus* (écrevisse américaine).

BIJ DE VAATE et al. (2002) ont recensé une quinzaine d'espèces ponto-caspiennes ayant pénétré le bassin du Rhin. Dix sont déjà présentes dans le bassin du Rhône. Il est probable que les autres espèces seront retrouvées sur le Rhône dans les prochaines années. Parmi celles-ci, il faut citer les crustacés *Dikerogammarus bispinosus* et *D. haemobaphes*, *Echinogammarus ischnus* et *E. trichiatus*. Il est possible d'ajouter *Obesogammarus obesus*. Selon ces auteurs, du fait de sa mobilité, il ne devrait pas tarder à envahir le canal Main-Danube, porte du corridor vers l'Europe occidentale et méridionale. Le trait commun de ces différentes espèces est le fait qu'elles sont essentiellement prédatrices ou filtreuses, thermophiles et euryèces, donc redondantes au niveau fonctionnel.

Les autres espèces allochtones potentielles sont la planaire *Dendrocoelum romanodanubiale*, très commune dans la Moselle (J.N. BEISEL, comm. pers.), et la sangsue *Caspiobdella fadejewi*, présente dans le Rhin.

Une espèce dont on peut prédire l'arrivée, puis une colonisation rapide, si ce n'est pas encore fait, est le bivalve *Dreissena rostriformis bugensis* (BIJ DE VAATE & BEISEL, 2011). D'après J.N. Beisel (comm. pers.), son impact pourrait être important. En effet, dans la Moselle, elle gagne sur *D. polymorpha* et représente déjà 20 % des effectifs de moules un an après son arrivée. Parmi les mollusques bivalves, l'Unionidae *Sinanodonta woodiana*, déjà présente dans le bassin du Rhône, semble également gagner du terrain.

Enfin, le moustique-tigre, *Aedes albopictus*, déjà présent dans le sud remonte la vallée du Rhône (DELAUNAY et al., 2012).

7.3. Les poissons du Rhône

La faune piscicole européenne et française a fait l'objet de travaux de réactualisation récents tant sur le plan de la systématique que sur la précision des caractéristiques biologiques et écologiques des espèces et sur leur repartition géographique. L'anthropisation des milieux, la fragmentation des habitats, une meilleure compréhension des cycles de vie des espèces ont conduit à la définition de mesures de protection et de conservation de plusieurs d'entre elles.

Des données actualisées sont donc disponibles dans un ensemble d'ouvrages récents et permettront aux lecteurs curieux de parfaire leurs connaissances en ichtyologie (BRUSLE & QUIGNARD, 2001; KOTTELAT & FREYHOF, 2007; KEITH et al., 2011).

7.3.1. Des particularités rhodaniennes

Au Pliocène, la tête de bassin du Danube intègre le Rhin et le Rhône alpins. Par conséquent, la faune piscicole originelle de ces trois fleuves est vraisemblablement identique (PERSAT et al., 1995). Hormis cinq espèces, les espèces autochtones du Rhône se trouvent également dans le Rhin et le Danube. L'apron du Rhône, *Zingel asper*, le seul poisson endémique du bassin, atteste de cette connexion ancienne avec le Danube qui héberge deux percidés du même genre : *Z. zingel* et *Z. streber*.

Alors que les importantes extensions glaciaires au cours du Pléistocène ont éliminé de nombreuses espèces danubiennes thermophiles et limnophiles, comme le silure *Silurus glanis* (PERSAT, 1988; PERSAT & BERREBI, 1990), les glaciations ont favorisé la colonisation du Rhône par des espèces cryophiles : des salmonidés, le chabot (*Cottus gobio*) et la lote de rivière (*Lota lota*) (PERSAT & KEITH, 1997).

La partie méridionale du bassin ayant servi de refuge pour plusieurs espèces, la faune piscicole du Rhône compte également quelques espèces méridionales : le blageon, *Telestes souffia*, le toxostome, *Parachondrostoma toxostoma*, le barbeau méridional, *Barbus meridionalis*, et la blennie fluviatile, *Salaria fluviatilis* (PERSAT, 1988). Ainsi la limite septentrionale du barbeau méridional se trouve sur le sous-bassin de l'Isère.

La distribution biogéographique actuelle des espèces autochtones de la faune piscicole rhodanienne est donc consécutive à la recolonisation post-glaciaire des sous-bassins et nous pouvons considérer qu'elle a peu changé avant les travaux de génie civil du 19^{ième} siècle (réalisation de jonctions interbassins par des canaux et de grands barrages) et les essais d'acclimatation de nouvelles espèces.

Plusieurs sections fluviales doivent être distinguées suite à l'histoire géologique du corridor rhodanien au cours des deux derniers millions d'années. Le Rhône amont, incluant le Haut-Rhône suisse et le lac Léman, a été totalement couvert par les glaces Würmiennes. Après le retrait glaciaire, la « Perte du Rhône » située à 42 kilomètres en aval de Genève, un profond canyon dans l'épaisse couche de calcaire Urgonien, constitue un obstacle majeur pour une recolonisation depuis l'aval. Selon PERSAT & KEITH (1997), quelques espèces pourraient avoir passé cette barrière naturelle, la truite (*Salmo trutta*), le vairon (*Phoxinus phoxinus*) et l'ombre commun (*Thymallus thymallus*). Des incertitudes subsistent quant à l'éventualité d'une colonisation naturelle du Rhône amont par d'autres espèces, et le statut autochtone de plusieurs espèces sur cette section fluviale n'est pas encore défini.

Originellement, de la Perte du Rhône à Avignon, le Rhône est un grand fleuve alluvial tressé caractérisé par sa puissance hydraulique et une forte charge sédimentaire largement entretenue par ses affluents alpins. Ses caractéristiques hydro-morphologiques permettent

l'existence d'une communauté piscicole rhéophile typique de la zone à barbeau (KREITMANN, 1932; PERSAT et al., 1995). Toutefois, du fait de la confluence de la Saône dont les caractéristiques physiques sont celles d'une grande rivière de plaine, le Rhône français est divisé en deux sections distinctes : le Haut-Rhône en amont de Lyon et le Bas-Rhône en aval jusqu'au delta camarguais.

7.3.2. Les grandes régions ichtyogéographiques

Sans prendre en compte l'axe fluvial du Rhône, CHANGEUX & PONT (1995b) ont identifié trois grandes régions ichtyogéographiques sur le bassin versant : le bassin de la Saône, le bassin de la Durance et les affluents méditerranéens du Rhône, le bassin de l'Isère en tant qu'unité alpine typique. Chaque ichtyorégion est essentiellement définie par les grands traits climatiques : frais et humide sur la Saône (régime océanique), sec et chaud au sud (régime méditerranéen), et froid en zone alpine sous l'influence des altitudes élevées. Globalement, la richesse piscicole est positivement corrélée au logarithme népérien de la surface du sous-bassin. A l'échelle intra-régionale, les principaux facteurs à l'origine de la présence (ou de l'absence) d'une espèce sont la pente du cours d'eau, la distance à la source, et le régime hydrologique des différents sous-bassins. Dans les Alpes, la température des eaux et le régime hydrologique sont largement contrôlés par l'altitude, un facteur majeur, explicatif de la présence et de la répartition des espèces. Dans le travail de CHANGEUX (1994) portant sur des données piscicoles contemporaines, les différences faunistiques entre les ichtyorégions intègrent également des espèces introduites. Les communautés piscicoles des rivières de plaine (bassin de la Saône) et d'altitude modérée provenant des hauteurs du Jura sont caractérisées par la présence de la bouvière (*Rhodeus amarus*), l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*), la lote de rivière (*Lota lota*), la grémille (*Gymnocephalus cernuus*), le poisson chat (*Ameiurus melas*) et la brème bordelière (*Blicca bjerckna*). Les communautés piscicoles alpines comptent la truite, le chabot (*Cottus gobio*), l'ombre commun et la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*). Dans les Alpes internes, des espèces allochtones telles que le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) peuvent être dominantes. Dans les cours d'eau du Sud-Est (Alpes méridionales), les assemblages piscicoles incluent le barbeau méridional, l'anguille (*Anguilla anguilla*), le toxostome, le sandre (*Sander lucioperca*), l'apron, le blageon (*Telestes souffia*) et la carpe (*Cyprinus carpio*) (CHANGEUX, 1995).

7.3.3. Les espèces allochtones

De sa source au delta, on dénombre 18 espèces allochtones sur le Rhône (Tableau VI). Hormis les espèces d'origine nord-américaines introduites volontairement, les autres espèces ont le plus souvent colonisé la Saône puis le Rhône via le canal du Rhône au Rhin dont la mise en service date de 1833. Par ailleurs, la jonction existante depuis 1846 entre le Rhin et le Danube a permis la progression de la colonisation d'est en ouest.

En 1860, la grémille (*Gymnocephalus cernuus*) a été trouvée sur le fleuve. L'espèce était autochtone dans les bassins versant de la Meuse, de la Moselle et du Rhin, et probablement dans l'Ognon, un affluent de la Saône. A la fin du 19^{ème} siècle, le hotu (*Chondrostoma nasus*) a colonisé les bassins français par les voies navigables. Initialement dans la Saône (vers 1840), il a atteint le Haut-Rhône français vers 1880 et la rivière Ain en 1903. La truite arc-en-ciel a été introduite dans le bassin versant du Rhône à la même époque. En 1920, deux autres espèces nord-américaines ont été trouvées dans le Rhône : le poisson-chat et la perche-soleil (*Lepomis gibbosus*). Au cours des années 1930, le sandre a colonisé le Rhône depuis la Saône, probablement arrivé dans cette rivière et son affluent le Doubs par le canal Rhin-Rhône aux alentours de 1910. Le gambusie (*Gambusia affinis*) a été introduit en Camargue en 1927 pour lutter contre les moustiques. Au cours des années 1940, l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) a été introduit pour la pêche et de petites populations se sont développées dans la section méridionale du fleuve. Le silure (*Silurus glanis*) a été signalé dans le Doubs vers 1930 puis introduit à des fins halieutiques

dans la Saône en 1975, il a ensuite colonisé le Bas-Rhône (première capture en 1987) puis le Haut-Rhône (première capture en 1997). Cette espèce a également été introduite dans plusieurs retenues, par exemple Vouglans sur la rivière Ain. Cette espèce considérée comme autochtone sur le Rhône au Miocène avait disparu au cours des glaciations. En 1989, le carassin argenté (*Carassius gibelio*) et le pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*) sont échantillonnés pour la première fois sur le Bas-Rhône, puis en 2003 sur le Haut-Rhône français. La carpe a été introduite par les Romains. Le carassin commun (*Carassius carassius*) a probablement colonisé le fleuve au cours du 18^{ème} ou au début du 19^{ème} siècle. Le carassin doré (*Carassius auratus*) a été introduit en France au 18^{ème} siècle à des fins ornementales. Parmi les observations récentes sur le Bas-Rhône, nous signalerons l'able de Heckel (*Leucaspis delineatus*) en 2001 et l'ide mélanote (*Leuciscus idus*) en 2009. Le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) est existant sur le Haut-Rhône suisse.

