



HAL
open science

Suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve. Rapport d'avancement 2014.

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Maxence Forcellini, Jérémie Riquier, Hervé Piégay, Emmanuel Castella, Olga Béguin, Estelle Bertholet, Hélène Mayor, David Mac Crae, et al.

► To cite this version:

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Maxence Forcellini, Jérémie Riquier, Hervé Piégay, et al.. Suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve. Rapport d'avancement 2014.. [Rapport de recherche] IRSTEA; Université Lyon 1; CNRS; Université de Genève; Université Lyon 2; Université Lyon 3; ENS de Lyon; EZUS - Université Lyon 1. 2014. halshs-01319234

HAL Id: halshs-01319234

<https://shs.hal.science/halshs-01319234>

Submitted on 24 Apr 2024

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

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



Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur



Suivi scientifique du programme de restauration
hydraulique et écologique du Rhône
Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve
Rapport d'état d'avancement (2014)



Réalisation des travaux

Partie Poissons chenal et lônes : **Jean-Michel OLIVIER** (UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1), **Nicolas LAMOUREUX** (IRSTEA – Lyon), échantillonnage réalisé avec la collaboration d'Antonin VIENNEY, Raphael Mons, Dominique REYNAUD, Hermeline Esnard et Chloé Mathieu (UMR CNRS 5023).

Partie Invertébrés du chenal : **Maxence FORCELLINI** (IRSTEA Lyon),

Partie Géomorphologie (sédimentation et granulométrie) : **Jérémy RIQUIER** et **Hervé PIEGAY** (UMR CNRS 5600 - Universités Lyon 3 / Lyon 2 / ENS de Lyon).

Partie Invertébrés des lônes : **Emmanuel CASTELLA**, **Olga BEGUIN**, **Estelle BERTHOLET**, **Hélène MAYOR**, **David McCRAE** (Université de Genève), **Véronique ROSSET** (IRSTEA Lyon)

Partie Structuration génétique et différenciation intra-populationnelle de poissons : **Vincent DUBUT**, **Rémi GRENIER**, **Caroline COSTEDOAT**, UMR 7263 – IMBE, Equipe Evolution Génome Environnement, Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Centre Saint-Charles ; et **Georges CARREL** (IRSTEA, Aix-en-Provence)

Coordination scientifique générale : **Jean-Michel OLIVIER** et **Nicolas LAMOUREUX**

Les données hydrologiques sont fournies par la CNR.

1	Introduction	3
2	Cadre physique : restauration et hydrologie	8
2.1	Opérations de restauration	8
2.2	Hydrologie	11
2.3	Hydraulique du chenal	13
3	Organisation du suivi	15
4	Les poissons du chenal (Vieux-Rhône)	22
4.1	Objectifs et méthodologie	22
4.2	Échantillonnage	23
4.3	Résultats des pêches	23
4.4	Conclusion	30
5	Les peuplements de macroinvertébrés du chenal (Vieux-Rhône)	30
5.1	Objectifs	30
5.2	Méthodologie	31
5.3	Bilan des campagnes d'échantillonnage	33
5.4	Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages	34
5.4.1	Échantillonnage 2012	35
5.4.2	Échantillonnage 2013	35
5.4.3	Échantillonnage 2014	35
5.5	Bilan multi-sites	36
5.5.1	Densité et richesse taxonomique	36
5.5.2	Densité et richesse en Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères	38
5.5.3	Espèces exogènes	41
5.5.4	Évolution des densités par guildes de préférences hydrauliques	43
6	Hydromorphologie des lônes	46
6.1	Objectifs et méthodologie	46
6.2	Analyse comparative des vitesses d'évolution de bras endigués et de bras "naturels" (non-endigués) de <i>ca</i> 1860 à nos jours	48
6.3	Éléments de caractérisation de l'atterrissement de la lône de la Malourdie après restauration (2004-2013)	51
6.4	Estimation de la pérennité du bras de la Malourdie en tant qu'habitat aquatique	55
7	Peuplements de macroinvertébrés des lônes	59
8	Poissons des lônes	62

9	Structuration génétique et différenciation intra-populationnelle de poissons cyprinidés dans des sections fluviales aménagées du Bas-Rhône médian	65
9.1	Contexte de l'étude	65
9.2	Bilan de l'échantillonnage	65
9.3	Développement des marqueurs génétiques	66
10	Conclusion	71
	Bibliographie.....	70
	Annexes.....	75

1 Introduction

Le programme de restauration du Rhône français, lancé en 1998 et repris dans le plan Rhône (2007-2013) et actuellement poursuivi notamment sur le site de Donzère-Mondragon, comprend trois axes : la modification des débits à l'aval des barrages de dérivation, la restauration d'anciens bras latéraux (lônes) et l'amélioration de la circulation des migrateurs. Le suivi scientifique multidisciplinaire qui s'est construit autour de ce programme comprend le suivi proprement dit de l'état physique et écologique de plusieurs sites restaurés ou candidats à la restauration, le développement de modèles d'aide à la décision et d'évaluation de la restauration. Il constitue une occasion de tester la capacité prédictive de modèles écologiques permettant de caractériser les liens entre l'habitat physique et les espèces aquatiques. L'aménagement hydroélectrique du Rhône a provoqué des changements physiques et fonctionnels importants, affectant l'ensemble des compartiments du système fluvial en modifiant drastiquement la dynamique fluviale. Le programme de restauration du Rhône n'a pas pour vocation de redonner au fleuve sa dynamique naturelle, ni de restaurer un état antérieur aux aménagements hydroélectriques. **Son ambition est d'améliorer la qualité de l'habitat physique dans la plaine alluviale aménagée en diversifiant les conditions d'habitat par l'augmentation des débits réservés dans les sections court-circuitées et par réhabilitation de certaines annexes fluviales en modifiant les surfaces en eau, les profondeurs et les modalités de connexion au chenal courant.** Cette démarche s'appuie sur les connaissances acquises au cours des trente dernières années sur le Rhône et les autres grands systèmes fluviaux tempérés d'Europe. Au moment du lancement du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône, il n'existait pas de données ou de résultats (retours d'expérience) permettant d'estimer à priori les bienfaits des procédures de restauration mises en œuvre. Le programme d'accompagnement scientifique développé autour du programme de restauration a eu pour premier objectif de mettre au point des méthodes d'évaluation des effets des actions de restauration. Ce travail de recherche méthodologique, débuté en 2002, a abouti à la proposition d'un certain nombre de métriques et d'indicateurs (voir annexe 1 et site web : <http://restauratorhone.univ-lyon1.fr>) permettant de mesurer l'évolution des paramètres physiques et biologiques de l'écosystème en réponse aux modifications des caractéristiques physiques de l'habitat suite à la restauration du fleuve. Il a

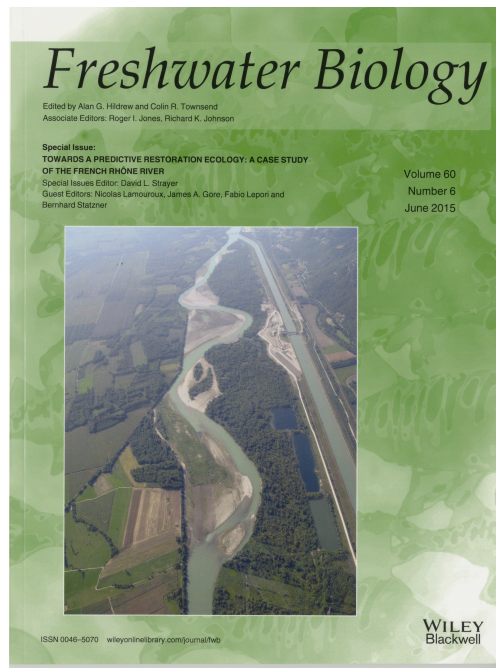
également permis de développer des modèles prédictifs permettant de mieux caractériser le lien entre les facteurs d'habitats et la dynamique des peuplements aquatiques.

Le but du suivi est d'exprimer des hypothèses relatives à la réponse des écosystèmes et des communautés aux actions de restauration. Le dispositif de suivi a deux dimensions :

- une dimension d'observatoire dont l'objectif est de suivre l'évolution des sites restaurés afin de mesurer si les objectifs de la restauration sont atteints (mesurer des changements),
- une dimension de pilotage qui consiste à intégrer dans les futurs objectifs de restauration les résultats et conclusions obtenus sur les sites déjà restaurés.

En 2014, une synthèse des résultats acquis a été publiée, basée essentiellement sur les données collectées dans le cadre du suivi des 4 sites restaurés entre 2000 et 2006 (Pierre-Bénite, Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon). Ce travail d'analyse du retour d'expérience des résultats acquis sur le Rhône a donné lieu à la publication d'un numéro spécial de la revue *Freshwater Biology* en juin 2015 (*Towards a predictive restoration ecology : a case study of the French Rhône River*) et à l'édition d'un document de synthèse à destination des acteurs du Rhône et des financeurs du programme. Ces travaux s'appuient sur l'utilisation de modèles prédictifs développés dans le cadre de la restauration du Rhône et démontre la capacité actuelle de prédire, au moins en partie, les changements physiques et biologiques (abondances des espèces, biodiversité) induits par les actions de restauration écologique.

L'ensemble du projet est conçu comme une étude pluridisciplinaire et constitue une thématique importante au sein de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) et de l'Observatoire Homme-Milieu « Vallée du Rhône » (<http://ohm-vr.org/>).



Une restauration écologique efficace doit s'appuyer sur des modèles scientifiques qui quantifient les effets attendus de différents scénarios de restauration et prennent en compte les objectifs des parties prenantes. Or les prédictions quantitatives des effets écologiques de la restauration sont rarement testées. Ce numéro spécial propose un bilan scientifique de la première phase d'un ambitieux programme de restauration physique du Rhône Français, qui a combiné (1999-2006) une augmentation des débits réservés à l'aval de quatre barrages du fleuve (47 km restaurés) et la restauration de la connectivité de 24 chenaux secondaires. Les caractéristiques du programme (changements physiques importants sur plusieurs sites, données physiques et biologiques riches et de long terme, synergies entre partenaires) en ont fait une occasion unique de tester des prédictions écologiques quantitatives.

Ce numéro contient 11 articles qui concernent : les changements d'habitat physique dans le chenal principal et la plaine alluviale ; les tests de modèles d'habitat physique utilisés pour prédire les effets de la restauration sur les communautés de poissons et de macroinvertébrés et leurs traits biologiques ; l'évolution à long terme des communautés de poissons soumises à différents changements environnementaux ; l'optimisation des stratégies de suivi écologique ; les processus sociaux associés à la restauration et la pertinence des bioindicateurs. Les résultats montrent que la restauration du Rhône a favorisé les espèces typiques des grands fleuves, augmenté la diversité biologique de la plaine alluviale et renouvelé la relation entre le fleuve et les riverains. Des modèles d'habitat simples permettent de prédire en partie les effets de scénarios de restauration. L'approche et les modèles utilisés sur le Rhône sont généraux et peuvent s'appliquer dans d'autres cours d'eau. Ce numéro s'adresse aux ingénieurs, gestionnaires, hydrologues, géomorphologues, écologues et sociologues et montre comment les modèles scientifiques quantitatifs peuvent guider les politiques de restauration. (Editeurs : Nicolas Lamouroux , James A. Gore, Fabio Lepori et Bernhard Statzner, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/fwb.2015.60.issue-6/issueto>)



Le présent rapport concerne le suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône (convention 2014). Il prolonge les activités contractuelles réalisées par la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) avant 2007 concernant l'évolution de l'état physique et biologique des sites. Il rend compte de l'avancement du programme au cours de l'année 2014. Il concerne l'ensemble des sites et se réfère aux protocoles de suivis définis au démarrage du programme.

Le rapport s'appuie largement sur le Tableau de bord de la restauration du fleuve, interface web cartographique qui interroge dynamiquement la base de données des suivis. Le Tableau de bord permet de consulter l'évolution d'une série d'indicateurs de l'état physique et biologique de l'écosystème, des informations de synthèse ainsi que des éléments détaillés concernant la démarche et les méthodes utilisées (<http://restaurationrhone.univ-lyon1.fr>, figure 1.1).

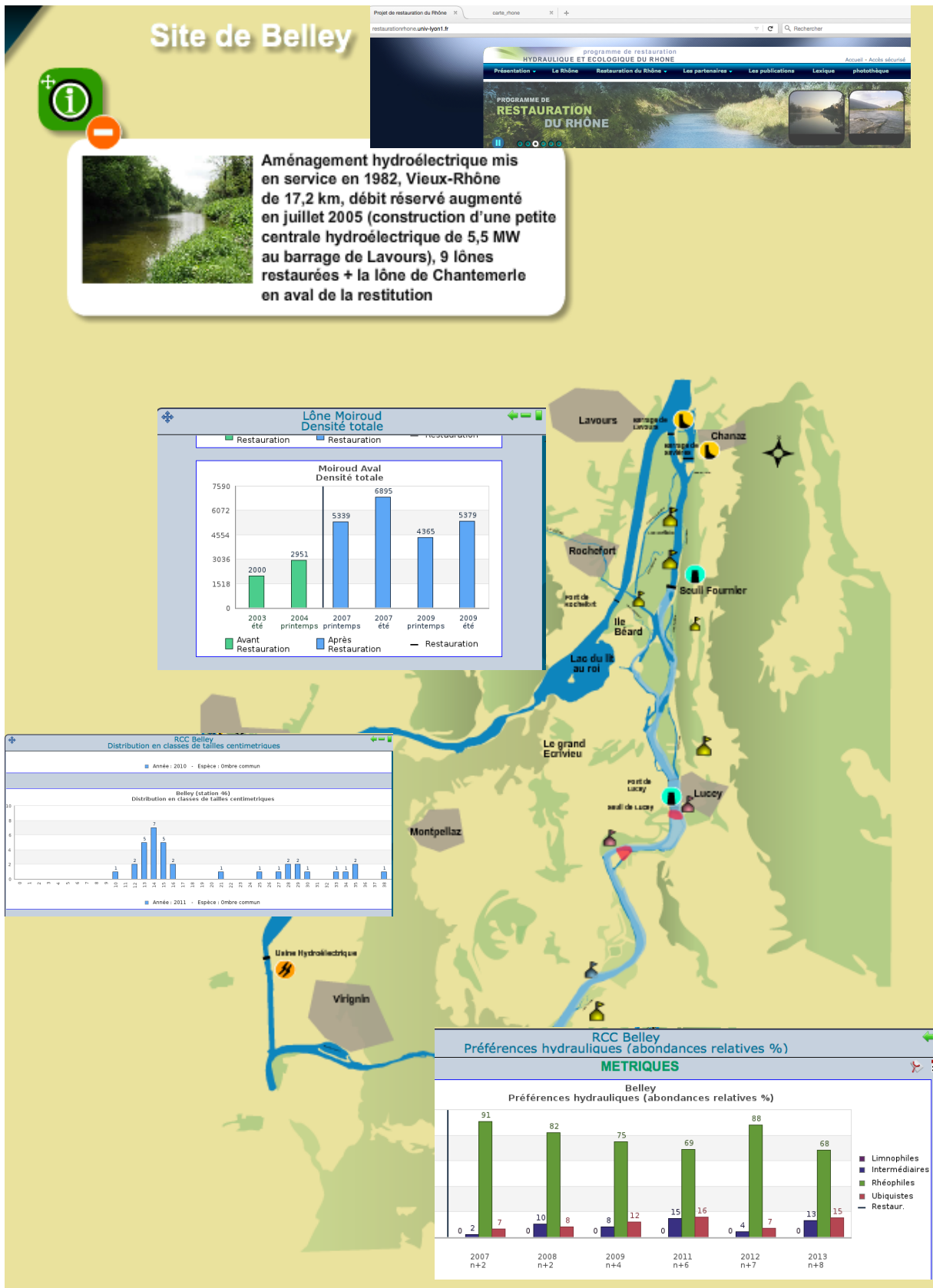


Figure 1.1 - Le site web du suivi de la restauration du Rhône : un outil de consultation cartographique partagé sur le web (<http://restaurationrhone.univ-lyon1.fr>).

2 Cadre physique : restauration et hydrologie

2.1 Opérations de restauration

Le Programme de Restauration concerne 8 sites (Figure 2.1) : les vieux-Rhône des aménagements de Chautagne (CE), Belley (BY), Brégnier-Cordon (BC), Miribel-Jonage (MI), Pierre-Bénite (PB), Péage-de-Roussillon (PR), Donzère-Mondragon (DM), Montélimar (MO). Le vieux-Rhône de Baix-le-Logis-Neuf a été inclus dans le suivi en raison des potentialités d'évolution des peuplements aquatiques du vieux-Rhône suite à l'augmentation du débit réservé.

Le vieux Rhône de Pierre-Bénite a été le premier site restauré en 2000. Le débit minimum dans le vieux Rhône était de 20 m³/s du 1^{er} avril au 31 août et de 10 m³/s du 1^{er} septembre au 31 mars. Ce débit a été augmenté à 100 m³/s après la mise en service (en août 2000) d'une centrale hydro-électrique au niveau du barrage de Pierre-Bénite. Parallèlement, trois anciens bras latéraux (Ciselande, Jaricot, Table ronde) ont été restaurés dès 1999. Ces milieux ont été recreusés, et l'un deux (Ciselande) a été reconnecté au Vieux-Rhône par l'amont. Le suivi de l'incidence des opérations de restauration a débuté en 1995.

Les trois sites de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon ont été restaurés entre 2004 et 2006.

Les débits réservés ont été relevés (Figure 2.2) et 23 îlots ont été réhabilités :

- Chautagne : Îlot de la Malourdie et du Brotalet,
- Belley : Anse de Chanaz, Îlot Moiroud, Îlot d'Orgeval, Îlot des Luisettes, Îlot Béard, Îlot Fournier, Îlot de Lucey, Anse de Yenne, Îlot dans l'Île, Îlot de Virignin,
- Brégnier-Cordon : Îlot des Granges, Îlot Vachon, Îlot des Cerisiers, Îlot de l'Ilon, Îlot des Sables, Îlot Mattant, Îlot des Molottes, Îlot du Ponton, Marquisat et Colonnes.

La CNR a également effectué des travaux destinés à améliorer la libre circulation des poissons :

- passe à poissons du seuil des Molottes,
- fenêtre à poissons et castors au siphon du Sérans,
- diagnostic du fonctionnement de l'écluse à poissons du barrage de Savières,

- diagnostic du fonctionnement de la rivière artificielle du seuil de Yenne,
- passe à poissons en rive gauche sur le Guiers à la confluence.

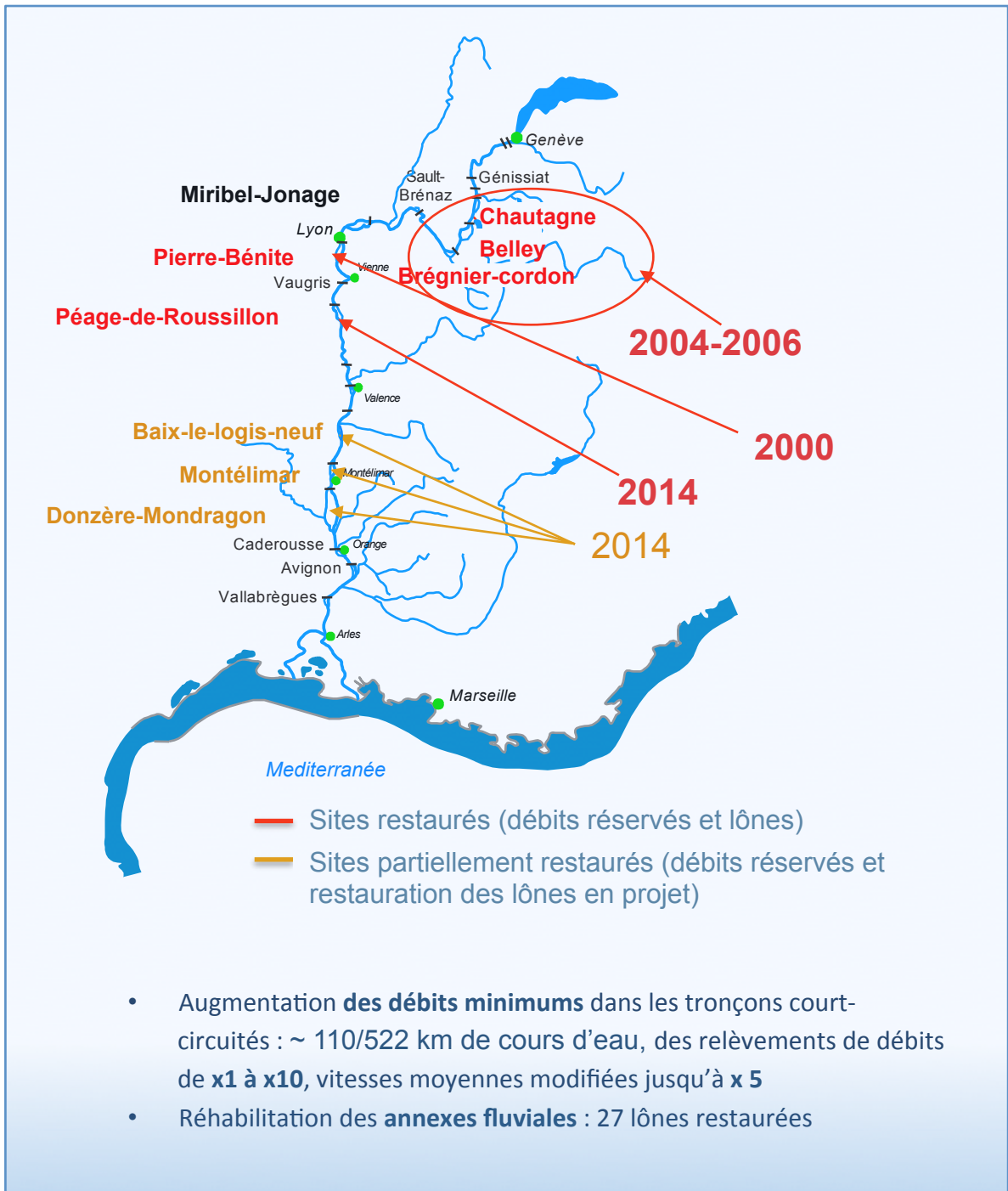


Figure 2.1 - Carte du Rhône montant les 8 sites concernés par la restauration, les sites restaurés sont indiqués en rouge, les sites partiellement restaurés (augmentation du débit réservé en janvier 2014 en orange, le site de Baix-le-Logis-Neuf, non inclus initialement dans le programme est mentionné car il présente des potentialités de restauration intéressantes.

Dans autres secteurs, conformément à la Loi sur L'eau et les Milieux Aquatiques, les débits réservés ont été relevés au 1^{er} janvier 2014 selon les modalités indiquées dans le tableau 2.1. À Péage de Roussillon, le débit réservé présente une modulation saisonnière afin d'optimiser les gains écologiques et notamment de favoriser les espèces de grèves et l'alimentation phréatique en période printanière (figure 2.3).

A Péage-de-Roussillon, les travaux de restauration des lônes se sont terminés en 2014 (restauration de 4 lônes et démantèlement de casiers Girardon en rive droite du vieux-Rhône).

La lône de la Roussette à Montélimar a été restaurée.

À Donzère, le choix des lônes « candidates » à la restauration a été précisé par la CNR. Le suivi pré-restauration a donc été ré-orienté sur ces lônes : lône de la Grange écrasée, lône Lascombe, lône des Dames, lône de Dion, lône du Banc Rouge et lône de la Désirade.

En résumé, parmi les 27 lônes dont la restauration est achevée fin 2013, 12 ne possédaient aucune connexion avec le chenal courant, 12 étaient connectées par l'aval et 4 étaient connectées à l'amont et à l'aval. La restauration a modifié les connexions pour 14 d'entre elles. Après restauration, 1 seule lône (Béard) reste déconnectée du chenal principal, 15 sont connectées par l'aval et 11 par l'amont et par l'aval. Les travaux de génie civil (recreusement, dragage) ont réhabilité, au moins en partie, l'alimentation en eau souterraine de 12 des 27 lônes restaurées. La réhabilitation des lônes a multiplié la longueur des lônes en eau par 1.5 et la surface mouillée par 1.2.

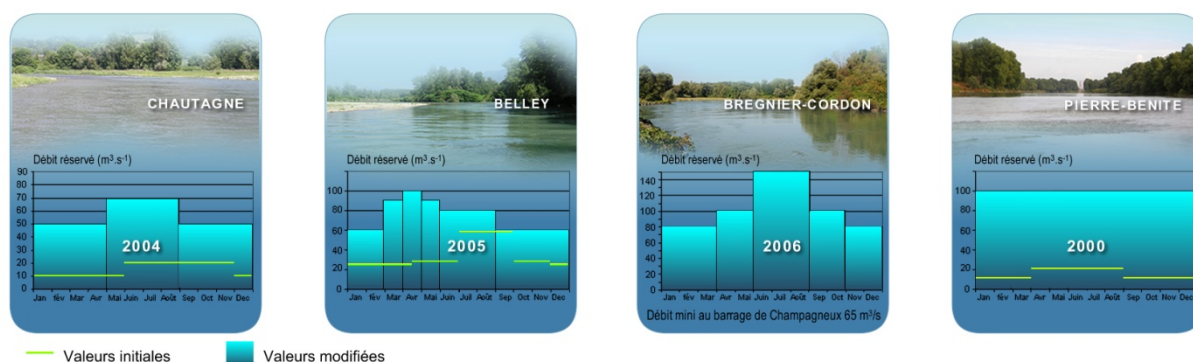


Figure 2.2 - Valeurs minimales des débits dans les Vieux-Rhône de Chautagne, Belley, Brégner-Cordon et Pierre-Bénite avant et après modification des valeurs dans le cadre du programme de restauration du Rhône.

Tableau 2.1 - Valeurs de débits réservés dans les vieux-Rhône suivis.