Tableau VI - Les espèces piscicoles allochtones du Rhône, de sa source au delta.

Famille		
<i>Espèce</i>	Nom commun	Signalement ou premières observations
Centrarchidae		
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linné, 1758)	Perche soleil	Bas-Rhône (1920)
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacépède, 1802)	Achigan à grande bouche	Bas-Rhône (1940)
Cyprinidae		
<i>Cyprinus carpio</i> Linné, 1758	Carpe commune	Période romaine
<i>Carassius carassius</i> (Linné, 1758)	Carassin	(?)
<i>Rhodeus amarus</i> (Bloch, 1782)	Bouvière	Associée à l'expansion de la carpiculture
<i>Carassius auratus</i> (Linné, 1758)	Carassin doré	France (XVIII ^{ème} siècle)
<i>Chondrostoma nasus</i> (Linné, 1758)	Hotu	Rhône (1880)
<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	Carassin argenté	Bas-Rhône (1989)
<i>Pseudorasbora parva</i> (Schlegel, 1842)	Pseudorasbora	Bas-Rhône (1989)
<i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel, 1843)	Able de Heckel	Bas-Rhône (2001)
<i>Leuciscus idus</i> (Linné, 1766)	Ide mélanote	Bas-Rhône (2009)
Ictaluridae		
<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	Poisson-chat	Rhône (1920)
Percidae		
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linné, 1758)	Grémille	Rhône (1860)
<i>Sander lucioperca</i> (Linné, 1758)	Sandre	Bas-Rhône (1930)
Poeciliidae		
<i>Gambusia affinis</i> Girard, 1859	Gambusie	Camargue (1927)
Salmonidae		
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	Truite arc-en-ciel	Rhône (1880)
<i>Salvelinus fontinalis</i> (Mitchill, 1815)	Saumon de fontaine	Rhône suisse (XIX ^{ème} siècle)
Siluridae		
<i>Silurus glanis</i> Linné, 1758	Silure glane	Bas-Rhône (1987)

7.3.4. Les poissons du Haut-Rhône suisse

Originellement, le Haut-Rhône suisse abrite 16 espèces autochtones appartenant à 7 familles (FATIO, 1882). Ce sont des espèces cryophiles (chabot, truite, ombre commun), des espèces rhéophiles telles que le spirilin (*Alburnoides bipunctatus*), le vairon, la loche franche (*Barbatula barbatula*) et des espèces limnophiles (le gardon - *Rutilus rutilus* -, le rotengle - *Scardinius erythrophthalmus* -, la tanche - *Tinca tinca*). Le caractère natif de plusieurs espèces, comme la lote de rivière (*Lota lota*), l'anguille, la perche (*Perca fluviatilis*) et certaines espèces thermophiles (gardon, rotengle, tanche) reste douteux en raison de la barrière naturelle de la Perte du Rhône. Parmi ces espèces, seules 9 sont encore présentes aujourd'hui (KÜTTEL, 2001; PETER & WEBER, 2004). La première (1863-1894) puis

seconde (1930-1960) correction du Rhône pour une protection contre les crues ont réduit l'hétérogénéité des habitats de la plaine alluviale et la diversité piscicole. Parmi les six espèces introduites (le carassin, la carpe, la lote, l'épinoche⁷, la truite arc-en-ciel et le saumon de fontaine), la carpe et la lote ne sont plus présentes.

7.3.5. Les poissons du lac Léman

Trente espèces sont présentes dans le lac ; dix-huit sont autochtones et douze ont été introduites dont la truite arc-en-ciel et le saumon de fontaine. L'omble chevalier *Salvelinus alpinus* et le corégone *Coregonus lavaretus* ne sont naturellement présents que dans le lac Léman et le lac du Bourget. Ces espèces sont sensibles à l'eutrophisation et, à ce jour, les populations de l'omble chevalier sont entretenues par des déversements. Les deux formes initiales du *C. lavaretus* présentes dans le lac ont disparu au début du 20^{ème} siècle, remplacées par d'autres formes de la même espèce (GERDEAUX, 2001). Ces salmonidés, la perche, et dans une moindre mesure la truite (forme lacustre) et le brochet (*Esox lucius*) sont des espèces prisées par les pêcheurs amateurs et professionnels (<http://www.cipel.org/sp/>). Le statut natif de plusieurs espèces, notamment les cyprinidés thermophiles, reste douteux. L'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*) a été introduite dans un étang près d'Hermance (bassin du Léman) en 1872 et était probablement dans le lac à la fin du 19^{ème} siècle (FATIO, 1890). La lote aurait été introduite au cours du 15^{ème} siècle (LUNEL, 1874).

7.3.6. Les poissons du Haut-Rhône, de Genève à Lyon

GOBIN (1868) a divisé le Haut-Rhône français en 5 sections. Dans la première section allant de la frontière (24 km en aval du lac Léman) au « Parc » (57 km en aval du lac Léman, en aval immédiat du barrage de Génissiat) se trouvaient la truite fario, la chevaine (*Leuciscus cephalus*), la lote, le goujon (*Gobio gobio*) et le vairon. Le barbeau (*Barbus barbus*), la carpe, le brochet et la perche commune étaient présents uniquement en aval de la Perte du Rhône. En amont du canyon, le barbeau a été introduit en 1888 (ANONYMOUS, 1938) et la brème (*Abramis brama*) au début du 20^{ième} siècle (après 1938). Selon KREITMANN (1932), quelques anguilles auraient été à même de franchir la Perte du Rhône. Les eaux froides et turbides de l'Arve, affluent proche de l'exutoire du lac Léman, baissent la température du Rhône en période de fonte neigeuse et glaciaire, et les espèces observées dans l'Arve (truite, ombre commun, chevaine et goujon) ont probablement colonisé le fleuve en aval de la confluence (KREITMANN, 1932).

La seconde section entre le « Parc » et l'exutoire du lac du Bourget ou Canal de Savières présentait une diversité d'habitats exceptionnelle car le Rhône courrait dans une large plaine alluviale avec de nombreux bras de tressage en Chautagne, puis traversait une vaste zone marécageuse : les Marais de Lavours. Les nombreuses îles lenticulaires étaient utilisées par les espèces phytophiles pour leur reproduction (brochet, perche, tanche, carpe). La plaine d'inondation était considérée comme la plus productive du Haut-Rhône. Les affluents (Les Usses, la Dorche et le Fier) étaient communément utilisés par plusieurs espèces pour frayer et en tant que refuges pendant les crues. La truite, l'ombre commun, le barbeau fluviatile, le brochet, l'anguille, la chevaine, la vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et le goujon étaient les espèces les plus abondantes ((GOBIN, 1868; ANONYMOUS, 1938). La population d'ombres était très importante. Parmi les espèces allochtones, les densités de population du hotu étaient particulièrement élevées dans la section fluviale tressée, et des migrations remarquables dans les affluents étaient alors signalées, notamment dans Les Usses et le Fier (ANONYMOUS, 1938).

La troisième section, définie de l'exutoire du lac du Bourget (canal de Savière) jusqu'à Saull-Brénaz (de 84 km à 154 km en aval du lac Léman), avait de larges plaines d'inondation. Cette section présente également trois goulets d'étranglement et 13 affluents.

⁷ Concernant la lote et l'épinoche, voir le paragraphe sur les poissons du lac Léman

Le Guiers en provenance des montagnes de la Chartreuse est le principal affluent et héberge la truite, l'ombre, la lote, le barbeau, le chevaine et la vandoise. La blennie (*Salaria fluviatilis*), une espèce abondante dans le lac du Bourget, était essentiellement présente en aval du canal de Savières (LEGER, 1942-1944). L'apron était également présent (LEGER, 1942-1944). Cette troisième section était également la limite amont de la migration rhodanienne de l'alose du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*) et de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*). La lote était également abondante du fait de la présence de petits affluents et de nombreux canaux de drainage dans les marais. L'abondance de l'ombre était moindre en regard de la section précédente. Dans la partie aval, la productivité piscicole était plus faible parce que les annexes fluviales étaient moins nombreuses. L'anguille était abondante à la fois dans le Rhône et ses affluents.

La quatrième section allant de Sault-Brénaz à la confluence de l'Ain était considérée comme relativement pauvre comparativement aux sections de l'amont. Dans ce tronçon, le fleuve présente un chenal unique, coule entre des rives abruptes ; les îles sont rares et il n'existe qu'un seul affluent : la Bourbre. Les principales espèces signalées étaient le brochet, la tanche, le barbeau, le chevaine, la perche, la carpe et la brème.

La dernière section allant de la confluence de l'Ain jusqu'à celle de la Saône à Lyon s'écoule dans une zone à méandres jusqu'à Jons suivie d'un tronçon tressé de 15 km de Jons à Lyon. Les travaux de génie civil entrepris après 1850 pour améliorer la navigation ont court-circuité les méandres, à l'heure actuelle isolés du chenal (BRAVARD, 1987; ROUX et al., 1989). La plaine alluviale offrait une grande diversité fonctionnelle, propice à la biodiversité piscicole où se côtoient les espèces rhéophiles : la truite, la vandoise, le barbeau, le chevaine, le vairon, le goujon, et les espèces lémitophiles : le brochet, la carpe, la tanche, la perche, la brème, la gardon, le rotengle. La présence du blageon (a été citée sur le Haut-Rhône français par KREITMANN (1932) et LEGER (1942-1944). Celle de la soiffe (le toxostome) a été signalée par GOBIN et il était vraisemblablement présent au moins de la troisième section jusqu'à Lyon (LEGER, 1945-1948a). Sa présence a été également signalée plus tard dans la dernière section (ANONYMOUS, 1938). Le chabot a été mentionné dans le Rhône mais était certainement plus abondant dans les affluents. La bouvière n'avait été mentionnée que dans la cinquième section mais aurait été également présente plus en amont.

A ce jour, la communauté piscicole du fleuve entre Genève et Lyon est fortement affectée par la présence de 10 aménagements hydroélectriques. Dans le Rhône suisse en aval du lac Léman, le suivi piscicole a montré l'existence de 28 espèces, comprenant la truite, l'ombre, le brochet, la brème, l'ablette (*Alburnus alburnus*), le barbeau, le spirilin, le goujon, le chevaine, le blageon, le vairon, la bouvière, le rotengle, la tanche, la loche franche, le poisson-chat, l'épinoche et la perche commune. Quelques espèces présentes sont rares : l'apron, le chabot, la carpe et la perche-soleil. Il faut signaler les rares occurrences d'espèces inféodées au lac Léman dans la section aval telles que l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), de corégones (*Coregonus* spp) et de la lote. L'anguille et le carassin doré sont capturés occasionnellement, essentiellement suite à de récentes introductions (S.F.P.N.P. Genève, 2003).

Le barrage de Génissiat construit entre 1937 et 1947 a représenté la première et la plus haute barrière à la migration des poissons. Les fluctuations journalières du débit associées à la production hydroélectrique de cet ouvrage ont été régulées par la construction en 1951 de l'ouvrage de compensation de Seyssel situé 7.5 km en aval de Génissiat. La communauté piscicole de ce secteur est relativement pauvre. Les ouvrages de basse chute de construction plus récente, réalisés entre Seyssel et Lyon ont fragmenté le fleuve, créé de nouveaux espaces aquatiques artificiels (retenues et canaux). Malgré une forte altération du régime hydrologique, les sections court-circuitées du fleuve offrent encore des habitats favorables à la plupart des espèces, notamment les espèces lithophiles. Le Haut-Rhône est

régulièrement affecté par des opérations de vidanges des ouvrages amont qui interceptent les flux sédimentaires de l'Arve.

A l'heure actuelle, 44 espèces existent sur le Haut-Rhône. Les anguilles font l'objet de réintroduction. Le toxostome est très rare. Des populations naturelles de truites et d'ombres sont encore présentes en amont de Lyon, au moins dans les tronçons court-circuités. La communauté cyprinicole est dominée par le chevaine, le barbeau, le spirilin, le goujon et le vairon. La vandoise, le blageon et le hotu sont devenus moins fréquents, vraisemblablement du fait d'une altération de l'habitat. Les retenues lentiques, ainsi que les annexes restantes, constituent des habitats pour les espèces limnophiles (rotengle, tanche, carassin, carpe, brochet, perche-soleil, et localement la loche d'étang – *Misgurnus fossilis*) ainsi que les espèces potamophiles (brèmes, ablette, sandre, carpe, grémille, silure, bouvière et perche commune) (PERSAT et al., 1995; KLINGEMAN et al., 1998). La blennie fluviatile est régulièrement capturée à proximité du canal de Savières, par contre la lote est rare. Les corégones issus du lac Léman ou du lac du Bourget sont échantillonnés périodiquement. Le changement climatique actuel, à l'origine d'une hausse de la température des eaux fluviales, est considéré comme responsable de la régression de la vandoise et de l'augmentation des abondances des espèces thermophiles comme le chevaine, le barbeau et le spirilin (DAUFRESNE et al., 2003).

7.3.7. Les poissons du Bas-Rhône

KRETMANN (1932) a signalé que les mêmes espèces, à l'exception de l'esturgeon *Acipenser sturio* et des espèces euryhalines, étaient trouvées sur les 248 km du Bas-Rhône, classé comme zone à barbeau. Cette particularité est avant tout le fait de la puissance du fleuve associée à des apports alpins sur la totalité de son cours, une pente moyenne relativement élevée (50 cm/km) susceptible d'atteindre 1.44 m/km à mi-parcours entre l'Isère et l'Ardèche. Le substrat alluvial reste grossier avec des sables et des limons le long des rives et dans les annexes. En raison des influences méditerranéennes sur l'hydrologie rhodanienne, le Bas-Rhône a été divisé en deux entités, l'une en amont allant de la Saône à l'Eyrieux (125 km), l'autre en aval depuis l'Eyrieux jusqu'à la Durance (123 km). La section amont comptait au moins 36 espèces, comprenant entre autres les grands migrateurs (alose, lamproies marine et fluviatile, anguille), la truite, l'ombre, la lote, le chabot, la vandoise, le blageon, le toxostome, l'ablette, le gardon, le barbeau, les brèmes, la perche commune, la grémille, la loche franche, l'apron, la blennie et le brochet. Le chenal de la section aval était instable avec une forte charge de fond et en suspension. Les lônes et autres annexes étaient plus nombreuses dans cette partie du fleuve, propices à la reproduction et aux nurseries pour les juvéniles. La plaine alluviale avait déjà été affectée par les travaux d'endiguements au cours du 19^{ième} siècle. Le déclin largement amorcé de l'esturgeon avait été signalé en 1930. Rare, il était encore capturé jusqu'à la confluence de l'Ardèche.

A l'heure actuelle, 44 espèces peuvent être trouvées sur le Bas-Rhône. L'esturgeon a disparu. Le bas-Rhône se distingue du Haut-Rhône par l'absence de l'ombre commun, la quasi-absence de la vandoise, de la lote, la rareté de la truite, du vairon, du blageon, du toxostome. Par contre, les densités de l'anguille sont nettement plus importantes qu'à l'amont. L'alose peut être trouvée jusqu'à Montélimar. Les 12 ouvrages hydroélectriques au fil de l'eau ont modifié la morphologie du chenal, les régimes hydrologiques et thermiques, ainsi que le substrat. La présence de plusieurs centrales thermiques (à flamme ou nucléaire) participe à la hausse des températures du fleuve. Cette section fluviale soumise à des rejets urbains et industriels importants a été plusieurs fois affectée par des pollutions toxiques et brutales.

De la Saône à l'Isère, la communauté piscicole est essentiellement constituée d'espèces potamophiles et limnophiles telles que le gardon, le chevaine, l'ablette, la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*), la tanche, le rotengle, la carpe, le sandre, le poisson-chat et la perche-soleil, bien adaptées aux flots ralentis des sections régulées ayant des températures

élevées et une pollution modérée. Le barbeau et le hotu sont encore présents dans les sections court-circuitées. La blennie fluviatile est peu abondante. De l'Isère à l'Ardèche, la communauté est sensiblement différente du fait de la présence régulière d'espèces rhéophiles telles que le spirin, le chabot, le goujon, le hotu, le barbeau, et dans une moindre mesure du blageon et du toxostome. La température est moins élevée, abaissée par l'arrivée de l'Isère. La pente du lit est importante. Les sections court-circuitées sont plus longues qu'à l'amont, garantes d'espaces favorables pour la nutrition et la reproduction des espèces rhéophiles et lithophiles.

La bouvière et le pseudorasbora sont présents sur la totalité du Bas-Rhône et leurs effectifs sont en hausse.

7.3.8. Les poissons du Bas-Rhône inférieur et du delta

En aval du dernier ouvrage de basse chute, celui de Vallabrègues, le Rhône file vers Arles avant de se diviser en deux bras de taille différente enserrant la Camargue, et actuels chenaux du delta. Entre la restitution de Vallabrègues et Arles, plusieurs casiers artificiels formés lors de l'endiguement du 19^{ème} siècle connectés avec le chenal et deux bras morts constituent les annexes favorables pour la reproduction des espèces et les nurseries (POIZAT & PONT, 1996; NICOLAS & PONT, 1997). Les espèces dominantes étaient le chevaine, la perche-soleil, la brème bordelière, le gardon, le hotu et le goujon. Les autres espèces telles que l'ablette, le poisson-chat, le rotengle, la brème commune, la tanche et le barbeau étaient moins représentées.

La communauté piscicole compte actuellement 44 espèces dont 11 espèces euryhalines (l'athérine - *Atherina boyeri*, le gobie noir - *Gobius niger*, le gobie tacheté - *Pomatoschistus microps*, le loup - *Dicentrarchus labrax*, le mullet lippu - *Chelon labrosus*, le mullet doré - *Liza aurata*, le mullet porc - *Liza ramada*, le mullet sauteur - *Liza saliens*, le mullet cabot - *Mugil cephalus*, le flet - *Platichthys flesus*, le syngnathe - *Syngnathus abaster*). Quatre espèces sont des grands migrants. Les barrières physiques créées par les aménagements ayant réduit la distribution longitudinale des espèces euryhalines. Initialement, le loup et les mulets porc et cabot migraient jusqu'à Avignon, à 85 km de la mer (KREITMANN, 1932). Actuellement, le loup est arrêté par les ouvrages de l'aménagement de Vallabrègues. Les mulets bénéficient des mesures de réhabilitation de l'alose et se trouvent encore jusqu'au droit de la confluence de la Durance. Le mullet porc (*Liza ramada*) est le plus abondant.

7.3.9. L'espèce endémique du Rhône : l'apron

L'apron *Zingel asper* est un petit percidé endémique du bassin du Rhône. En 1900, il était largement distribué sur le Rhône et ses affluents ; uniquement absent au-delà de la Perte du Rhône. Actuellement localisé sur quelques sites dans les sous-bassins Beaume-Ardèche-Chassezac, Durance-Verdon-Buëch, Loue et bassin suisse du Doubs. Les deux plus grandes sous-populations se trouvent sur les bassins de la Beaume et de la Durance. Quelques individus ont encore été capturés sur l'Ain en 1989, et plus récemment dans la Drôme. Sur le Rhône, de rares individus ont été capturés entre 1950 et 1980, à Yenne (proximité du lac du Bourget) et dans le canal de Miribel en amont de Lyon. La dernière observation date de mai 1985 à Vernaison 12 km en aval de Lyon. Les principales raisons évoquées de ce déclin sont (1) la disparition générale des régimes hydrologiques naturels, (2) la dégradation de la qualité des eaux, (3) les extractions de granulats et autres travaux entrepris directement dans le lit des cours d'eau, (4) une régression des habitats favorables utilisés par cette espèce, particulièrement abondants dans une plaine alluviale tressée. Hormis un travail de LEGER et STANKOVITCH (1921), il aura fallu attendre le travail bibliographique de BOUTITIE (1984) pour que cette petite espèce en voie de disparition suscite enfin des efforts particuliers quant à l'acquisition de connaissances biologiques et écologiques. Un programme de conservation a été initié pour protéger les rares individus restants et restaurer la population (Programme Life Apron, site du CREN Rhône-Alpes).

7.3.10. Les poissons migrateurs du Rhône

Sur le Rhône et dans la partie aval de ses grands affluents, 27 barrages ou seuils restreignent la progression sur l'axe migratoire. Originellement, cinq espèces migratrices existaient sur le bassin versant du Rhône : l'esturgeon (*Acipenser sturio*), l'alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*), la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*). L'esturgeon signalé comme abondant au Moyen-Age a régressé dès les 13^{ième} et 14^{ième} siècles, victime de la surpêche. Le déclin s'est accéléré au cours du 19^{ième} et au début du 20^{ième} siècle avec les grands travaux de génie civil. Les premiers signes de cette régression ont été donnés par ROULE (1923). Les derniers signalements datent de 1954-1955 près de la confluence de l'Ardèche, de 1969-1970 dans l'embouchure, de 1989 en Méditerranée à proximité du delta. L'espèce est désormais totalement protégée, et des projets de restauration sont en cours de développement pour l'axe rhodanien.

La biologie et l'écologie des deux lamproies sont peu documentées. Ces deux espèces coexistent en Camargue et dans le Petit Rhône. Leur distribution vers l'amont se limite à Avignon et la partie aval de la Durance.

Deux espèces d'aloses ont été mentionnées par LEGER (LEGER, 1945-1948b), l'alose feinte du Rhône et la grande alose (*Alosa alosa*). Actuellement, seule l'alose du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*) considérée comme un groupe distinct de l'alose feinte (*Alosa fallax*) est présente sur le Rhône (LE CORRE et al., 1997; LE CORRE et al., 1998; LE CORRE et al., 2000; LE CORRE et al., 2005). La grande alose aurait fait l'objet d'introductions dans les années 1950 et quelques hybrides (*A. fallax* x *A. alosa*) ont été capturés dans la rivière Aude, un petit fleuve côtier, identifiés comme génétiquement très proches de *Alosa fallax*. La grande alose n'a par contre pas été retrouvée dans le Rhône.