Secteur	Débit moyen annuel m ³ /s	Date de restauration	Débit réservé m ³ /s	
			Avant	Après
Chautagne	410	07/2004	10-20	50-70
Belley	410	07/2005	25-60	60-90
Brégnier-Cordon	435	07/2006	80-150	80-150
Canal de Miribel	598	-	30-60	30-60
Pierre-Bénite	1030	09/2000	10-20	100
Péage-de-Roussillon	1050	01/2014	10-20	50-125
Baix-le-Logis-Neuf	1475	01/2014	10-20	74,5
Montélimar	1490	01/2014	15-60	75,4
Donzère-Mondragon	1490	01/2014	60	75,4

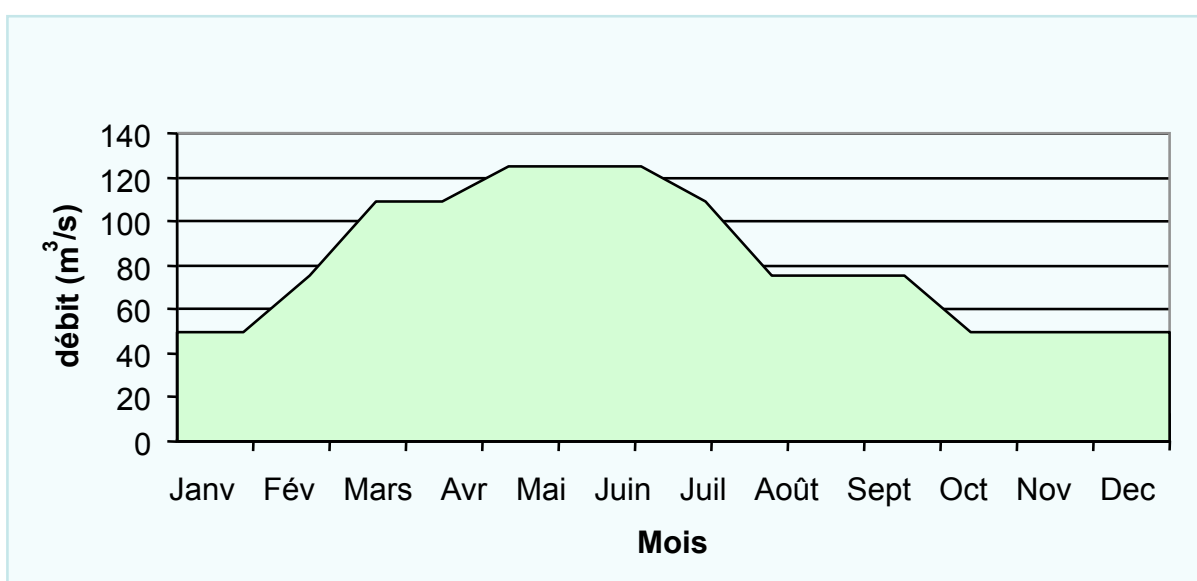


Figure 2.3 - Débit réservé (théorique) à Péage-de-Roussillon depuis le 1^{er} janvier 2014.

2.2 Hydrologie

L'évolution du débit du Rhône dans les différents secteurs étudiés montre une hydrologie relativement soutenue en 2014 avec des hautes-eaux hivernales et surtout des augmentations importantes de débits en juillet en automne induisant des déversements dans les vieux-Rhône (figure 2.4).

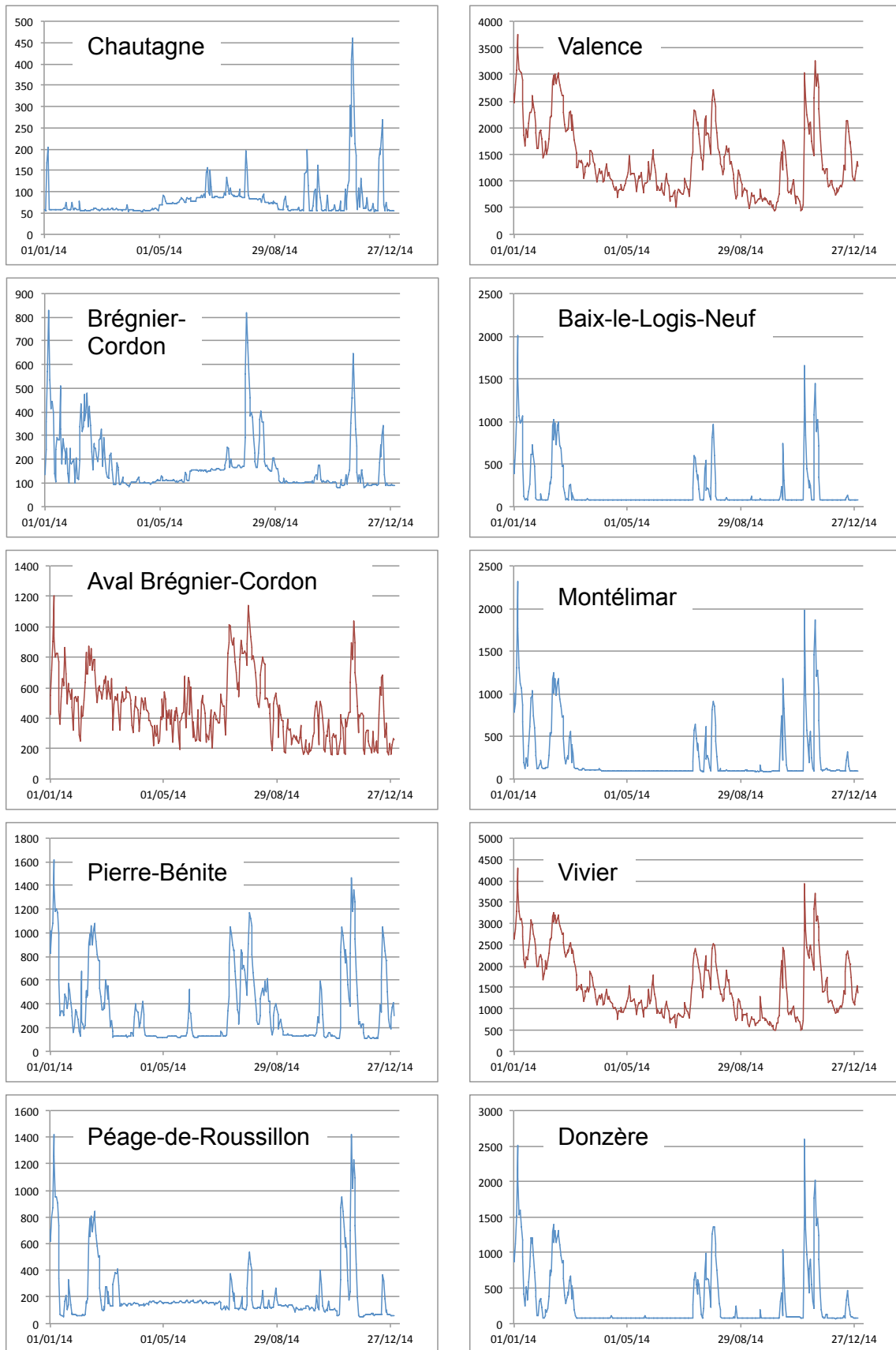


Figure 2.4 - Évolution du débit (en $m^3 \cdot s^{-1}$) en 2014 dans les vieux-Rhône étudiés (en bleu), et dans le Rhône (en rouge). Pour le vieux-Rhône de Belley, les données ne sont pas disponibles. Données fournies par la CNR.

2.3 Hydraulique du chenal

Hauteur d'eau	1.2 m	2.1 m
Vitesse	0.07 m/s	0.35 m/s



1996



2002

Figure 2.5- Le vieux-Rhône de Pierre-Bénite au débit minimum avant et après augmentation

Les augmentations de débit minimum se sont traduites différemment en termes hydrauliques selon les sites. A Pierre-Bénite les vitesses au débit minimum ont été multipliées par 5 en moyenne (de 0.07 à 0.35 m/s, figure 2.5), en Chautagne par 2 (de 0.38 à 0.80 m/s), moins ailleurs.

Les résultats de l'application de modèles d'habitat sur le Rhône comme ailleurs (Lamouroux & al. 1999, Lamouroux & Capra, 2002) peuvent être synthétisés par quelques descripteurs hydrauliques clés des tronçons de cours d'eau. Les plus importants sont le nombre de Froude au débit médian FR50 et le nombre de Reynolds au débit minimum REM, qui sont des combinaisons du débit Q , de la largeur L et de la hauteur d'eau H du tronçon de cours d'eau considéré. Ces indices sont utiles pour refléter/comparer l'impact de la restauration sur plusieurs sites.

FR50 est un indice hydraulique lié à la morphologie du cours d'eau (proportions de radiers/mouilles). Plus sa valeur est élevée, plus **il reflète l'idée d'un fleuve vif**, de façon comparable sur des sites variés. C'est une variable potentiellement sensible à une modification

de seuil transversal. Une augmentation de FR50 augmente la valeur d'habitat relative (par rapport aux autres espèces) des espèces typiques des radiers (barbeau, loche franche, chabot, blageon, spirilin).

REM est lié au niveau de débit par unité de largeur. Plus sa valeur est élevée, plus **il reflète l'idée d'un fleuve courant**, de façon comparable sur des sites variés. Il est particulièrement sensible aux changements de débit minimum. Une augmentation de REM augmente la valeur d'habitat relative des espèces typiques d'eau courante (ablette, barbeau, hotu, toxostome, vandoise, ombre). Noter que certaines espèces rhéophiles comme le barbeau sont favorisées à la fois par de fortes valeurs de FR50 et REM.

En pratique, $FR50 = Q50 / (g^{0.5} * H50^{1.5} * L50)$ et $REM = QM / (v * LM)$ où Q50, H50, L50 sont le débit, la hauteur et la largeur mouillée médians ; g est l'accélération gravitationnelle ; QM et LM sont le débit minimum et la largeur correspondante ; v est la viscosité dynamique de l'eau.

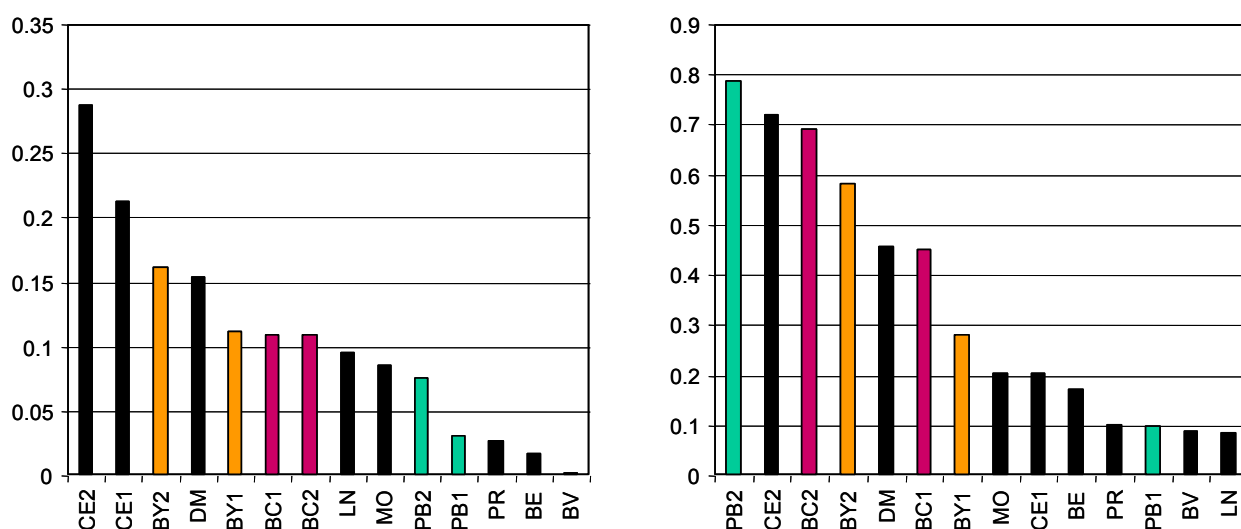


Figure 2.6 - Valeurs de FR50 (indice morphologique, à gauche) et REM (indice de débit, à droite) sur les différents vieux Rhône du bas Rhône et du haut Rhône (cf. codes de l'annexe A.1 ; LN, BV et BE correspondent à d'autres sites du bas Rhône : Logis-Neuf, Bourg-Lès-Valence et Beauchastel). Les codes de type 'CE1' et 'CE2' réfèrent aux situations pré- et post-augmentation du débit.

Le changement de débit minimum des Vieux Rhône modifie essentiellement la valeur de REM, l'indice de débit (figure 2.6). En revanche, l'indice lié à la morphologie est assez peu modifié par le changement de débit. A Brégner-Cordon par exemple, il reste intermédiaire

entre les fortes valeurs du Haut-Rhône (Chautagne avec de nombreux radiers) et les faibles valeurs actuelles de Beauchastel ou Bourg-lès-Valence.

3 Organisation du suivi

Le but du suivi est **d'exprimer des hypothèses relatives à la réponse des écosystèmes et des communautés aux actions de restauration.**

Le suivi est basé sur des méthodes d'échantillonnage qui ne font pas l'objet d'une normalisation. Une première étape concerne la **description**, au cours de l'année (ou des années) précédant les modifications de débits réservés et les travaux de restauration des lînes, **de l'état écologique initial** du site. La seconde phase concerne le suivi après l'augmentation des débits réservés et les travaux de restauration des lînes afin de mettre en évidence et de comprendre les **évolutions des milieux et des biocénoses aquatiques.**

Les thèmes du suivi et les protocoles d'échantillonnage associés sont ceux préconisés par André et Olivier (2003) et ne sont rappelés que succinctement ici. Les fréquences d'échantillonnage sont uniformisées entre les sites et adaptées suite au retour d'expérience des suivis antérieurs. En particulier, une fréquence d'échantillonnage biennale est proposée pour les suivis des peuplements d'invertébrés afin d'accélérer le retour d'expérience tout en contrôlant d'éventuelles invasions. À la suite des travaux de synthèse réalisés en 2014, la fréquence des échantillonnages des macroinvertébrés du chenal et des lînes sur les sites restaurés entre 2000 et 2006 a été modifiée (pas de temps de 3 ans au lieu de 2) afin de concentrer les efforts sur les sites dont la restauration est plus récente ou en cours.