Historiquement, l'alose atteignait Auxonne sur la Saône à 200 km de Lyon et a été signalée sur le Doubs à Dole. Sur le Haut-Rhône, elle remontait jusqu'au Canal de Savières. Sur l'Isère, elle a été signalée jusqu'à Grenoble. Les sections aval des affluents méridionaux (Ardèche, Cèze, Durance, Gard) abritaient également des frayères. La première barrière sur la Saône a été le barrage de la Mulatière construit en 1882 à l'amont immédiat de la confluence du Rhône. En 1921, l'accès de l'Isère est stoppé par la construction du barrage de Beaumont-Monteux (~7 km en amont de la confluence du Rhône). La progression sur le Haut-Rhône est arrêtée en 1937 lors de la mise en service du barrage de Jons. L'usage des frayères du Bas-Rhône a été successivement interrompu par les ouvrages de Donzère-Mondragon (1952) et Vallabrègues (1974). Très récemment, la reproduction de l'alose sur le Rhône n'allait pas au-delà du dernier ouvrage hydroélectrique. Depuis 1994, un vaste programme de restauration a été mis en place afin de donner un accès progressif vers l'amont et vers les frayères des affluents méridionaux. De jeunes aloses ont été capturées en 2005 et 2006 sur la retenue de Montélimar à 165 km de la mer, preuve d'une remontée des adultes au-delà de 5 ouvrages.

Les informations sur la population d'anguilles sur le Rhône sont peu abondantes et peu de données sont disponibles pour évaluer les stocks rhodaniens. Quelques données recueillies auprès des pêcheurs amateurs et professionnels sont disponibles dans la littérature. Selon un rapport du CSP (CHANGEUX, 2004) relatif aux captures des professionnels faites entre 1999 et 2002, les moyennes annuelles seraient de 9239 kg/an dans le Rhône deltaïque et de 7275 kg/an sur le Bas-Rhône. CRIVELLI (1998) a indiqué des biomasses comprises entre 3.0 et 2269 kg/ha dans des canaux de Camargue, et de 0.2 à 40 kg/ha dans les étangs. A partir des captures par pêche électrique réalisées de 1979 à 2005 dans le cadre des suivis piscicoles des sites industriels, une étude a évalué les changements de densités et de structures en taille. Plus de 400 campagnes de pêche ont été utilisées et 4 classes de taille prises en compte. Les plus petites tailles sont essentiellement observées en aval de Vallabrègues, montrant l'effet barrière de cet ouvrage. Les grandes anguilles

(Longueur > 400 mm, > 4 ans) dominant dans les captures de l'amont. Les plus grands individus sont encore présents à 300 km de la mer bien que les captures soient très basses. Le suivi piscicole (données de 1980 à 2005) du troisième barrage en amont de Lyon a montré une décroissance régulière des effectifs au fur et à mesure de la construction des autres ouvrages. Parmi les facteurs explicatifs de cette régression de la population d'anguilles, il y a d'une part le déclin général à large échelle de l'espèce et d'autre part l'absence d'habitats favorables en aval du premier ouvrage. Comparativement à d'autres grands cours d'eau comme la Loire, l'abondance des anguilles dans le Rhône est faible, 10 à 100 fois plus basse. La présence d'ouvrages à proximité du delta est actuellement considérée comme la principale explication de ces faibles densités. Il ne faut pas négliger les captures de civelles, largement sous-évaluées. Par ailleurs, des études examinent les effets potentiels d'un nématode parasite *Anguillicola crassus* dont les taux d'infection peuvent atteindre 70% chez les plus grandes anguilles en Camargue (LEFEBVRE et al., 2002).

7.3.11. Quelques exemples

Au même titre que les groupes vus précédemment, nous pouvons être en présence d'espèces allochtones arrivées de longue date et considérées comme intégrées parmi la faune piscicole locale (Figure 19). Cela peut être le cas de la grémille (Percidae, *Gymnocephalus cernuus*) et de la perche-soleil (Centrarchidae, *Lepomis gibbosus*).

La grémille est originaire de l'Europe du nord et de l'est. Autochtone dans l'est de la France, son aire d'extension s'est développée via les canaux, l'usage comme vif par certains pêcheurs d'où son introduction possible dans d'autres régions.

La perche-soleil est originaire d'Amérique du Nord. Introduite au 19^{ième} siècle, elle s'est progressivement disséminée sur le territoire. Cette espèce eurytherme est considérée comme « nuisible » bien que cette réputation soit largement discutable. Construisant un nid pour sa reproduction, elle est particulièrement abondante dans les parties lenticules, végétalisées, peu profondes et peu turbides du système fluvial.

Des espèces peuvent avoir un caractère invasif lors de leur arrivée dans de nouveaux milieux puis avoir tendance à régresser (Figure 20). C'est le cas du poisson-chat (Ictaluridae, *Ameiurus melas*). Cette espèce a été introduite au 19^{ième} siècle et s'est progressivement répandue sur l'ensemble du territoire, dans les étangs, plans d'eau, zones calmes peu courantes des cours d'eau. Tolérante vis-à-vis du réchauffement estival et des faibles teneurs en oxygène, elle occupe préférentiellement les milieux annexes sur le fleuve.

Un autre poisson, facilement comparé au poisson-chat du fait d'une ressemblance morphologique mais d'une toute autre taille, est en train d'envahir les eaux rhodaniennes. Il s'agit du silure (Siluridae, *Silurus glanis*), une espèce rustique et thermophile. D'origine eurasienne, elle a été introduite dans le Doubs aux environs de 1850, puis a progressivement colonisé l'axe Saône-Rhône. Toutefois sa présence est avérée au Tertiaire, avant les glaciations. Ayant un grand intérêt halieutique, elle présente une forte expansion. Cette espèce acclimatée est classée en annexe III de la convention de Berne.

De nombreux poissons allochtones ont indirectement bénéficié des transferts aquacoles (Figure 21). C'est vraisemblablement le cas de deux cyprinidés asiatiques : le carassin argenté (*Carassius gibelio*) et le pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*). Ce dernier a également été trouvé dans des lots de poissons destinés à la pêche au vif.

Le pseudorasbora a eu une expansion rapide via la Saône et le Rhône (cf étangs de Dombes) par introduction accidentelle et/ou volontaire. La femelle est très prolifique d'où des effectifs importants facilitant sa dissémination. Le carassin argenté a été initialement introduit au 19^{es}. dans l'est de la France avec des lots de carpes.

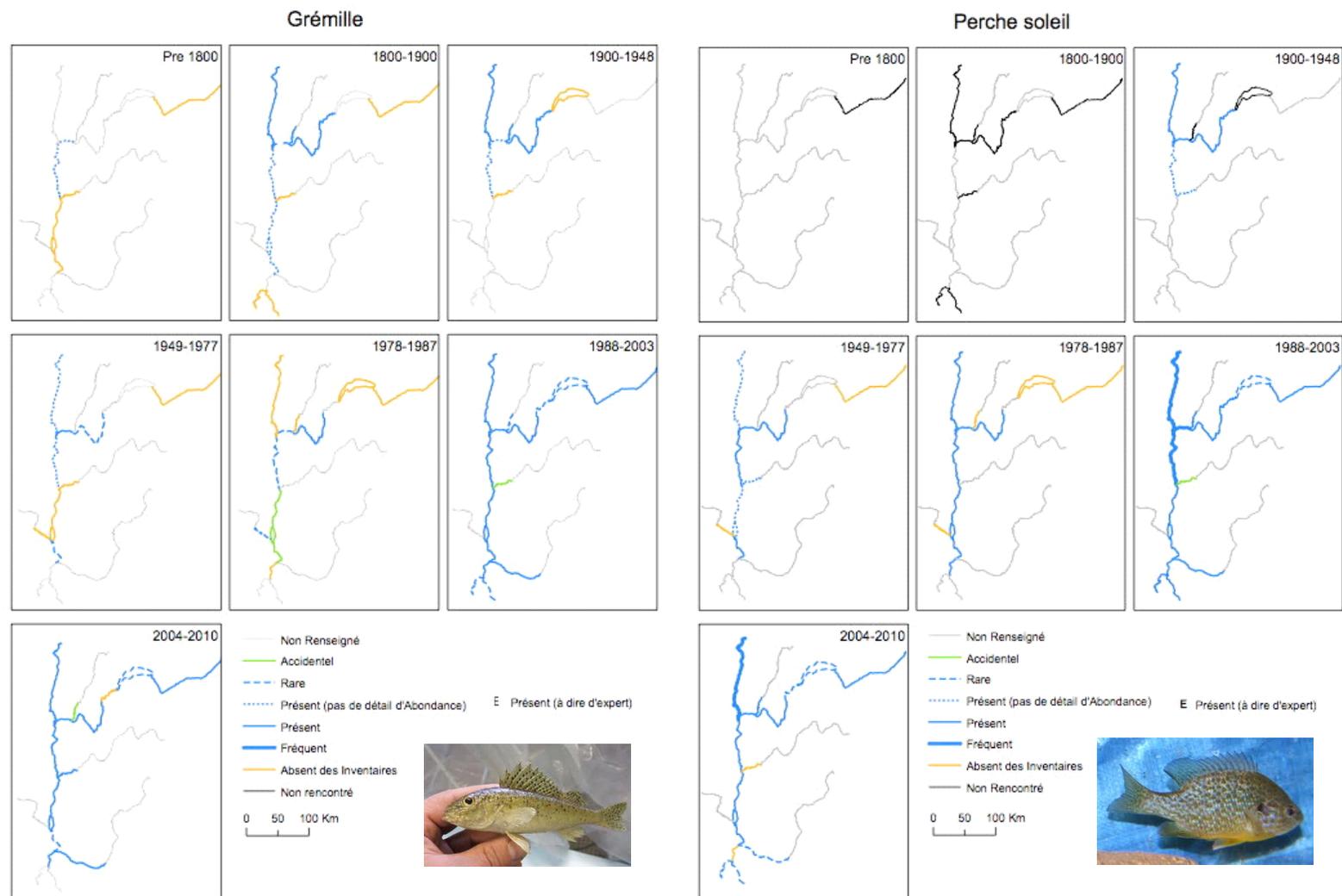


Figure 19 - Deux espèces allochtones d'introduction ancienne, totalement acclimatées parmi la faune locale : la grémille (*Percidae, Gymnocephalus cernuus*) et de la perche-soleil (*Centrarchidae, Lepomis gibbosus*).

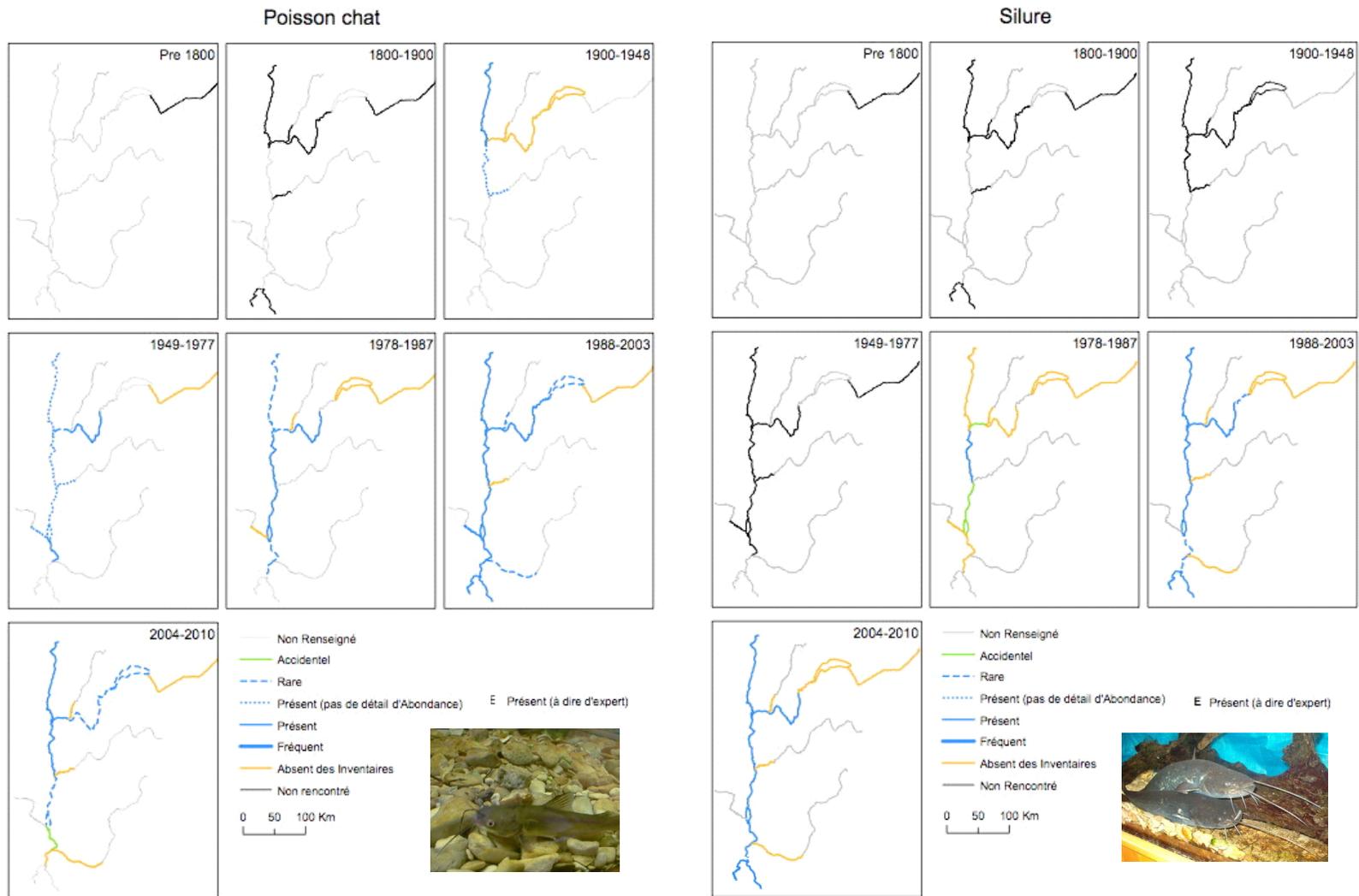


Figure 20 - Evolution spatio-temporelle de la répartition d'une espèce invasive ancienne (le poisson-chat, Ictaluridae, *Ameiurus melas*) vs une espèce invasive récente (le silure glane, Siluridae, *Silurus glanis*).

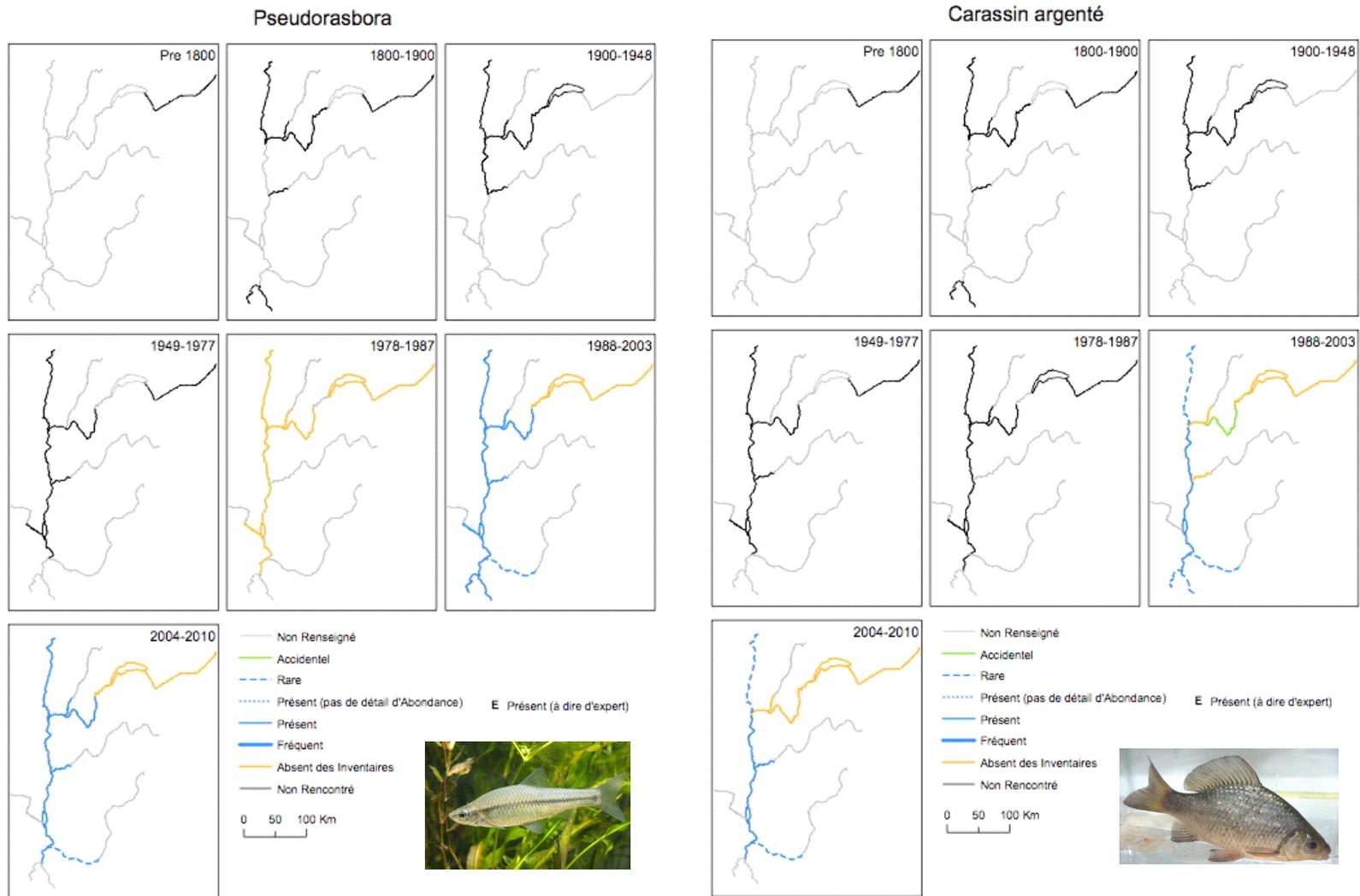


Figure 21 - Répartition de deux cyprinidés invasifs, d'introduction récente: le pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*) et le carassin argenté (*Carassius gibelio*).

8. Conclusion

Les discussions qui ont accompagné la réalisation de ce travail de synthèse ont débouché sur la mise à disposition d'un atlas cartographique accompagné d'un rapport technique donnant les éléments essentiels permettant de comprendre la distribution spatiale actuelle des organismes aquatiques sélectionnés dans cette étude (macrophytes, macro-invertébrés et poissons). Il est possible d'illustrer diverses tendances exprimées par l'exploitation de cette base.

La constitution d'une base de données dédiée à la problématique et l'expression cartographique des données constituent un outil simple, permettant d'accéder rapidement à une information détaillée, et potentiellement évolutif en offrant une architecture utilisable lors de développements futurs. Il s'agit donc probablement d'une première étape. En effet, cette synthèse est essentiellement basée sur une recherche bibliographique, sur les propres données des trois organismes impliqués, ainsi que sur les informations obtenues par consultation d'experts extérieurs. Il n'a pas la prétention d'être exhaustif. Des retours critiques et complémentaires sont souhaités suite à la diffusion de ce document auprès des usagers, des acteurs du fleuve et des structures de protection et de conservation des habitats et des espèces afin d'actualiser, compléter, corriger ces premières données.

Il apparaît nécessaire de faire « vivre » et évoluer ces bases de données. L'évolution vers un outil de consultation de type "cartoweb" pourrait constituer la prochaine étape de ce travail, permettant un affichage plus souple des données et des procédures d'agrégation utiles.

Le travail de synthèse réalisé dans cet atlas permet d'envisager de compléter la base de données avec des données disponibles dans les différentes bases de données des organismes travaillant sur le fleuve et ses affluents. Il pourrait permettre une consultation cartographique de données élémentaires (occurrences d'espèces, abondances moyennes, évolutions temporelles, etc..) à différentes échelles spatiales (possibilité d'agrégation des données grâce à un outil cartographique). Une sélection pertinente des informations est à prévoir en amont. Il serait souhaitable d'envisager une consultation des données via le WEB et donc un développement de type WEB-SIG. La poursuite de ce travail pourrait se révéler utile et constituer un outil convivial de consultation des données existantes. Cette option soulève néanmoins des questions quant au pilotage et à la réalisation technique de ce travail ainsi qu'aux modalités d'hébergement du site de consultation.

9. Bibliographie

9.1. Bibliographie relative à la végétation

ARALEP (2011a) : Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint-Alban - Saint-Maurice. Année 2010. Rapport à EDF CNPE de St-Alban.

ARALEP (2011b) : Suivi de l'évolution des herbiers de macrophytes du Rhône en amont du CNPE de Cruas – Meysse durant l'été 2010. Etude conjointe ARALEP - Mosaïque Environnement pour EDF CNPE de Cruas.

BORNETTE G., PIEGAY H., CITTERIO A., AMOROS C., GODREAU V. (2001) : Aquatic plant diversity in four river flood plains : a comparison at two hierarchical levels. *Biodiversity and Conservation* 10 : 1683-1701.

CEMAGREF (2011) : Évaluation et suivi des impacts des rejets thermiques du Centre de Production Thermique d'Aramon (Gard). Actualisation des données. Résultats 2010. Rapport CEMAGREF Aix-en-Provence au CPT d'Aramon.

CNR (1986) : Etude des manifestations de l'eutrophisation sur le Bas-Rhône. Rapport à l'Agence de l'Eau RM & C.