Les protocoles mis en œuvre dans les chenaux des sections court-circuitées ont pour objectif de permettre la mesure des effets des changements de débits réservés sur les communautés de poissons et d'invertébrés benthiques. La méthodologie employée repose sur le lien entre la valeur du débit réservé et la distribution statistique des paramètres hydrauliques au sein de la section court-circuitée, et sur l'influence de ces paramètres hydrauliques sur la distribution, la richesse spécifique et l'abondance des organismes aquatiques. Les stations échantillonnées sont donc en partie réparties dans les secteurs non-influencés hydrauliquement des Vieux-Rhône, c'est-à-dire non soumises au remous des aménagements hydroélectriques situés immédiatement en amont.

Sur l'ensemble des sites le suivi des lînes comporte quatre thématiques : le suivi de la sédimentation, le suivi de la végétation aquatique, le suivi de la faune macro-invertébrée et le suivi des communautés piscicoles. Toutes les lînes restaurées ne font pas l'objet d'un suivi, le

tableau 3.1 suivant présente une synthèse des lônes suivies et des thématiques concernées pour chaque lône.

Le détail des plannings d'échantillonnage est disponible en annexe 2.

Le suivi des communautés de macrophytes n'a pas été poursuivi après 2013.

Le suivi des peuplements de macroinvertébrés des lônes a été enrichi d'un échantillonnage des Odonates adultes.

Tableau 3.1 : Récapitulatif des sites (Vieux-Rhône et lônes suivies entre 2003 et 2014) et des thématiques prises en compte dans le suivi actuel du programme de restauration du Rhône. Les débits réservés ont augmentés dans l'ensemble des secteurs à l'exception du Canal de Miribel. Dans le secteur du Canal de Miribel, un suivi a débuté en 2013 dans six annexes fluviales. A Péage-de-Roussillon, les travaux de restauration de la lône du noyer sud ont été réalisés durant l'hiver 2011-2012, les travaux de la lône de la Sainte ont été achevés au printemps 2013, la lône de la Boussarde a été réhabilitée en 2014. A Montélimar, les travaux dans la lône de la Roussette ont débuté fin 2011 et ont été achevés dans l'hiver 2012-2013. A Donzère, le choix initial des lônes pour l'établissement de l'état pré-restauration a été effectué au printemps 2009, pour les thématiques sédimentation et macroinvertébrés, l'échantillonnage a débuté en 2009, l'échantillonnage des poissons a été réalisé en 2010, 2011 et 2012, en 2014. L'échantillonnage de la végétation a été réalisé en 2009 et 2012. En 2014, la CNR a communiqué les lônes pour lesquelles une réflexion sur leur réhabilitation potentielle était engagée. Le suivi de certaines lônes (marquées d'un « * ») a donc été suspendu et celui des lônes Lascombe, Dames, Dion, Banc Rouge et Désirade a été entrepris dès 2014.

Situation		Thématiques			
Secteurs	Types de milieu	Poissons	Invertébrés	Végétation	Sédimentation
Chautagne	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône de la Malourdie	X			X
	Lône du Brotalet	X			X
Belley	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône des Luisettes	X	X	X	X
	Lône Moiroud	X	X	X	X
	Lône Béard	X	X	X	X
	Lône Fournier	X	X	X	X
	Anse de Yenne	X	X		X
	Lône de Lucey		X		X
Brégnier-Cordon	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône de Chantemerle	X	X	X	X
	Lône des Granges	X	X	X	X
	Lône Vachon	X	X		X
	Lône des Cerisiers	X			X
	Lône des Molottes	X	X	X	X
	Lône Mattant	X	X		X
	Lône du Ponton	X	X	X	X
	Lône de la Plaine		X		X
Canal de Miribel	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	lône Plançon		X		
	lône Grella		X		
	lône Vieux-Rhône		X		
	cours eau Rizan		X		
	étang LIB1		X		
	étang LIB2		X		
Pierre-Bénite	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône de la Table Ronde	X		X	X
	Lône de Ciselande	X		X	X
	Lône de Jaricot	X		X	X
Péage de Roussillon	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône de la Platière	X	X	X	X
	Lône Noyé Nord	X	X	X	
	Lône Noyé Sud	X			X
	Ilon	X	X	X	X
	Lône de la Boussarde	X	X	X	
	Lône de la Sainte	X	X	X	X
Montélimar	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône de la Barcasse			X	
	Lône de la Roussette	X	X	X	X
Donzère-Mondragon	Chenal (vieux-Rhône)	X	X		
	Lône Grange écrasée	X	X	X	X
	Lône de Malatras *		X	X	
	Lône du Carré *	X	X	X	X
	Lône de la République *		X	X	X
	Lône Malaubert & Surelle	X	X	X	X
	Lône du Bayard *	X	X	X	X
	Lône de Caderousse *	X	X	X	X
	Lône des Jones *	X	X	X	X
	Lascombe		X		X
	Dames	X	X		X
	Dion	X	X		X
	Banc Rouge	X	X		X
	Désirade	X	X		X

Dans le cadre du suivi, les problématiques suivantes ont été retenues :

- modélisation des réponses des communautés de macroinvertébrés et de poissons aux variations de contraintes hydrauliques dans les chenaux soumis à augmentation du débit réservé,
- étude de l'effet de l'augmentation des débits réservés et des travaux de réhabilitation des lônes sur les populations de poissons,
- modélisation de l'évolution de la biodiversité (macrophytes) dans les lônes en relation avec la trophie des milieux, l'intensité des perturbations hydrauliques dans ces milieux et les caractéristiques sédimentaires,
- prédiction de la durée de vie des bras restaurés et recherche de géométries fluviales particulières qui répondent sur un long terme à des attentes écologiques fixées initialement,
- établissement de modèles prédictifs de la richesse faunistique (macro-invertébrés) en fonction des caractéristiques écologiques (qualité des eaux, degré de connexion avec le chenal, diversité d'habitats...) des lônes,
- analyse synthétique des relations trophiques dans les annexes fluviales, intégrant les résultats des autres thématiques (en particulier l'analyse de la qualité de l'eau, de la structure des communautés végétales et invertébrés, et de l'abondance et de la diversité des peuplements de juvéniles de poissons),

Sur le plan pratique, la démarche a pour objectifs :

- de réaliser un bilan des données disponibles utilisables dans le cadre de la définition des états initiaux des milieux destinés à être restaurés,
- de définir les problématiques majeures liées à l'évaluation des effets des opérations de restauration,
- de définir des plans et des protocoles d'échantillonnage à mettre en œuvre avant et après restauration,
- de définir un ensemble de **métriques** et d'**indicateurs** de la restauration telle qu'elle est envisagée : augmentation de débit réservé dans les sections court-circuitées et réhabilitation des bras latéraux,
- d'alimenter la base de données dédiée au programme et d'assurer la mise à jour régulière du site web.

Un volet destiné à étudier **les liens fonctionnels entre tronçons du fleuve aménagé, annexes fluviales et affluents**. Cette étude a pour but de mettre en évidence l'existence d'une

structuration génétique des poissons et d'analyser une potentielle différenciation intrapopulationnelle au voisinage de deux aménagements : Baix-le-Logis-Neuf et Donzère – Mondragon.

Dans le cadre du programme RhônEco, la complémentarité de certaines lônes pour les peuplements du chenal principal du vieux-Rhône a été observée. Par ailleurs, certaines particularités de la structure des peuplements du vieux-Rhône, telles que l'abondance du vairon à Baix-Le Logis Neuf (aménagé en 1960), du spirilin à Donzère-Mondragon (1952), suggèrent l'existence d'échanges entre les affluents et les vieux-Rhône, que la réhabilitation pourrait modifier. De même, les suivis réalisés dans les sections artificialisées du fleuve par Irstea (notamment dans le cadre des études d'impact des CNPE) suggèrent des interactions importantes entre les composantes spatiales du fleuve, notamment pour la dispersion et la croissance des jeunes stades (Meynard *et al.*, 2012).

L'enjeu opérationnel est de contribuer à **hiérarchiser l'effet potentiel des futurs leviers de la restauration du fleuve** (réhabilitation des confluences, rétablissement de la connectivité transversale et longitudinale, amélioration de l'habitat dans les canaux et retenues, ...). Il est aussi de mieux comprendre les effets observés de la réhabilitation physique des vieux Rhône (Lamouroux & Olivier, 2015).

Dans des travaux déjà anciens, une différenciation génétique significative chez le chevine et le gardon a été constatée entre l'amont et l'aval des ouvrages de Donzère -Mondragon (Laroche *et al.*, 1999). Par ailleurs, une étude génétique du chevine sur la Durance a montré l'implication de la fragmentation de l'espace alluvial durancien par les barrages (Dehais *et al.*, 2010). L'outil génétique paraît adapté pour traiter de ces questions et est donc proposé dans cette analyse du rôle des grandes composantes spatiales du Rhône aménagé: vieux-Rhône (ou RCC) et annexes fluviales (lônes), canaux et retenues, affluents, sur le fonctionnement des populations piscicoles.

Ces dernières années, le laboratoire Évolution, Génome, Environnement (EGE) de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) a mené un effort important dans le développement de marqueurs microsatellites pour les différentes espèces de cyprinidés retrouvées dans le réseau hydrographique français (Malausa *et al.*, 2011), notamment le gardon et le chevine (Dubut *et al.*, 2010). C'est une des seules équipes en France à mener ce type de travaux et à utiliser les marqueurs microsatellites en routine pour

l'étude des patrons de diversité génétique de ces espèces (Corse *et al.*, 2012; Dubut *et al.*, 2012).

À parti de 2014, des analyses de flux génétiques à partir de 14 sites répartis dans les aménagements hydro-électriques de Baix-Le Logis Neuf et de Donzère-Mondragon (restauration en 2014) ont été initiées. Elles portent sur trois cyprinidés dominants : le chevaine (*Squalius cephalus*), le gardon (*Rutilus rutilus*), l'ablette (*Alburnus alburnus*) sur tous les sites ; et sur deux cyprinidés ayant une répartition localisée : le vairon (*Phoxinus phoxinus*) et le spirilin (*Alburnoides bipunctatus*) dans 4 sites.

La répartition des sites est proposée en regard de la structuration spatiale imposée par les ouvrages et de la présence des affluents sur le tronçon (figure 3.1).

Aménagement de Baix-Le Logis Neuf

- 1) le Rhône en amont du Pouzin
- 2) le vieux Rhône au niveau de Baix
- 3) le Rhône dans la retenue de Montélimar, après la confluence du canal de fuite de l'usine de Logis Neuf et du RCC de Baix
- 4) un affluent du vieux Rhône : la Payre

Aménagement de Donzère-Mondragon

- 5) le Rhône à Viviers, après la confluence du vieux Rhône de Montélimar et du canal de fuite de l'usine de Châteauneuf-du-Rhône
- 6) le canal d'amenée de Donzère-Mondragon dans sa partie aval, avant l'usine de Bollène
- 7) le canal de fuite de Donzère-Mondragon en amont de l'arrivée du Lez
- 8) le vieux de Donzère-Mondragon en amont de l'Ardèche (Bourg Saint-Andéol)
- 9) le vieux Rhône de Donzère-Mondragon en aval de l'Ardèche (Pont Saint-Esprit)
- 10) une lône du vieux Rhône de Donzère-Mondragon
- 11) l'aval de la retenue de Caderousse
- 12) un affluent du canal de fuite : le Lez
- 13) un affluent du vieux Rhône : l'Ardèche (en amont du premier seuil aval)
- 14) un affluent du canal d'amenée : la Berre

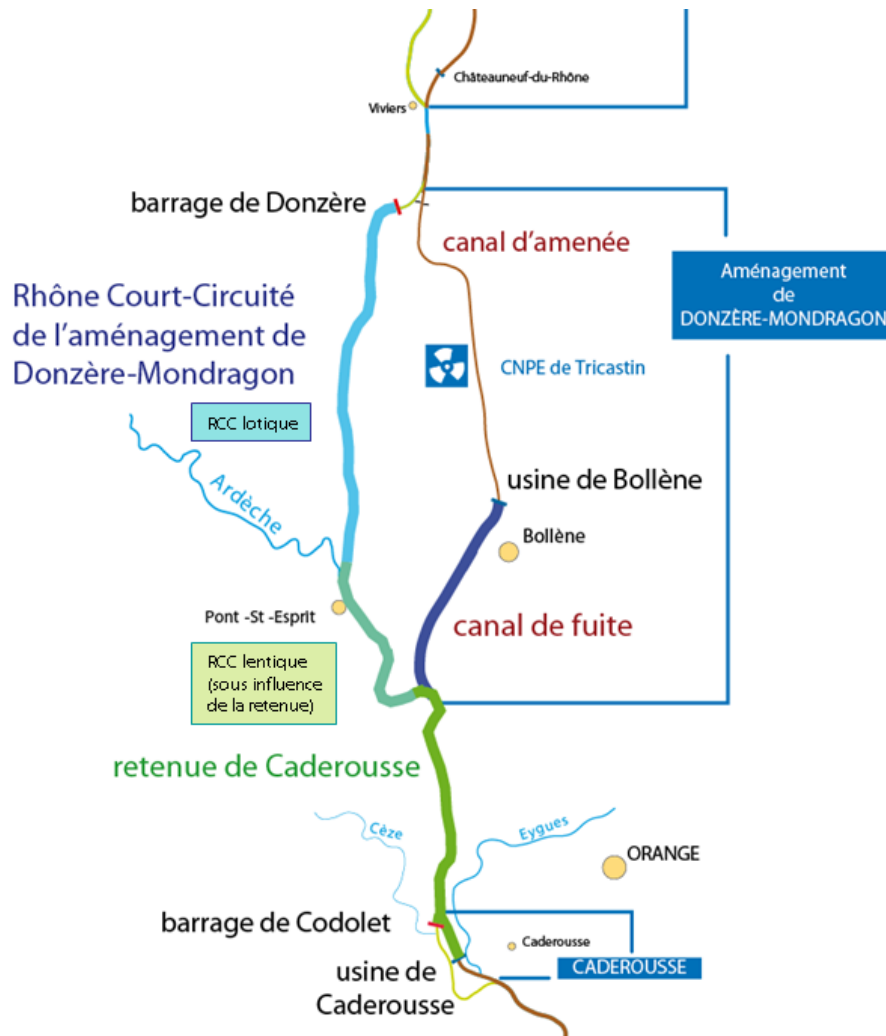


Figure 3.1 - Schéma des aménagements hydro-électriques de Donzère-Mondragon et de Caderousse (Compagnie Nationale du Rhône) et présentation d'un secteur géographique continu inséré entre 4 ouvrages. En tracé épais, un espace aquatique en continuité et regroupant des entités spatiales créés par deux ouvrages hydro-électriques distinct en termes de génie civil. Il comprend la section du vieux Rhône (RCC) court-circuitée par l'aménagement de Donzère-Mondragon, le canal de fuite de l'usine de Bollène, la retenue et le canal d'aménée de l'aménagement de Caderousse. Parmi les caractéristiques physiques importantes de ce tronçon fluvial : la confluence de l'Ardèche dans le vieux Rhône alimenté par un débit réservé actuel de 60 m³/s hors période de crues, la centrale nucléaire du Tricastin implantée sur le canal d'aménée de l'ouvrage de Donzère-Mondragon dont les rejets thermiques importants contribuent à la hausse des températures en aval, l'emprise considérable de l'ouvrage hydro-électrique de Donzère-Mondragon et son dénivellé (27 mètres à l'usine-écluse).

4 Les poissons du chenal (Vieux-Rhône)

4.1 Objectifs et méthodologie

Le suivi des peuplements de poissons des chenaux courants (vieux-Rhône) a pour objectif de rendre compte des dynamiques des communautés de poissons dans un contexte de diversité locale et régionale. Les observations sont comparées aux prédictions quantitatives réalisées avant restauration par des modèles d'habitats (Lamouroux *et al.*, 1999). Ces prédictions prévoient une augmentation des espèces ayant une préférence marquée pour les habitats profonds et courants (espèces dites d'eau courante) comme l'ombre commun, le barbeau, le hotu ou l'ablette, en lien avec l'évolution de l'indicateur hydraulique "eaux courantes" (REM).

Parallèlement aux pêches réalisées dans les vieux Rhône dans le cadre de la restauration, un nombre croissant de pêches sont réalisées par l'Onema le long du fleuve, parfois dans les mêmes vieux Rhône que ceux suivis dans le cadre de ce travail (Chautagne, Pierre-Bénite, Montélimar, Donzère-Mondragon, Baix-le-Logis-Neuf). Les pêches de l'Onema font partie des réseaux nationaux et présentent certaines contraintes (temps, navigation, étendue de stations) qui les rendent moins adaptées à un suivi fin de la restauration. Elles avaient été largement intégrées dans le rapport 2008 afin d'une part de comparer les pêches de suivi aux pêches Onema, et d'autre part de compléter l'image de la diversité piscicole à l'échelle du fleuve. Elles ne sont pas détaillées ici.

Dans chacun des vieux-Rhône suivis, une campagne d'échantillonnage est réalisée en automne. Une campagne correspond à une pêche électrique de 100 à 200 points d'échantillonnage ponctuels d'abondance – EPA - (ou 30 ambiances de quelques dizaines de mètres carrés) réalisée en grande partie en bateau et quelquefois à pied. Les points de pêche sont répartis dans la partie non-influencée hydrauliquement du vieux-Rhône, sur une ou plusieurs stations. Le nombre de points d'échantillonnage est supérieur (200 points) dans le cas des vieux-Rhône longs et/ou hétérogènes. La méthode d'échantillonnage implique de surprendre le poisson dans son habitat.

La fréquence d'échantillonnage des poissons du chenal est annuelle, les pêches pré-restauration ont été réalisées au minimum 2 ans avant augmentation des débits réservés.

4.2 Échantillonnage

Les échantillonnages 2014 ont été réalisés de fin août à fin octobre (Tableau 4.1). Cent à 200 points de pêches (EPA) ont été effectués dans les vieux-Rhône, à l'exception du vieux-Rhône de Pierre-Bénite où 30 ambiances ont été échantillonnées comme lors des suivis précédents.

Tableau 4.1 - Dates d'échantillonnage des peuplements de poissons dans les vieux-Rhône.

Stations	Dates
Vieux-Rhône de Chautagne	10-11/08/2014
Vieux-Rhône de Belley	10-11/09/2014
Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon	25-26/08/2014
Canal de Miribel	04-05/09/2014
Vieux-Rhône de Pierre-Bénite	30/09/2014
Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon	24/09/2014
Vieux-Rhône de Baix-le-Logis-Neuf	03/09/2014
Vieux-Rhône de Montélimar	21-22/10/2014
Vieux-Rhône de Donzère	18/09 & 02/10/2014

4.3 Résultats des pêches

Trente deux espèces ont été dénombrées dans les échantillons collectés dans les vieux Rhône en 2014 (tableau 4.2).

Les effectifs sont très variables d'un vieux-Rhône à l'autre (tableau 4.3) avec des valeurs très élevées en Chautagne (fortes abondances de barbeaux, de chevaines et de vairons), dans le Canal de Miribel (fortes abondances de barbeaux, de spirilins et de vairons) et à Péage-de-Roussillon (fortes abondances de bouvières, de gardons et de pseudorasbora). Le nombre d'espèces présentes varie entre 22 et 24 en Chautagne, à Belley, Brégnier-Cordon et Péage, il est compris entre 14 (Montélimar) et 19 (Miribel) dans les autres vieux-Rhône.

L'abondance relative des espèces « d'eau courante » varie entre 6% (Baix) et 47% (Pierre-Bénite). Pour les 4 secteurs où le débit réservé a été relevé avant 2014, les valeurs enregistrées en 2014 sont voisines de celles observées les années précédentes (figure 4.1).

Tableau 4.2 - Liste des espèces de poissons échantillonnées dans le cadre du suivi et codes associés. Les espèces échantillonnées dans les vieux-Rhône (Prés. VR 2014) sont identifiées. L'appartenance des espèces aux guildes de reproduction « phytophile » (P) et « litho-phytophile » (L-P) est indiquée.

Famille	Nom commun	Nom latin	Code	Prés. VR 2014	Guilde repro.
Petromyzontidae	Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i> (Bloch, 1784)	LPP		
Blenniidés	Blennie fluviatile	<i>Salaria fluviatilis</i> (Asso, 1801)	BLE	*	
Salmonidés	Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i> (Linné, 1758)	OBR	*	
	Truite fario	<i>Salmo Trutta fario</i> (Linné, 1758)	TRF	*	
Esocidés	Brochet	<i>Esox lucius</i> (Linné, 1758)	BRO	*	P
Lotidés	lote	<i>Lota lota</i> (Linné, 1758)	LOT	*	
Cyprinidés	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)	GAR	*	L-P
	Blageon	<i>Leuciscus souffia</i> (Risso, 1827)	BLN	*	
	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i> (L., 1758)	VAN	*	
	Chevaine	<i>Squalius cephalus</i> (L., 1758)	CHE	*	
	Ide mélanote	<i>Leuciscus idus</i> (L. 1766)	IDE	*	
	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758)	ROT	*	P
	Tanche	<i>Tinca tinca</i> (L., 1758)	TAN	*	P
	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L., 1766)	VAI	*	
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758)	ABL	*	L-P
	Spirlin	<i>Alburnoïdes bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	SPI	*	
	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i> (L., 1758)	BRB	*	P
	Brème commune	<i>Abramis brama</i> (L., 1758)	BRE	*	L-P
	Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i> (L., 1758)	HOT	*	
	Toxostome	<i>Parachondrostoma toxostoma</i> (Vallot, 1837)	TOX		
	Bouvière	<i>Rhodeus sericeus</i> (Bloch, 1785)	BOU	*	
	Goujon	<i>Gobio gobio</i> (L., 1758)	GOU	*	
	Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i> (Chlegel, 1842)	PSR	*	L-P
	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i> (L., 1758)	BAF	*	
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i> (L., 1758)	CCO	*	P
Carassin doré	<i>Carassius auratus</i> (L., 1758)	CAA		L-P	
Carassin argenté	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	CGO	*	L-P	
Balitoridés	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i> (L., 1758)	LOF	*	
Siluridés	Silure glane	<i>Silurus glanis</i> (Linné, 1758)	SIL	*	
Ictaluridés	Poisson-chat	<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	PCH		
Anguillidés	Anguille	<i>Anguilla anguilla</i> (L., 1758)	ANG	*	
Gastérostéidés	Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (L., 1766)	EPI	*	
Centrachidés	Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i> (L., 1758)	PES	*	
Percidés	Perche fluviatile	<i>Perca fluviatilis</i> (L., 1758)	PER	*	P
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i> (L., 1758)	GRE	*	L-P
	Sandre	<i>Stizostedion lucioperca</i> (L., 1758)	SAN		P
Cottidés	Chabot	<i>Cottus gobio</i> (Linné, 1758)	CHA	*	

Tableau 4.3 - Effectifs échantillonnés dans les vieux-Rhône en 2014 (pêches réalisées en fin d'été-début d'automne) ; le nombre de points d'échantillonnage – E.P.A. –, le nombre d'espèces présentes – Nb esp. –, l'abondance relative des espèces « d'eau courante» (%age EC, espèces surlignées en bleu) et « d'espèces d'eau vives » sont renseignés pour secteur.

Espèces/Sites	Chautagne	Belley	Brégner-Cordon	Canal de Miribel	Pierre-Bénite	Péage-de-Roussillon	Baix	Montélimar	Donzère	Total
ABL	18	72	41	37	268	623	12	174	337	1582
ANG	0	0	0	0	1	2	3	7	36	49
BAF	635	283	126	336	18	6	1	29	38	1472
BLE	10	12	20	2	0	0	0	0	0	44
BLN	3	0	62	72	0	0	0	0	0	137
BOU	3	10	0	0	2	715	39	5	9	783
BRB	0	0	1	1	21	6	6	7	7	49
BRE	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4
BRO	1	2	9	0	0	1	0	0	0	13
CGO	2	0	0	0	0	6	0	0	2	10
CCO	0	0	0	0	0	2	0	0	1	3
CHA	0	13	14	36	1	1	2	1	3	71
CHE	692	357	292	83	86	205	27	187	374	2303
EPI	62	45	10	0	0	8	0	0	0	125
GAR	347	201	49	5	483	520	19	204	82	1910
GOU	193	129	163	28	67	171	29	81	55	916
GRE	3	26	6	1	6	0	0	0	0	42
HOT	1	4	10	177	339	82	4	63	84	764
IDE	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
LOF	224	71	42	64	12	162	77	87	521	1260
LOT	0	5	2	0	0	0	0	0	0	7
OBR	3	15	2	0	0	0	0	0	0	20
PER	12	2	38	17	9	8	3	0	5	94
PES	3	0	40	1	3	41	2	0	0	90
PSR	15	0	0	16	0	208	9	81	42	371
ROT	0	0	0	1	0	9	1	0	0	11
SIL	1	3	3	47	0	19	1	3	4	81
SPI	7	159	64	836	17	1	0	51	35	1170
TAN	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
TRF	3	11	1	0	0	0	0	0	0	15
VAI	522	23	27	267	0	0	38	0	10	887
VAN	5	163	33	0	6	0	0	0	0	207
Total	2765	1607	1057	2027	1339	2802	273	980	1645	14495
Nb esp.	23	22	24	19	16	23	17	14	18	
Nb E.P.A.	100	200	200	100	100	100	80	180	200	
%age EC	24%	33%	20%	27%	47%	25%	6%	27%	28%	
%age EV	31%	33%	29%	66%	4%	6%	29%	17%	36%	

sans doute quelques années. Dans ces secteurs, le suivi-pré-restauration a débuté en 2006 à Montélimar, en 2007 dans le Canal de Miribel et à Péage-de-Roussillon, en 2008 à Donzère et en 2010 à Baix. L'évolution des effectifs capturés depuis le début du suivi (tableau 4.4 et figure 4.2) dans les secteurs de Miribel, Péage-de-Roussillon, Baix-le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère montre l'existence :

- d'une variabilité inter-secteurs importante avec des effectifs capturés (pour un effort d'échantillonnage équivalent) plus importants à Miribel et Péage-de Roussillon,
- d'une variabilité inter-annuelle des effectifs échantillonnés dans l'ensemble des secteurs avec des abondances relativement élevées en 2009, 2011 et 2013 et 2014 et plus faibles en 2007-2008 et 2012. Dans le vieux-Rhône de Baix, les effectifs échantillonnés en 2014 ont été relativement faibles, ce phénomène concerne la quasi-totalité des espèces. L'instabilité hydrologique a peut-être eu un impact négatif sur le succès de reproduction des espèces les plus abondantes les années précédentes (ablette, chevaine, goujon, loche franche et vairon).