OLIVIER J.M., CARREL G., LAMOUREUX N., DOLE-OLIVIER. M.J., MALARD F., BRAVARD J.P., ALOROS C. (2009) : The Rhône River basin.. - In : TOCKNER K., UEHLINGER U. & ROBINSON C.T. (Eds), *Rivers of Europe*. Elsevier Publishers : 247-295.

9.2. Bibliographie relative à la macrofaune benthique

BADY P. & FRUGET J.F. (2006) : Etude thermique globale du Rhône. Phase 3. Influence de la variabilité hydroclimatique 1985-2004 sur les peuplements de macroinvertébrés. Rapport conjoint ARALEP - LEHF Université Lyon 1 à EDF DTG.

BIJ DE VAATE, A. & BEISEL, J.-N. (2011): Range expansion of the quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Western Europe: first observation from France. - *Aquatic Invasions* 6: S71-S74.

BIJ DE VAATE, A., JAZDZEWSKI, K., KETELAARS, H.A.M., GOLLASCH, S. & VAN DER VELDE, G. (2002): Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 1159-1174.

CASTELLA E. (1987) : Apport des macroinvertébrés aquatiques au diagnostic écologique des écosystèmes abandonnés par les fleuves. Recherches méthodologiques sur le Haut-Rhône français. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon I.

CTGREF (1977) : Etude écologique du Rhône. Sites de Bugey, Chavanay et Tricastin. Etat de référence. Division Q.E.P.P., Groupements d'Anthony, Aix-en-Provence et Grenoble, Rapport à EDF.

CEMAGREF (1984) : Centrales de Cruas-Meysse et de Tricastin. Rapport de surveillance de l'environnement. Rapports Groupement d'Aix-en-Provence à EDF.

DAUFRESNE M., BADY P. & FRUGET J.F. (2007) : Impacts of global changes and extreme hydro-climatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, Special issue on the impact of climate change on aquatic ecosystems, 151: 544-559.

DELAUNAY, P., HUBICHE, T., BLANC, V., PERRIN, Y., MARTY, P. & DEL GIUDICE, P. (2012): *Aedes albopictus* en France métropolitaine. - *Annales de Dermatologie et de Vénérologie* 139: 396-401.

DESSAIX J., FRUGET J.F., OLIVIER J.M. & BEFFY J.L. (1995) : Changes of the macroinvertebrate communities in the dammed and by-passed sections of the French Upper Rhône after its regulation. *Regulated Rivers*, 10 (2-4) : 265-279.

DESSAIX J., ROUX A.L., TACHET H., BOURNAUD M., CHESSEL D. (1988) : The changes in macrobenthic communities in the French Upper Rhône after the completion of three hydro-electric development schemes. Congrès FISORS II, Loughborough (GB), juillet 1988.

DESSAIX J., OLIVIER J.M. & ROUX A.L. (1987) : Evolution des peuplements benthiques dans les parties endiguées et court-circuitées du Rhône. Colloque de l'AFIE, "La gestion des milieux écologiques", Bordeaux, mai 1987.

DEVIN, S., BOLLACHE, L., NOEL, P.Y. & BEISEL, J.N. (2005): Patterns of biological invasions in French freshwater systems by non-indigenous macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 551: 137-146.

DOLEDEC S., DESSAIX J. & TACHET H.(1995) : Changes within the Upper Rhône River macro-benthic communities after the completion of three hydroelectric schemes : anthropogenic effects or natural change ? *Arch. Hydrobiol.*, 136 (1) : 19-40.

FRUGET J.F., TACHET H. & PONT D. (1995) : The structure of macroinvertebrate communities in the Rhône River delta area. International Symposium "The Ecology of Large Rivers", Krems (Allemagne).

FRUGET J.F. (1991) : The impact of river regulation on the lotic macroinvertebrate communities of the Lower Rhône, France. *Regulated Rivers* 6 (4) : 241-255.

FRUGET J.F. (1989) : L'aménagement du Bas-Rhône. Evolution du fleuve et influence sur les peuplements de macroinvertébrés benthiques. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon I.

GOURRET, P. (1897): Les étangs saumâtres du Midi de la France et leurs pêcheries. *Annales du Musée d'histoire naturelle de Marseille - Zoologie*, Tome V, Mémoire N°1, Edition Mouillot Fils Ainé, Marseille, 386 p.

LAFON J. (1953) : Recherches sur la faune aquatique littorale du Rhône à Lyon. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon*, 22 (2) :36-46.

MOUTHON, J. (2001): Life cycle and population dynamics of the Asian clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) in the Saone River at Lyon (France). - *Hydrobiologia* 452: 109-119.

OLIVIER J.M., CARREL G., LAMOUREUX N., DOLE-OLIVIER. M.J., MALARD F., BRAVARD J.P., ALOROS C. (2009) :The Rhône River basin.. - In : TOCKNER K., UEHLINGER U. & ROBINSON C.T. (Eds), *Rivers of Europe*. Elsevier Publishers : 247-295.

PERRIN J.F. (1978) : Signification écologique des peuplements benthiques du Haut-Rhône français. Thèse de 3ème cycle, Univ. Lyon I.

USSEGLIO-POLATERA P. & BOURNAUD M. (1989) : Trichoptera and ephemeroptera as indicators of environmental changes of the Rhône River at Lyons over the last twenty-five years. *Regulated Rivers*, 4 :249-262.

USSEGLIO-POLATERA P. (1985) : Evolution des peuplements de Trichoptères et d'Ephéméroptères du Rhône à Lyon (1959 – 1982). Résultats de piégeages lumineux. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon I.

9.3. Bibliographie des autres sections

ALLIX, A. (1933): L'aménagement du Rhône en 1933. - *Les Etudes Rhodaniennes* **9**: 248-253.

ANONYMOUS (1938): *Le Rhône*. unknown, Paris, 50 p.

BERGER, J.-F., BRAVARD, J.-P., BROCHIER, J.-L., FRANC, O., SALVADOR, P.-G. & VEROT-BOURRELY, A. (2009): La géo-archéologie fluviale dans la vallée du Rhône (Seyssel-Donzère). Bilan de 25 ans de recherche, Actes du XXXe colloque international de l'A.F.E.A.F., co-organisé avec l'A.P.R.A.B. (Saint-Romain-en-Gal, 26 - 28 mai 2006), De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (Xe - VIIe siècle av. J.-C.). *La moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer*. *Revue Archéologique de l'Est*, Dijon, pp. 27-37.

BORNETTE, G., PIEGAY, H., CITTERIO, A., AMOROS, C. & GODREAU, V. (2001): Aquatic plant diversity in four river floodplains: a comparison at two hierarchical levels. - *Biodiversity and Conservation* **10**: 1683-1701.

BOUTITIE, F. (1984): L'apron *Zingel asper* (L.), Percidae - poisson rare menacé de disparition (biologie, répartition, habitat). - Diplôme d'Etudes Approfondies, Université Claude Bernard, Lyon I.

- BRAVARD, J.-P. (2010): Discontinuities in braided patterns: The River Rhône from Geneva to the Camargue delta before river training. - *Geomorphology* **117**: 219-233.
- BRAVARD, J.-P., DOUTRIAUX, E. & COLLILLIEUX, G. (2008): Les aménagements du Rhône. Que reste-t-il des aménagements du XIXe siècle ? - In: BRAVARD, J.P. & CLEMENS, A. (Eds), *Le Rhône en 100 questions*. GRAIE, Villeurbanne, France, pp. 74-75.
- BRAVARD, J.P. (1987): *Le Rhône : du Léman à Lyon*. - La Manufacture, Lyon, 451 p.
- BREITTMAYER, A. (1904): *Le Rhône : Sa navigation depuis les temps anciens jusqu'à nos jours*. - Henri GEORG, Lyon, 105 p.
- BRUSLE, J. & QUIGNARD, J.P. (2001): *Biologie des poissons d'eau douce européens*. - Editions Tec & Doc, Collection Aquaculture-pisciculture, Lavoisier, Paris, 625 p.
- CARREL, G., BREUGNOT, C., VIDAL, L., MEYNARD, M., CHAUVIN, C., DUTARTRE, A. & ARCHAMBAUD, G. (2010): Évaluation et suivi des impacts des rejets thermiques du Centre de Production Thermique d'Aramon (Gard). Actualisation des données. Résultats 2010. - Décembre 2010. Cemagref Aix-en-Provence, UR Hydrobiologie, Équipe écosystèmes d'eau courante, Cemagref Bordeaux, UR Réseaux, Épuration et Qualité des Eaux, 69 p.
- CARRON, G., PAILLEX, A. & CASTELLA, E. (2007): Les coléoptères aquatiques de la zone alluviale du Rhône à Belley (France: Ain, Savoie): inventaire et observations préliminaires sur les effets des mesures de restauration. - *Bulletin de la Société Entomologique Suisse* **80**: 191-210.
- CASTELLA, E. (1987a): Apport des macroinvertébrés benthiques aquatiques au diagnostic écologique des écosystèmes abandonnés par les fleuves. Recherches méthodologiques sur le Haut-Rhône français. Tome 1 : texte. - Thèse de Doctorat, Université Lyon I, 229 p.
- CASTELLA, E. (1987b): Apport des macroinvertébrés benthiques aquatiques au diagnostic écologique des écosystèmes abandonnés par les fleuves. Recherches méthodologiques sur le Haut-Rhône français. Tome 2 : figures, tableaux et annexes. - Thèse de Doctorat, Université Lyon I, 233 p.
- CASTELLA, E., RICHARDOT-COULET, M., ROUX, C. & RICHOUX, P. (1991): Aquatic macroinvertebrate assemblages of two contrasting floodplains: the Rhone and Ain Rivers, France. - *Regulated Rivers* **6**: 289-300.
- CATTANEO, F., CARREL, G., LAMOUREUX, N. & BREIL, P. (2001): Relationship between hydrology and cyprinid reproductive success in the Lower Rhône at Montélimar, France. - *Arch. Hydrobiol.* **151**: 427-450.
- CHANGEUX, T. (1994): Structure des peuplements de poissons à l'échelle du bassin rhodanien. Approche régionale et organisation longitudinale. Exploitation des captures par pêche aux engins. - Doctorat de l'Université de Lyon, Université Claude Bernard - Lyon I, Villeurbanne, 241 p.
- CHANGEUX, T. (1995): Structure du peuplement piscicole à l'échelle d'un grand bassin européen : organisation longitudinale, influence de la pente et tendances régionales. - *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **337/338/339**: 63-74.
- CHANGEUX, T. (2004): Rapport Octobre 2004. Synthèse nationale du Suivi national de la pêche aux engins pour la période 1999 à 2002. Conseil Supérieur de la Pêche, Protection des Milieux Aquatiques, Fontenay-sous-Bois, 8 p.
- CHANGEUX, T. & PONT, D. (1995a): Current status of the riverine fishes of the French Mediterranean basin. - *Biol. Conservation* **72**: 137-158.
- CHANGEUX, T. & PONT, D. (1995b): Ichthyogeographic regions and watershed size in the French river Rhône network. - *Hydrobiologia* **300/301**: 355-363.
- CIPEL (2010): Bilan du plan d'action 2001-2010 en faveur du Léman, du Rhône et de leurs affluents "Pour que vivent le Léman et ses rivières". Commission internationale pour la protection des eaux du Léman, Nyon, Suisse, 38 p.
- COEUR, D. & DJERBOUA, A. (2007): La crue de 1856 : reconstitution et analyse d'un événement hydrologique de référence. - *La Houille Blanche* **2**: 27-37.

- CRIVELLI, A.J. (1998): L'anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : une synthèse bibliographique. COGEPOMI, 83 p.
- DAUFRESNE, M., BADY, P. & FRUGET, J.F. (2007): Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhone River. - *Oecologia* **151**: 544-559.
- DAUFRESNE, M., ROGER, M.C., CAPRA, H. & LAMOUREUX, N. (2003): Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. - *Glob. Change Biol.* **10**: 124-140.
- DESSAIX, J., FRUGET, J.-F., OLIVIER, J.-M. & BEFFY, J.-L. (1995): Changes of the macroinvertebrate communities in the dammed and by-passed sections of the French Upper Rhône after regulation. - *Regul. Rivers* **10**: 265-279.
- DESSAIX, J. & FRUGET, J.F. (2008): Évolution des peuplements de crustacés du Rhône Moyen au cours des 20 dernières années, relation avec la variabilité hydroclimatique. - *Hydroécol. Appl.* **16**: 1-27.
- DOLEDEC, S., DESSAIX, J. & TACHET, H. (1996): Changes within the Upper Rhône River macrobenthic communities after the completion of three hydroelectric schemes: anthropogenic effects or natural change? - *Arch. Hydrobiol.* **136**: 19-40.
- EYROLLE, F., DUFFA, C., ANTONELLI, C., ROLLAND, B. & LEPRIEUR, F. (2006): Radiological consequences of the extreme flooding on the lower course of the Rhone valley (December 2003, South East France). - *Science of The Total Environment* **366**: 427-438.
- FATIO, V. (1882): Faune des Vertébrés de la Suisse - Histoire naturelle des Poissons. Première partie. - H. Georg, Genève et Bâle, 786 p.
- FATIO, V. (1890): Faune des Vertébrés de la Suisse - Histoire naturelle des Poissons. Deuxième partie. Physostomes (suite et fin), Anacanthiens, Chondrostéens, Cyclostomes. - H. Georg, Genève et Bâle, 576 p.
- FRUGET, J.-F. (1989): L'aménagement du Bas-Rhône. Evolution du fleuve et influence sur les peuplements de macroinvertébrés benthiques. - Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I.
- FRUGET, J.-F. (1991): The impact of river regulation on the lotic macroinvertebrate communities of the lower Rhône, France. - *Regul. Rivers* **6**: 241-255.
- FRUGET, J.F. & BADY, P. (2006): Etude thermique globale du Rhône - Phase III - Lot 2.1 : Etude à l'échelle du Rhône des compartiments biologiques - Etude des relations entre les variables d'environnement et les invertébrés benthiques à l'échelle du fleuve, 1985-2004. **ARALEP** Ecologie des Eaux Douces, **LEHF** Université Lyon 1 Villeurbanne, 31 p.
- GERDEAUX, D. (2001): L'omble chevalier, les Corégones. - In: KEITH, P. & ALLARDI, J. (Eds), Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines naturels. Publications Scientifiques du M.N.H.N, Paris, pp. 263-264.
- GOBIN (1868): Note sur les ressources que présente actuellement le Haut-Rhône. - *Annales de la Société Impériale d'Agriculture. Histoire Naturelle et Arts Utiles de Lyon* **1**: CI-CXX.
- HORTAL, J., JIMENEZ-VALVERDE, A., GOMEZ, J.F., LOBO, J.M. & BASELGA, A. (2008): Historical bias in biodiversity inventories affects the observed environmental niche of the species. - *Oikos* **117**: 847-858.
- JENNER, H.A., WHITEHOUSE, J.W., TAYLOR, C.J.L. & KHALANSKI, M. (1998): Cooling water management in European power stations. Biology and control of fouling. - *Hydroécol. Appl.* **10**.
- JORDAN, J.-P. (2007): La politique suisse de protection contre les crues forgée par les crues historiques. - *La Houille Blanche* **1**: 56-61.
- JUGET, J. & LAFONT, M. (1994): Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: aquatic oligochaetes in the Upper Rhône River and its floodplain. - *Freshwat. Biol.* **31**: 327-340.
- KEITH, P. & ALLARDI, J. (Eds) (2001): Atlas des poissons d'eau douce de France. - Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 387 pp.

- KEITH, P., PERSAT, H., FEUNTEUN, E. & ALLARDI, J. (Eds) (2011): Les poissons d'eau douce de France. - Biotope, Muséum National d'Histoire Naturelle, Mèze, Paris, 550 pp.
- KELLY, N., WANTOLA, K., WEISZ, E. & YAN, N. (2012): Recreational boats as a vector of secondary spread for aquatic invasive species and native crustacean zooplankton. - *Biological Invasions*: 1-11.
- KLINGEMAN, P.C., BRAVARD, J.P., GIULIANI, Y., OLIVIER, J.M. & PAUTOU, G. (1998): Hydropower reach by-passing and dewatering impacts in gravel-bed rivers. - In: KLINGEMAN, P.C., BESCHTA, R.L., KOMAR, P.D. & BRADLEY, J.B. (Eds), *Gravel-bed rivers in the environment*. Water Resources Publications, LLC, USA, pp. 313-344.
- KOTTELAT, M. & FREYHOF, J. (2007): *Handbook of European freshwater fishes*. - Kottelat & Freyhof, Cornol, Switzerland, Berlin, Germany, 646 p.
- KREITMANN, L. (1932): Les grandes lignes de l'économie piscicole du bassin français du Rhône. - *Trav. Lab. Hydrobiol. Piscic. Univ. Grenoble* **24**: 127-131.
- KÜTTEL, S. (2001): Bedeutung der Seitengewässer der Rhone für die natürliche Reproduktion der Bachforelle und Diversität der Fischfauna im Wallis, ETH Zürich, EAWAG, Kastanienbaum, Switzerland, 68 p.
- LAFON, J. (1953): Recherches sur la faune aquatique littorale du Rhône. - *Bull. mens. Soc. linn. Lyon* **22**: 36-46.
- LAMOUREUX, N., OLIVIER, J.M., CAPRA, H., ZYLBERBLAT, M., CHANDESRIS, A. & ROGER, P. (2006): Fish community changes after minimum flow increase: testing quantitative predictions in the Rhone River at Pierre-Benite, France. - *Freshwat. Biol.* **51**: 1730-1743.
- LE CORRE, M., ALEXANDRINO, P., SABATIE, M.R., APRAHAMIAN, M.W. & BAGLINIERE, J.L. (2005): Genetic characterisation of the Rhodanian twaite shad, *Alosa fallax rhodanensis*. - *Fish. Mgmt Ecol.* **12**: 275-282.
- LE CORRE, M., BAGLINIERE, J.L., SABATIE, R., MENELLA, J.Y. & PONT, D. (1997): Données récentes sur les caractéristiques morphologiques et biologiques de la population d'aloise feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). - *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **346**: 527-545.
- LE CORRE, M., LINHARES, D., CASTRO, F., ALEXANDRINO, P., SABATIE, R. & BAGLINIERE, J.L. (1998): Premiers éléments de caractérisation génétique de l'aloise du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). - *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **350/351**: 635-645.
- LE CORRE, M., SABATIE, R. & BAGLINIERE, J.L. (2000): Caractérisation démographique de populations d' *Alosa fallax rhodanensis* (Clupeidae) de la Méditerranée française. - *Cybium* **24**: 119-128.
- LEFEBVRE, F., CONTOURNET, P., PRIOUR, F., SOULAS, O. & CRIVELLI, A.J. (2002): Spatial and temporal variation in *Anguillicola crassus* counts: results of a 4 year survey of eels in Mediterranean lagoons. - *Dis. Aquat. Organisms* **50**: 181-188.
- LEGER, L. (1942-1944): Etude sur l'hydrographie et l'économie piscicoles du département de la Savoie avec une carte et un graphique. Notice sur la carte hydrobiologique piscicole de la Savoie. - *Trav. Lab. Hydrobiol. Piscic. Univ. Grenoble* **34/36**: 51-66.
- LEGER, L. (1945-1948a): Etude sur l'hydrobiologie et l'économie piscicoles du département du Rhône avec une carte et un graphique. - *Trav. Lab. Piscic. Univ. Grenoble* **37/40**: 1-14.
- LEGER, L. (1945-1948b): Etude sur l'hydrographie et l'économie piscicoles du département du Rhône avec une carte et un graphique. Notice sur la carte hydrobiologique piscicole du département du Rhône. - *Trav. Lab. Hydrobiol. Piscic. Univ. Grenoble* **37/40**: 1-14.
- LEGER, L. & STANKOVITCH, S. (1921): Fécondation artificielle et développement de l'apron (*Aspro asper* L.). - *Trav. Lab. Piscic. Univ. Grenoble* **13**: 187-190.
- LUNEL, G. (1874): Histoire naturelle des poissons du bassin du Léman. - Georg, Genève, 20 pls, 212 p.