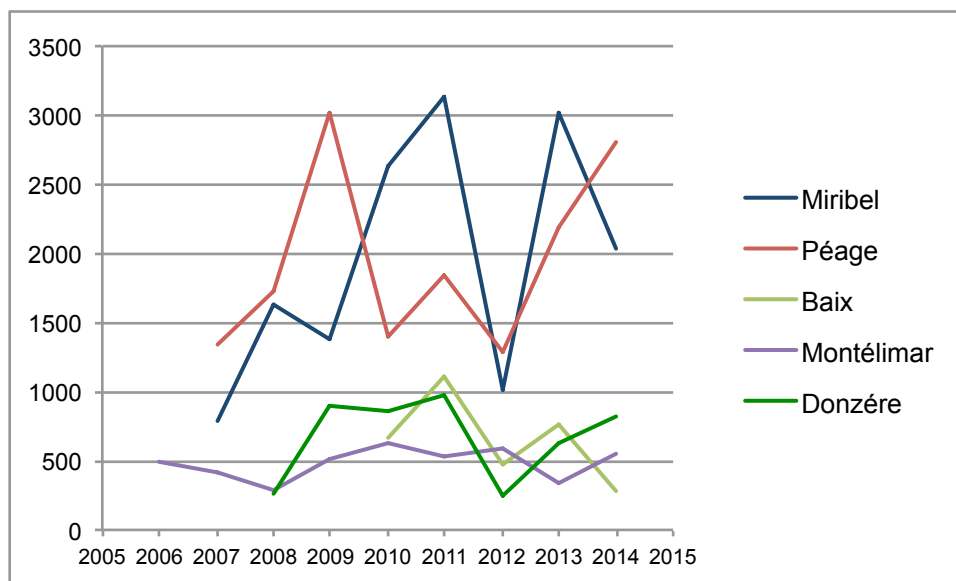


Figure 4.2 - évolution des effectifs capturés pour un effort d'échantillonnage de 100 E.P.A. entre 2006 et 2014 dans les vieux-Rhône de Miribel, Péage de Roussillon, Baix-le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère. Les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014 dans ces vieux-Rhône à l'exception du Canal de Miribel.

La proportion moyenne des espèces d'eau courante calculée sur la période d'échantillonnage est très variable d'un secteur à l'autre : 15% à Baix, 21% à Miribel, 28% à Péage, 43% à Montélimar et 46% à Donzère (tableau 4.4 et figure 4.3). De plus, les espèces qui contribuent le plus à la guildes des espèces d'eau courantes sont différentes d'un secteur à

l'autre (tableau 4.5) : c'est essentiellement le barbeau, et dans une moindre mesure le hotu à Miribel, l'ablette à Péage, l'ablette et accessoirement le hotu et le barbeau à Baix, Montélimar et Donzère.

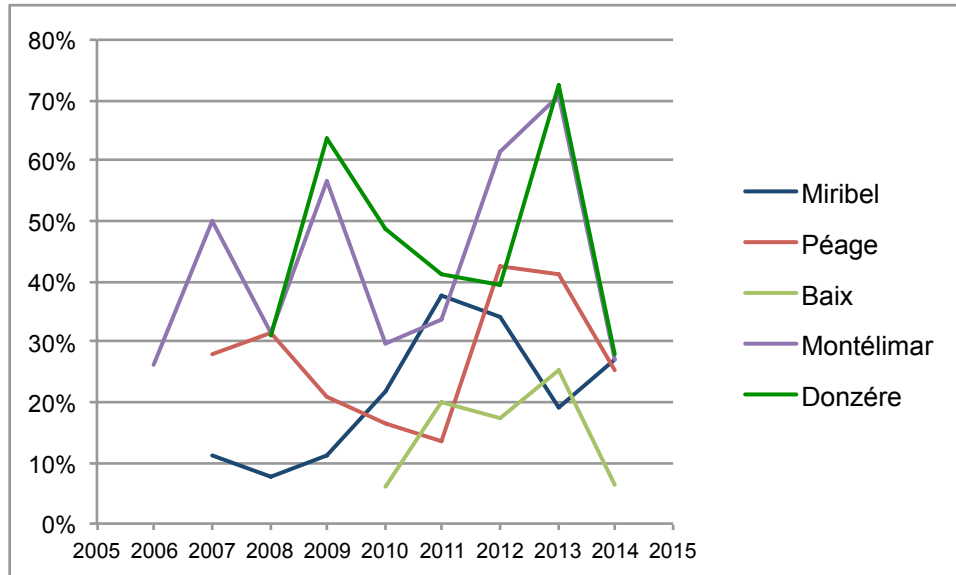


Figure 4.3 - Évolution de la proportion d'espèces « d'eau courante » entre 2006 et 2014 dans les vieux-Rhône de Miribel, Péage-de-Roussillon, Baix-le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère.

Tableau 4.5 - Proportions des espèces « d'eau courante » (toutes dates d'échantillonnage confondues) dans les vieux-Rhône de Miribel, Péage-de-Roussillon, Baix, Montélimar et Donzère. La contribution de chacune des espèces concernées (proportion de chacune des espèces/effectif total des espèces d'eau courante) est indiquée.

	Eff. Tot.	Eff esp. E.C.	%age esp. E.C.	ABL	BAF	HOT	TOX	VAN
Miribel	15629	3600	23%	8%	64%	27%	0%	1%
Péage	15613	4199	27%	88%	3%	9%	0%	0%
Baix	3273	551	17%	52%	16%	32%	0%	0%
Montélimar	7794	285	42%	66%	17%	17%	0%	0%
Donzère	9375	4518	48%	51%	21%	27%	0%	0%

Tableau 4.4 - Effectifs échantillonnés dans les vieux-Rhône de Miribel, Péage-de-Roussillon, Baix-Le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère depuis le début du suivi. Le nombre d'espèces présentes – Nb esp. –, l'abondance relative des espèces « d'eau courante» (% EC, espèces surlignées en bleu) sont renseignés pour chaque campagne de pêche. Les valeurs de pourcentages d'espèce d'eau courante supérieures à la moyenne calculée avant augmentation des débits réservés sont surlignées. L'abondance moyenne de chaque espèce est calculée pour chacun des vieux-Rhône.

Vieux-Rhône	Année	ABL	ANG	BAF	BLE	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	IDE	LOF	LPP	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAN	TOX	VAI	VAN	Total	Nb esp.	%EC
Canal de Miribel	2007	2	0	79	0	7	0	6	0	0	0	0	0	1	48	0	3	33	0	8	0	105	0	0	5	0	2	0	0	11	224	0	0	253	1	788	16	11,4%
Canal de Miribel	2008	5	0	57	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	23	1	1	17	0	65	0	147	0	0	1	0	1	0	14	394	1	0	900	0	1639	15	7,7%	
Canal de Miribel	2009	10	0	102	0	9	0	0	0	1	0	0	0	3	42	1	3	8	0	28	0	62	0	0	4	0	2	0	0	8	558	1	0	528	13	1383	18	11,1%
Canal de Miribel	2010	19	4	438	0	3	0	1	1	0	0	0	0	34	111	0	0	16	0	119	0	125	0	0	4	0	10	0	33	617	0	0	1095	0	2630	16	21,9%	
Canal de Miribel	2011	143	4	546	0	0	1	17	0	1	0	0	0	10	231	0	5	30	0	487	0	62	0	0	12	0	8	0	49	944	0	0	574	2	3126	18	37,7%	
Canal de Miribel	2012	43	1	221	4	1	1	3	0	0	0	0	0	7	174	0	4	4	1	79	1	2	0	0	8	12	3	0	14	253	0	0	170	3	1009	22	34,3%	
Canal de Miribel	2013	25	1	531	0	1	2	6	1	0	0	0	0	6	299	0	5	50	0	22	0	10	0	0	3	4	11	0	24	1737	0	0	287	2	3027	20	19,2%	
Canal de Miribel	2014	37	0	336	2	72	0	1	0	0	0	0	0	36	83	0	5	28	1	177	0	64	0	0	17	1	16	1	0	47	836	0	0	267	0	2027	19	27,1%
Abondance moyenne		36	1	289	1	13	1	4	0	0	0	0	0	12	126	0	3	23	0	123	0	72	0	0	7	2	7	0	25	695	0	0	509	3	1954			
Péage	2007	345	12	14	0	0	57	1	0	0	0	0	0	115	0	383	94	4	15	0	107	0	49	48	72	19	0	3	0	0	0	0	0	0	1338	16	28,0%	
Péage	2008	515	11	23	0	0	92	35	6	0	0	4	0	293	0	386	75	12	3	0	138	0	8	12	26	69	7	1	8	0	0	0	0	0	1724	20	31,4%	
Péage	2009	550	4	4	0	0	315	6	48	3	0	59	17	0	385	1	708	91	6	83	0	169	0	1	31	87	325	118	0	9	1	3	0	0	1	3025	25	21,1%
Péage	2010	186	2	11	0	0	197	23	4	1	0	13	0	0	141	0	196	63	13	32	0	61	0	6	21	235	158	15	0	11	2	5	0	1	0	1397	23	16,4%
Péage	2011	229	3	5	1	0	251	20	3	8	0	18	1	0	196	15	560	53	5	17	0	133	0	1	68	151	65	24	1	11	0	4	0	0	0	1843	25	13,6%
Péage	2012	393	2	34	0	0	172	3	0	0	0	3	2	2	112	0	168	140	4	123	1	28	0	1	19	63	10	2	0	5	0	0	0	0	0	1287	21	42,7%
Péage	2013	866	1	32	0	0	438	44	1	0	0	0	0	0	214	0	46	320	2	7	0	19	0	2	0	94	102	3	0	2	2	1	0	1	0	2197	20	41,2%
Péage	2014	623	2	6	0	0	715	6	4	1	0	6	2	1	205	8	520	171	0	82	2	162	0	0	8	41	208	9	0	19	1	0	0	0	0	2802	23	25,4%
Abondance moyenne		463	5	16	0	0	280	17	8	2	0	13	3	0	208	3	371	126	6	45	0	102	0	9	26	96	120	22	0	9	1	2	0	0	0	1952		
Baix	2010	14	7	12	0	2	18	4	1	0	5	1	2	0	76	0	6	35	0	15	0	74	0	0	4	0	29	0	0	2	0	1	0	364	0	672	20	6,1%
Baix	2011	100	1	8	0	0	6	5	0	1	0	3	1	1	98	6	122	139	1	112	0	85	0	0	2	0	34	0	0	2	1	1	0	373	0	1102	22	20,0%
Baix	2012	36	5	23	0	0	39	0	3	0	0	0	0	0	56	0	23	12	0	22	0	15	0	0	0	0	17	0	0	2	3	0	0	211	0	467	14	17,3%
Baix	2013	126	8	44	0	2	31	27	0	1	0	0	1	1	99	1	6	112	0	22	0	100	0	0	0	0	46	0	1	0	11	0	0	120	0	759	19	25,3%
Baix	2014	12	3	1	0	0	39	6	0	0	0	0	2	2	27	0	19	29	0	4	0	77	0	0	3	2	9	1	0	1	0	0	0	38	0	273	17	6,2%
Abondance moyenne		58	5	18	0	1	27	8	1	0	1	1	1	1	71	1	35	65	0	35	0	70	0	0	2	0	27	0	1	3	0	0	221	0	655			
Montélimar	2006	129	9	66	0	0	17	174	9	0	2	0	3	0	140	0	87	38	2	38	0	15	0	0	18	6	31	3	2	1	93	2	0	3	0	888	23	26,2%
Montélimar	2007	227	35	33	0	0	0	6	4	0	0	0	0	1	129	0	21	19	2	115	0	130	0	0	10	1	0	1	0	1	14	0	0	1	0	750	18	50,0%
Montélimar	2008	110	23	22	0	0	2	17	0	0	3	0	0	1	148	2	69	14	0	30	0	22	1	0	11	0	17	0	1	3	20	1	1	0	0	518	21	31,5%
Montélimar	2009	223	12	152	0	0	2	63	1	0	3	0	1	0	159	0	23	15	0	139	0	63	0	0	11	2	2	0	3	5	30	0	0	0	0	909	19	56,5%
Montélimar	2010	241	26	51	0	0	1	382	1	1	0	3	1	0	196	0	10	67	13	43	0	40	0	0	15	2	12	0	0	7	9	0	0	6	0	1127	21	29,7%
Montélimar	2011	212	10	44	0	0	8	75	2	0	0	5	1	2	253	0	63	122	1	72	0	48	0	0	5	11	22	5	0	5	3	0	0	1	0	970	22	33,8%
Montélimar	2012	512	6	87	0	0	13	13	0	0	0	2	0	3	184	0	64	94	0	43	0	11	0	0	4	1	4	1	0	0	4	0	0	0	0	1046	17	61,4%
Montélimar	2013	345	4	72	0	0	2	10	0	0	0	0	2	0	68	0	25	17	0	12	0	14	0	0	5	0	1	0	1	4	24	0	0	0	0	606	16	70,8%
Montélimar	2014	174	7	29	0	0	5	7	0	0	0	0	0	1	187	0	204	81	0	63	0	87	0	0	0	0	81	0	0	3	51	0	0	0	0	980	14	27,1%
Abondance moyenne		241	15	62	0	0	6	83	2	0	1	1	1	1	163	0	63	52	2	62	0	48	0	0	9	3	19	1	1	3	28	0	0	1	0	866		
Donzère	2008	66	33	80	0	0	2	0	0	1	0	0	2	0	103	0	10	12	0	11	0	110	0	0	0	0	1	0	0	4	69	0	0	3	0	507	15	31,0%
Donzère	2009	222	11	252	0	0	0	12	0	0	3	0	0	2	263	0	51	87	0	659	0	184	0	1	3	2	16	0	0	3	2	0	0	8	0	1781	18	63,6%
Donzère	2010	600	14	140	0	1	4	13	0	0	0	7	3	3	412	0	25	100	0	100	0	159	0	0	7	4	43	0	0	8	47	5	0	22	0	1717	21	48,9%
Donzère	2011	382	9	56	0	0	42	65	1	0	0	0	5	2	392	1	126	163	1	373	0	158	0	0	5	0	41	0	0	3	17	0	0	117	0	1959	20	41,4%
Donzère	2012	164	10	25	0	0	4	5	0	0	0	0	1	0	152	0	8	40	0	7	0	4	0	0	3	0	1	0	1	3	53	1	0	12	0	494	18	39,7%
Donzère	2013	536	9	378	0	0	4	13	0	0	0	4	2	0	119	0	5	45	0	8	0	37	0	0	1	0	20	0	0	10	80	0	0	1	0	1272	17	72,5%
Donzère	2014	337	36	38	0	0	9	7	0	0	0	2	1	3	374	0	82	55	0	84	0	521	0	0	5	0	4	35	0	0	10	0	0	0	1645	18	27,9%	
Abondance moyenne		330	17	138	0	0	9	16	0	0	0	2	2	1	259	0	44	72	0	177	0	168	0	0	3	1	23	0	0	5	43	1	0	25	0	1339		

1.1 Conclusion

Les données collectées en 2014 dans les vieux-Rhône restaurés entre 2000 et 2005 viennent conforter les résultats des années précédents, malgré une hydrologie assez instable en 2014. Dans les 4 secteurs du Rhône moyen et du Bas-Rhône, le débit réservé a été augmenté au 1^{er} janvier 2014, il n'est donc pas possible de mettre en évidence un effet de cette augmentation de débit réservé avec les données collectées à l'automne 2014, même lorsque le débit a été fortement augmenté comme c'est le cas à Péage-de-Roussillon et à Baix-le-Logis-Neuf.

2 Les peuplements de macroinvertébrés du chenal (Vieux-Rhône)

2.1 Objectifs

La distribution des invertébrés benthiques dans le chenal des vieux-Rhône dépend fortement des conditions hydrauliques locales. Ces organismes représentent donc un matériel de choix pour évaluer la qualité de l'habitat physique du milieu. Ainsi, les études sur les invertébrés benthiques initiées dans le cadre du suivi scientifique du programme de restauration écologique et hydraulique du Rhône visent d'une part à étudier les relations entre les conditions hydrauliques locales et la distribution des espèces à partir de données de références (pré-restauration) et d'autre part, à établir des scénarios de modifications biocénétiques en fonction des changements hydrauliques associés aux augmentations de débit dans les Vieux-Rhône.

L'effet des augmentations de débit réservé dans les vieux-Rhône est mesuré par l'analyse des modifications des structures des communautés de macroinvertébrés benthiques. L'approche retenue pour détecter et évaluer les effets de l'augmentation des débits réservés dans les Rhône court-circuités repose sur :

- l'acquisition de données pré-restauration afin de décrire la structure et la variabilité interannuelle des communautés ;
- l'utilisation de ces données afin de modéliser les préférences pour des variables hydrauliques ayant une influence forte sur la distribution des organismes aquatiques (contraintes au fond) ;
- la description de l'évolution post-restauration de métriques décrivant la structure des communautés (densités, richesse, ...)

- l'identification des taxons dont les densités peuvent varier en augmentant ou en diminuant de manière significative en réponse aux augmentations de débits réservés.

La réduction du débit dans les vieux Rhône suite à la construction des aménagements hydro-électriques peut avoir pour conséquence écologique une diminution de la richesse taxonomique/densité totale, de la richesse/densité en taxa sensibles (ex. EPT : Epheméroptères, Plécoptères, Trichoptères) (Dewson *et al.*, 2007, Poff & Zimmerman, 2010). En revanche, la restauration hydraulique dans les fleuves peut avoir comme conséquence une augmentation de la richesse/densité des espèces exogènes (Paillex *et al.*, 2015). Les données obtenues avant et après restauration nous permettent ainsi de valider les hypothèses posées à partir de ces métriques relatives à la richesse taxonomique ou aux préférences hydrauliques des macroinvertébrés du chenal proposées dans le cadre de cette étude (Olivier *et al.* 2009). L'ensemble de ces métriques représente des descripteurs de l'évolution de la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques après restauration.

5.2 Méthodologie

Pour chaque secteur suivi (sauf Pierre-Bénite), les invertébrés ainsi que les paramètres hydrauliques sont échantillonnés sur les mêmes stations selon un tirage aléatoire sur 20 transects. Les invertébrés ont été récoltés avec un cylindre de Hess muni d'un filet de maille de 200 μm jusqu'en 2013 puis 400 μm à partir de 2014 (voir explication plus bas). Les premiers centimètres de substrat et la faune associée sont collectés sur une surface de 0.05 m².

Des mesures fines de l'habitat hydraulique (vitesse moyenne, hauteur et contraintes au fond) ont été réalisées à chaque point d'échantillonnage jusqu'en 2012. La méthode des hémisphères HFST a été utilisée pour mesurer les contraintes hydrauliques locales au fond de la rivière au niveau du point d'échantillonnage de la faune (Olivier *et al.*, 2007a). Ces forces hydrauliques peuvent induire le remaniement des sédiments et déloger les invertébrés benthiques de leurs abris ; elles sont donc de bons indicateurs de perturbation de l'habitat physique. La quantité de données acquise jusqu'en 2012 a été jugée suffisante pour améliorer les modèles de préférences d'habitat des invertébrés. Ainsi, seuls les paramètres hydrauliques vitesse moyenne et profondeur sont estimés pour chaque point d'échantillonnage à partir de 2013.

Avant restauration, les invertébrés du chenal et les paramètres hydrauliques ont été échantillonnés dans 4 tronçons représentatifs de 4 sections court-circuitées du Haut-Rhône (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Miribel) à trois saisons (printemps, été et hiver). Pour cette phase initiale, un total de 300 échantillons choisis aléatoirement a été prélevé dans les 4 tronçons court-circuités. Les résultats de ce travail ont montré que les deux saisons printemps et été donnaient une bonne image des peuplements en place (Olivier *et al.* 2004a & b, 2005). Ainsi, seules ces deux saisons ont été retenues pour l'échantillonnage post-restauration ainsi que pour l'échantillonnage pré-restauration des vieux-Rhône du Bas-Rhône.

De plus, au cours de la phase pré-restauration, 5 tamis de différents vides de maille (2000, 1000, 630, 400 & 200 μ m) ont été utilisés au laboratoire pour séparer les organismes par classes de tailles. Les résultats de cette phase ont montré que les individus dont la taille était supérieure à 400 μ m décrivaient d'une manière pertinente les peuplements en place (Olivier *et al.* 2004a & b, 2005). Ainsi, dans le présent rapport, seuls ces individus sont pris en compte pour la présentation et l'analyse des données.

Pour le secteur de Pierre-Bénite, l'échantillonnage est réalisé dans trois stations : dans la partie amont du vieux-Rhône, au niveau de l'Ile Tabart (pk 8,4) ; sur le radier, à l'amont du pont de Vernaison (pk 9,8) ; en aval, au niveau de la station de pompage de Millery (pk 12,6). Dans chaque station, les prélèvements faunistiques sont d'une part réalisés par dragage dans le chenal (un par station, soit 3m²), d'autre part les divers types de microhabitats des rives (substrats durs, herbiers, sédiments fins), mésohabitats *sensu* Armitage *et al.* (1995), sont prospectés en fonction de leurs occurrences (Bournaud & Cogérino, 1986 ; Cogérino, 1989 ; Cogérino *et al.*, 1995) à l'aide d'un filet Surber de surface 0.05 m² et de taille maille 500 μ m. La station aval (pk 12.6) se situe à la limite du remous de la confluence avec le canal de dérivation et possède des berges partiellement endiguées. Ces caractéristiques pouvant limiter les effets du rehaussement des débits et biaiser l'image du secteur, seules les stations « amont » (pk 8.4) et « radier » (pk 9.8) seront conservées pour la suite de l'analyse.

Les invertébrés sont identifiés à l'espèce chaque fois que cela est possible, à l'exception des Oligochètes et des Diptères en raison des difficultés taxonomiques et du coût d'acquisition de l'information complémentaire pour ces deux groupes.

5.3 Bilan des campagnes d'échantillonnage

En 2015, 105 campagnes d'échantillonnage d'invertébrés ont été réalisées dans le chenal de 9 vieux-Rhône avant restauration et de 4 vieux-Rhône après restauration (tableau 5.1).

Les résultats des états pré-restauration de Chautagne, Belley et Brègnier-Cordon ont chacun fait l'objet d'un rapport d'état initial (Olivier *et al.*, 2004a & b, 2005). Les données de cet état initial ont été utilisées pour modéliser la réponse des peuplements d'invertébrés aux changements de conditions hydrauliques dans les vieux-Rhône (Olivier *et al.*, 2007a).

Tableau 5.1 - Campagnes d'échantillonnage pré-restauration et post-restauration dans les 9 vieux-Rhône pour les invertébrés du chenal. (En gris : absence de campagne ; en orange : campagnes pour lesquelles le travail de laboratoire de tri et de détermination est en cours ; x : échantillonnage prévisionnel ; * données issues de la littérature ; (1) échantillonnage réalisé par l'ARALEP¹ ; () : campagnes autofinancées ; trait rouge : opération de restauration hydraulique).

		Chautagne	Belley	Brègnier-cordon	Miribel	Pierre-Bénite (1)	Péage-de-Roussillon	Baix	Montélimar	Donzère
1995	Print					juin				
	été					octobre				
1996	Print					juin				
	été					octobre				
1997	Print									
	été	août*								
1998	Print					juin				
	été					octobre				
1999	Print	mai*				juin				
	été	août*				octobre				
2000	Print	mai*								
	été	août*								
2001	Print					juin				
	été					octobre				
2002	Print	juin	mai	juin	mai	juin				
	été	septembre	août	août	septembre	octobre				
2003	Print					juin				
	été					octobre				
2004	Print									
	été									
2005	Print									
	été									
2006	Print	juin								
	été	septembre								
2007	Print									
	été		septembre			octobre	septembre			
2008	Print	mai	mai			juin	mai		mai	
	été	août							août	
2009	Print	avril	avril	avril						avril
	été	août	septembre	septembre						juillet
2010	Print	mai			avril	mai	avril			
	été	octobre			juillet	septembre	juillet			
2011	Print	mai	mai	mai	avril		(avril)	(mai)	avril	(avril)
	été	août	septembre	août	août		(juillet)	(juillet)	juillet	(juillet)
2012	Print	mai	(mai)	(mai)		mai	avril	(avril)	(avril)	avril
	été	août	(août)	(août)		octobre	juillet	(juillet)	(juillet)	juillet
2013	Print	mai	mai	mai				(juin)		
	été	août	août	septembre				(septembre)		
2014	Print				avril		avril	avril	avril	mai
	été				août		septembre	septembre	septembre	septembre
2015	Print									
	été									
2016	Print	x	x	x						
	été	x	x	x						
2017	Print				x		x	x	x	x
	été				x		x	x	x	x
2018	Print					x				
	été					x				

¹ ARALEP - Application de la Recherche A L'Expertise des Pollutions
Campus LyonTech la Doua - Bât CEI 1 - 66 Bld Niels Bohr - 69603 Villeurbanne Cedex

5.4 Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages

Le contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages comporte deux aspects :

- le débit le jour de l'échantillonnage : Si le débit observé le jour de l'échantillonnage est largement supérieur au débit réservé, les conditions d'échantillonnages (surface échantillonnable, profondeur moyenne, ...) peuvent être modifiées et influencer les résultats.
- la moyenne des débits 10 jours avant la date d'échantillonnage : un épisode de crue induit généralement une migration verticale des invertébrés dans la zone hyporhéique, et/ou une migration longitudinale (dérive) (Gjerløv *et al.*, 2003). Ces deux phénomènes peuvent influencer les résultats en fonction de l'ampleur de l'épisode de crue.

Tableau 5.2 - Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnage 2012, 2013 et 2014. Avec Débit réservé : débit théorique à la date d'échantillonnage ; Moyenne débit 10 jours : moyenne des débits journaliers 10 jours précédant la date d'échantillonnage ; Débit jour d'échantillonnage : débit moyen journalier à la date de l'échantillonnage ; ND : Données non disponibles.