- NICOLAS, Y. & PONT, D. (1997): Hydrosedimentary classification of natural and engineered backwaters of a large river, the Lower Rhone: possible applications for the maintenance of high fish biodiversity. - Regul. Rivers **13**: 417-431.
- OLIVIER, J.M., CARREL, G., LAMOUREUX, N., DOLE-OLIVIER, M.J., MALARD, F., BRAVARD, J.P. & AMOROS, C. (2009): The Rhône River Basin. - In: TOCKNER, K., UEHLINGER, U. & ROBINSON, C.T. (Eds), Rivers of Europe. Academic Press, Elsevier, London, pp. 247-295.
- PASCAL, M., LORVELEC, O., VIGNE, J.-D., KEITH, P. & CLERGEAU, P. (Eds) (2003): Evolution holocène de la faune de Vertébrés de France : invasions et disparitions. - Institut National de la Recherche Agronomique, Centre National de la Recherche Scientifique, Muséum National d'Histoire Naturelle. Rapport au Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (Direction de la Nature et des Paysages), Paris, France, Version définitive du 10 juillet 2003, 381 pp.
- PERRIN, J.-F. (1978): Signification écologique des peuplements benthiques du Haut Rhône français. - Thèse de 3eme cycle, Université Lyon I, Lyon, 171 p.
- PERSAT, H. (1988): De la biologie des populations de l'ombre commun *Thymallus thymallus* (L. 1758) à la dynamique des communautés dans un hydrosystème fluvial aménagé, le Haut-Rhône français. Eléments pour un changement d'échelles. - Doctorat d'Etat, Université Lyon I, 223 p.
- PERSAT, H. & BERREBI, P. (1990): Relative ages of present populations of *Barbus barbus* and *Barbus meridionalis* (Cyprinidae) in southern France: preliminary considerations. - Aquat. Living Resour. **3**: 253-263.
- PERSAT, H. & KEITH, P. (1997): La répartition géographique des poissons d'eau douce en France : qui est autochtone et qui ne l'est pas ? - Bull. Fr. Pêche Piscic. **344/345**: 15-32.
- PERSAT, H., OLIVIER, J.M. & BRAVARD, J.P. (1995): Stream and riparian management of large braided mid-european rivers, and consequences for fish. - In: ARMANTROUT, N.B. (Ed.), Condition of the world's aquatic habitats. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd, New Delhi, pp. 139-169.
- PETER, A. & WEBER, C. (2004): Die Rhone als Lebensraum für Fische. - Wasser, Energie, Luft **96**: 326-330.
- PICON, B. & ALARD, P. (2007): Les inondations du Rhône aval de 1856, 1993, 1994, 2003 et leurs répercussions sociétales. - La Houille Blanche **2**: 52-57.
- POIREL, A., LAUTERS, F. & DESAINT, B. (2008): 1977-2006 : Trente années de mesures des températures de l'eau dans le Bassin du Rhône. - Hydroécol. Appl. **16**: 191-213.
- POIZAT, G. & PONT, D. (1996): Multi-scale approach to species-habitat relationships: juvenile fish in a large river section. - Freshwat. Biol. **36**: 611-622.
- PONT, D., SIMONNET, J.P. & WALTER, A.V. (2002): Medium-term changes in suspended sediment delivery to the ocean: Consequences of catchment heterogeneity and river management (Rhône River, France). - Estuarine Coastal and Shelf Science **54**: 1-18.
- POUSSARD, G. & MADRID, N. (1999): Qualité des eaux du Rhône. Evolution 1969-1995. Agence de l'Eau - Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon, 106 p.
- RAHEL, F.J. (2007): Biogeographic barriers, connectivity and homogenization of freshwater faunas: it's a small world after all. - Freshwat. Biol. **52**: 696-710.
- REY, Y., NICOU, S. & ROMAILLER, G. (Eds) (2008): Troisième correction du Rhône. Sécurité pour le futur. Rapport d'impact sur l'environnement – 1re étape du Plan d'aménagement de la 3e correction du Rhône publié pour information publique. - Groupement Rhône 3, Bureau d'études Impact SA, Canton du Valais, Sion, 146 pp.
- ROGER, M.C., FAESSEL, B. & LAFONT, M. (1991): Impact thermique des effluents du Centre de Production Nucléaire du Bugey sur les invertébrés benthiques du Rhône. - Hydroécol. Appl. **3**: 63-110.
- ROULE, L. (1923): Nouvelle contribution à l'étude de l'esturgeon (*Acipenser siurio* L.) dans l'Europe Occidentale et de sa diminution progressive. - Notes & Mémoires de l'Office Scientifique et Technique des Pêches Maritimes **32**: 2-7.

- ROUX, A.L., BRAVARD, J.P., AMOROS, C. & PAUTOU, G. (1989): Ecological changes of the French Upper Rhône River since 1750. - In: PETTS, G.E., MÖLLER, H. & ROUX, A.L. (Eds), Historical change of large alluvial rivers: Western Europe. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 323-350.
- SALEN-PICARD, C., ARLHAC, D. & ALLIOT, E. (2003): Responses of a Mediterranean soft bottom community to short-term (1993-1996) hydrological changes in the Rhone river. - *Mar. Environ. Research* **55**: 409-427.
- SCHOMAKER, C. & WOLTER, C. (2011): The contribution of long-term isolated water bodies to floodplain fish diversity. - *Freshwat. Biol.* **56**: 1469-1480.
- SDAGE RMC (1996): Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, des bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon.
- SORNAY, J. (1933-1934): Etude hydrobiologique piscicole des lacs de barrage de Beaumont-Monteux et de Pizançon sur l'Isère. - *Trav. Lab. Hydrobiol. Piscic. Univ. Grenoble* **25/26**: 105-120.
- USSEGLIO-POLATERA, P. (1985): Evolution des peuplements de Trichoptères et d'Ephéméroptères du Rhône à Lyon (1959-1982) : résultats de piégeage lumineux. - Thèse de Doctorat, Université de Lyon, Villeurbanne, 2 vol., 259, 203 p.
- USSEGLIO-POLATERA, P. & BOURNAUD, M. (1989): Trichoptera and ephemeroptera as indicators of environmental changes of the Rhone river at Lyons over the last twenty-five years. - *Regul. Rivers* **4**: 249-262.
- WILHELM, I. (1913): La Durance. Etude de l'utilisation de ses eaux et de l'amélioration de son régime par la création de barrages. - Lucien LAVEUR, Paris, 360 p.
- ZYLBERBLAT, M., SERVAT, H. & CHANGEUX, T. (Eds) (1994): Schéma de vocation piscicole de la Saône. La Saône, une vallée à préserver. Rapport de synthèse. - Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse (Diren Rhône-Alpes), FDAPPMA de l'Ain, de la Côte d'Or, de la Saône-et-Loire et du Rhône, Lyon, 169 pp.

Résumé

Les conclusions de l'étude thermique Phase 3 ont montré l'importance de la structuration spatiale des peuplements aquatiques de l'axe rhodanien sous l'influence des facteurs hydrologique et thermique, ainsi qu'une évolution temporelle marquée par la colonisation progressive des milieux par des espèces exogènes. Lors des discussions initiales sur le contenu du projet de recherche Rhône Phase 4, eDF a souhaité un bilan cartographique de l'évolution de la distribution spatiale des espèces descriptives des changements consécutifs à l'augmentation des pressions anthropiques. Cette approche historique est essentiellement qualitative. Elle a été réalisée à partir d'une prospection des informations disponibles et accessibles, et d'une analyse des données collectées sur le long terme. Elle met l'accent sur la colonisation progressive par des espèces allochtones.

L'**objectif** de ce travail est avant tout d'élaborer une synthèse sur la distribution spatiale des macrophytes, des macroinvertébrés et des poissons les plus représentatifs des changements floristiques et faunistiques consécutifs aux activités humaines.

La **méthodologie** repose 1) sur un inventaire des données disponibles et sur la constitution d'une base de données, 2) un découpage temporel en épisodes circonscrits par les grandes étapes d'aménagement du Rhône et les récents programmes d'inventaire faunistique, 3) un découpage spatial du linéaire du Rhône.

Le jeu de **données compilées** dans cette étude n'est évidemment pas exhaustif et résulte d'un travail de synthèse néanmoins conséquent. Il pourra être complété par la suite si nécessaire. Les données ont été exprimées sur des critères synthétiques d'abondance, définis en fonction de la précision des données utilisables. L'analyse de l'histoire récente du fleuve a conduit à un découpage en sept périodes allant de 2300 ans av. J-C à nos jours. Le découpage géographique du Rhône a été établi en fonction des particularités hydromorphologiques naturelles du fleuve, principalement délimitées par les grands affluents et a conduit à l'identification de neuf entités géographiques distinctes, ainsi qu'une entité lacustre constituée par le lac Léman. Les sections aval des grands affluents (Ain, Saône, Isère, Ardèche, Durance) ont également été prises en considération. L'étude a donc porté sur **15 tronçons** spatiaux et **7 périodes** temporelles.

La **sélection des taxons** a été réalisée sur les organismes les plus représentatifs des changements floristiques et faunistiques consécutifs aux activités humaines. L'accent a été mis sur la colonisation progressive par des espèces allochtones, ainsi que sur la valeur patrimoniale et les préférences d'habitat pour une sélection d'espèces autochtones. Au total, 45 espèces de macroinvertébrés, 25 espèces de macrophytes et près de 60 espèces de poissons rencontrées sur le Rhône ont été étudiées.

La constitution d'une base de données, couplée à un système d'informations géographiques, permet l'obtention de cartes synthétiques. Des **cartes d'évolution spatiale et temporelle** des espèces ont ainsi été réalisées à partir des requêtes de la base de données et d'un fond cartographique simplifié extrait des couches de la BD Carthage (Agence de l'Eau).

Le Rhône a subi un très fort **fractionnement longitudinal** du fait de la construction de 24 aménagements hydroélectriques, dont 22 en aval du Léman (19 sur le cours français). Ces altérations de la continuité longitudinale ont un très fort impact sur la structuration des populations et altèrent considérablement les possibilités de migration des poissons. La BD ROE de l'ONEMA recense les différents obstacles présents sur le cours du Rhône et des ses affluents majeurs. Près de 320 obstacles sont ainsi recensés. Toutefois, cela

nécessiterait une étude particulière avec la mise en place de requêtes précises, dépassant pour l'instant le cadre actuel de cette étude.

Différentes **tendances évolutives** peuvent être identifiées à partir de ces cartes. Différentes « catégories » peuvent être définies.

- Des invasifs anciens sont intégrés à la faune et à la flore aquatique rhodanienne. C'est par exemple le cas de la Grémille ou de la Perche-soleil chez les poissons, d'*Asellus aquaticus* et de *Dreissena polymorpha* chez les invertébrés, de l'Elodée du Canada chez les macrophytes.

- Des invasifs anciens tendent à « régresser » alors que des plus récents accroissent leurs effectifs. Exemple du Poisson-chat et du Silure, des Dreissènes et des Corbicules, de l'Elodée du Canada et de l'Elodée de Nuttall.

- Une compétition s'installe entre les invasifs et les espèces natives et/ou intégrées, au détriment des secondes : *Dikerogammarus villosus* vs *Asellus aquaticus* et *Gammarus fossarum* ; mais aussi entre espèces invasives : *Dikerogammarus* vs *Gammarus roeseli* et *Gammarus tigrinus*.

- Une distinction doit être faite entre les espèces envahissantes, qui sont natives mais accroissent exagérément leurs effectifs avec l'évolution des conditions de milieu (Cératophylle, Myriophylle), et les espèces invasives, qui peuvent également être envahissantes (Elodées diverses).

- Des espèces potamiques rhéophiles décroissent avec l'évolution des conditions mésologiques (température, vitesse, substrat,...) :: Mollusque *Theodoxus fluviatilis*, Ephémère *Baetis rhodani*, Trichoptère *Hydropsyche modesta*. A l'inverse, des espèces plus potamo-lénitiques se développent sur le cours principal (Ephémère *Caenis luctuosa*, Trichoptère *Ecnomus tenellus*, par ex.).

La mise à disposition d'un **atlas cartographique**, accompagné d'un **rapport technique** donnant les éléments essentiels, permettent de comprendre la distribution spatiale actuelle des organismes aquatiques sélectionnés dans cette étude (macrophytes, macroinvertébrés et poissons).

La constitution d'une **base de données dédiée** à la problématique et l'expression cartographique des données constituent un outil simple, permettant d'accéder rapidement à une information détaillée au travers d'une **interface**, et potentiellement évolutif en offrant une architecture utilisable lors de développements futurs.

Cette étude constitue un **support de consultation** qu'il sera possible de faire évoluer dans le temps en fonction des besoins. Le travail de synthèse réalisé dans cet atlas permet d'envisager de compléter la BD avec des données disponibles dans les différentes BD des organismes travaillant sur le fleuve et ses affluents.