Site	Date	Débit réservé (m ³ /s)	Moyenne débit 10 jours (m ³ /s)	Débit jour d'échantillonnage
Chautagne	08/05/2012	70	147	70
	20/08/2012	70	76	73
Belley	02/05/2012	85	105	102
	21/08/2012	80	82	110
Brégnier-Cordon	03/05/2012	100	75.5	73
	22/08/2012	150	147	175
Pierre-Bénite	01/05/2012	100	235	107
	01/10/2012	100	489	189
Péage de Roussillon	23/04/2012	20	42	34
	09/07/2012	20	152	36
Baix-le-Logis-Neuf	20/04/2012	20	23	16
	03/07/2012	20	23	23
Montélimar	26/04/2012	15-60	82	71
	11/07/2012	15-60	62	46
Donzère-Mondragon	27/04/2012	60	81	93
	10/07/2012	60	100	82
Chautagne	02/05/2013	70	60	77
	22/08/2013	70	82	88
Belley	06/05/2013	85	ND	ND
	23/08/2013	80	ND	ND
Brégnier-Cordon	07/05/2013	100	100	97
	04/09/2013	100	131	94
Baix-le-Logis-Neuf	11/06/2013	20	131	20
	02/09/2013	10	19	10
Miribel	16/04/2014	30-60	36	30
	29/08/2014	30-60	58	30
Péage de Roussillon	17/04/2014	125	146	165
	09/09/2014	75	136	126
Baix-le-Logis-Neuf	23/04/2014	74.5	76	76
	12/09/2014	74.5	81	76
Montélimar	24/04/2014	75.4	98	98
	11/09/2014	75.4	95	88
Donzère-Mondragon	14/05/2014	75.4	76	75
	10/09/2014	75.4	83	81

5.4.1 Échantillonnage 2012

De manière générale, les campagnes d'échantillonnages de printemps 2012 se sont déroulées dans un contexte hydrologique instable (tableau 5.2 et Annexe 3). Pour les sites de Chautagne, Belley, Pierre-Bénite et Péage-de-Roussillon, les moyennes des débits précédant les dates d'échantillonnages sont beaucoup plus élevées que les débits réservés théoriques. Pour le site de Brégnier-Cordon, la moyenne des débits précédant la date d'échantillonnage ($75.5 \text{ m}^3/\text{s}$) est inférieure au débit réservé théorique ($100 \text{ m}^3/\text{s}$). Pour le site de Donzère-Mondragon, le débit du jour de l'échantillonnage ($93 \text{ m}^3/\text{s}$) est largement supérieur au débit réservé ($60 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les campagnes d'échantillonnage de l'été 2012 se sont déroulées dans un contexte hydrologique stable pour les sites de Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon, Baix-le-logis-neuf et Montélimar. En revanche, pour les sites de Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon, les moyennes de débits 10 jours avant l'échantillonnage et le débit le jour de l'échantillonnage dépassent largement les débits réservés (tableau 5.2 et Annexe 3).

5.4.2 Échantillonnage 2013

D'une manière générale, les campagnes d'échantillonnages de printemps 2013 se sont déroulées dans un contexte hydrologique stable (tableau 5.2 et Annexe 4). Néanmoins, la moyenne des débits 10 jours avant la date d'échantillonnage ($131 \text{ m}^3/\text{s}$) est beaucoup plus élevée que le débit réservé théorique ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) pour le site de Baix-le-Logis-Neuf.

Les campagnes d'échantillonnages de l'été 2013 se sont déroulées dans un contexte hydrologique stable (tableau 5.2 et Annexe 4).

Les données de débits pour le vieux-Rhône de Belley ne sont pas disponibles pour l'année 2013.

5.4.3 Échantillonnage 2014

Pour les secteurs de Péage-de-Roussillon et Montélimar, le contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnage de printemps et de l'été est plutôt instable (tableau 5.1 et Annexe 3). En effet, la moyenne des débits précédant la date d'échantillonnage ainsi que le débit le jour de l'échantillonnage est supérieur au débit réservé théorique.

5.5 Bilan multi-sites

Ce bilan présente l'évolution interannuelle des métriques densité d'invertébrés récoltés (totale et invasif) et richesse taxonomique pour chaque secteur suivi.

Pour les secteurs de Pierre-Bénite, Chautagne, Belley et Bregnier-Cordon dont les débits ont été augmentés respectivement en 2000, 2004, 2005 et 2006 et pour lesquels des données après restauration sont disponibles, une comparaison interannuelle avant/après restauration de la métrique richesse en Ephémères, Plécoptères, Trichoptères (EPT) sera présentée.

Enfin, pour les secteurs de Chautagne et Pierre-Bénite, pour lesquels une chronique de suivis avant/après restauration relativement longue est disponible, l'évolution des densités observées par guildes de préférences hydrauliques sera représentée.

5.5.1 Densité et richesse taxonomique

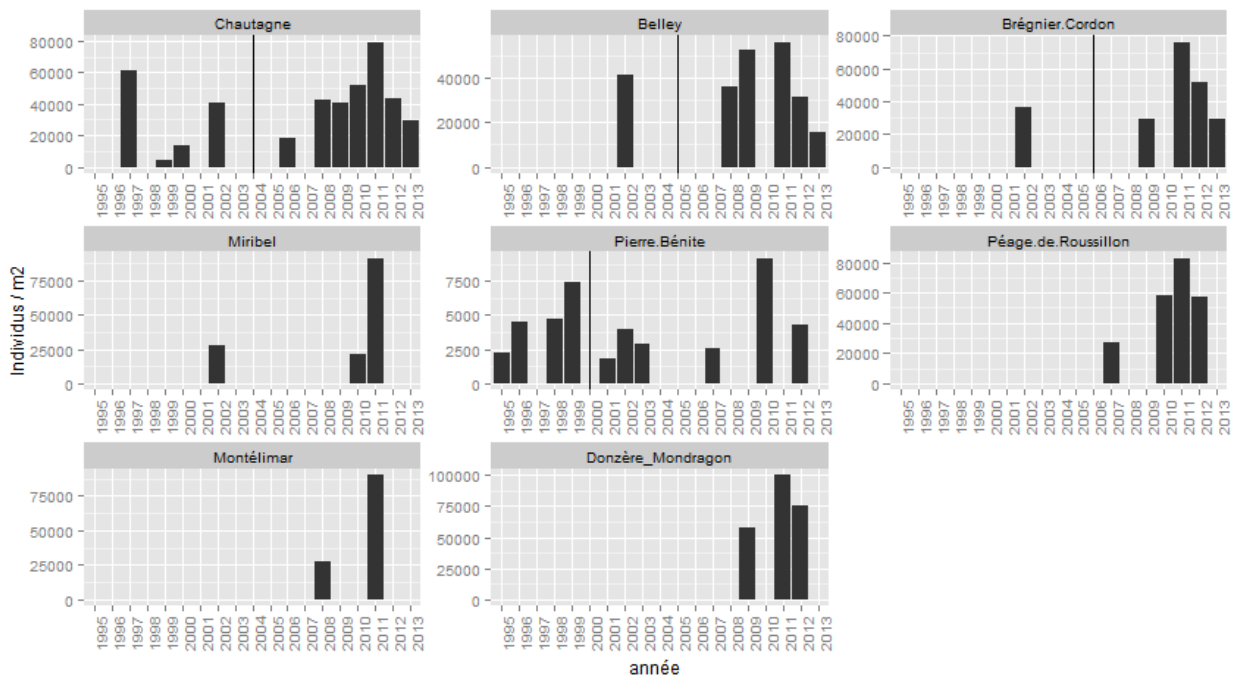


Figure 5.1 - Évolution interannuelle de la densité totale des invertébrés récoltés. Les lignes verticales noires signalent la date de rehaussement des débits réservés.

La diminution naturelle ou artificielle du débit dans les rivières peut avoir pour conséquence une diminution de la densité en macroinvertébrés (Dewson *et al.*, 2007). Par conséquent, après augmentation des débits réservés, une augmentation des valeurs de la métrique **densité totale** après restauration hydraulique est attendue.

Pour le secteur de Chautagne, la densité en invertébrés a augmenté après restauration avec en moyenne 29 794 individus/m² avant restauration et 43 600 individus/m² après restauration.

Pour le secteur de Pierre-Bénite, la densité en invertébré est sensiblement la même avant et après restauration, avec en moyenne 4 700 individus/m² avant restauration et 4 100 individus/m² après restauration. On notera que les densités d'invertébrés observées sur le secteur de Pierre-Bénite sont beaucoup plus faibles que celles observées dans les autres secteurs suivis.

Pour tous les secteurs suivis, de fortes variations interannuelles des densités sont observées. L'absence de données répétées avant restauration pour les secteurs de Belley et Brégnier-Cordon ne nous permet pas de faire de comparaison de cette métrique avant et après restauration

→ Les densités observées ont globalement augmenté après augmentation des débits. Pour les secteurs de Péage-de-Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon, dont les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014, l'acquisition de données sur plusieurs années avant restauration permettra de confirmer ces changements de densité après restauration.

La diminution naturelle ou artificielle du débit dans les rivières peut avoir pour conséquence une diminution de la richesse taxonomique (Dewson *et al.*, 2007). Par conséquent, une augmentation de la métrique **richesse taxonomique** après restauration hydraulique est attendue.

On observe également des variations interannuelles de la richesse taxonomique (figure 5.2). Néanmoins, une augmentation très nette de la richesse taxonomique pour le secteur de Chautagne est observée, avec en moyenne 66 taxa avant restauration et 77 taxa après restauration. La plus forte diversité a été observée sur ce secteur en 2011 (87 taxa) et celle-ci s'est maintenue en 2012 et 2013.

Pour le secteur de Pierre-Bénite, la richesse taxonomique est restée sensiblement la même avant et après restauration avec en moyenne respectivement 53 et 55 taxa.

L'absence de données répétées avant restauration pour les secteurs de Belley et Brégnier-Cordon n'autorise pas de comparaison des valeurs de cette métrique avant et après restauration.

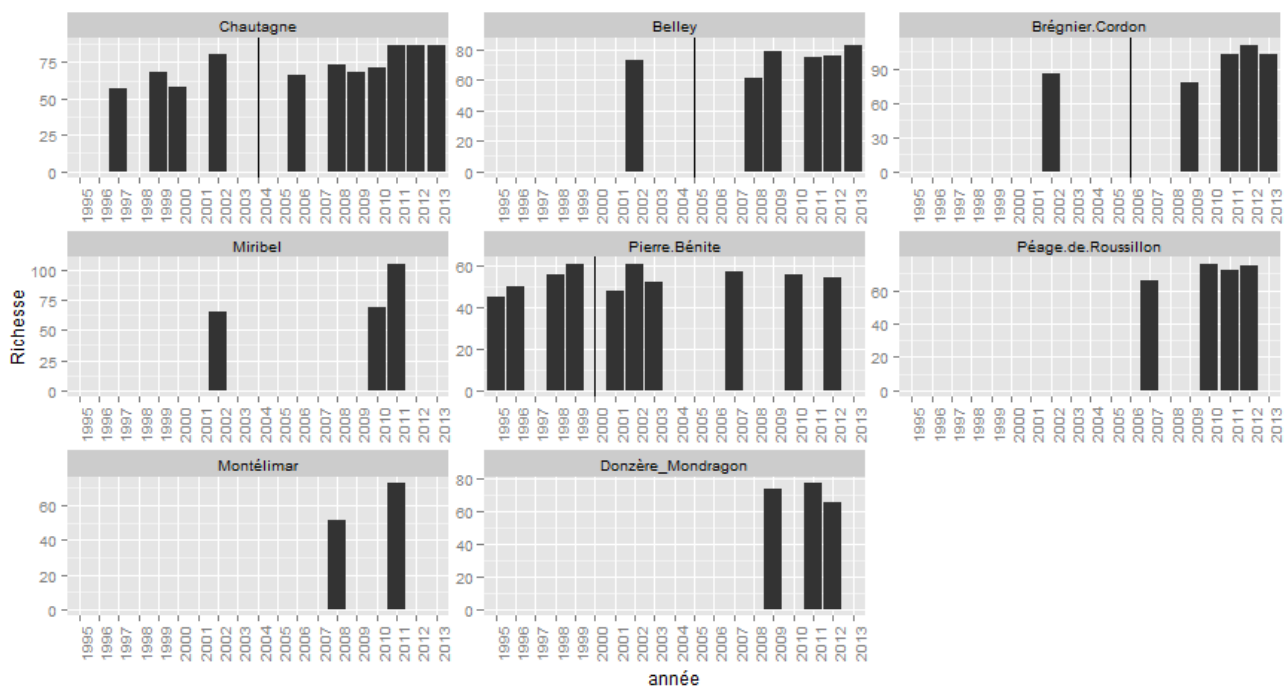


Figure 5.2 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique. Les lignes verticales noires signalent la date de rehaussement des débits réservés.

→ Les richesses taxonomiques observées ont globalement augmenté après restauration des débits. Pour les secteurs de Péage de Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon, dont les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014, l’acquisition de données sur plusieurs années avant restauration permettra de confirmer ces changements de richesses taxonomiques après restauration.

5.5.2 Densité et richesse en Ephemeroptères, Plécoptères et Trichoptères

La diminution naturelle ou artificielle du débit dans les rivières peut avoir pour conséquence une diminution de la richesse et de la densité en taxon sensible (Dewson *et al.*, 2007). Par conséquent, une augmentation des métriques **densité et richesse en EPT** après restauration hydraulique est attendue.

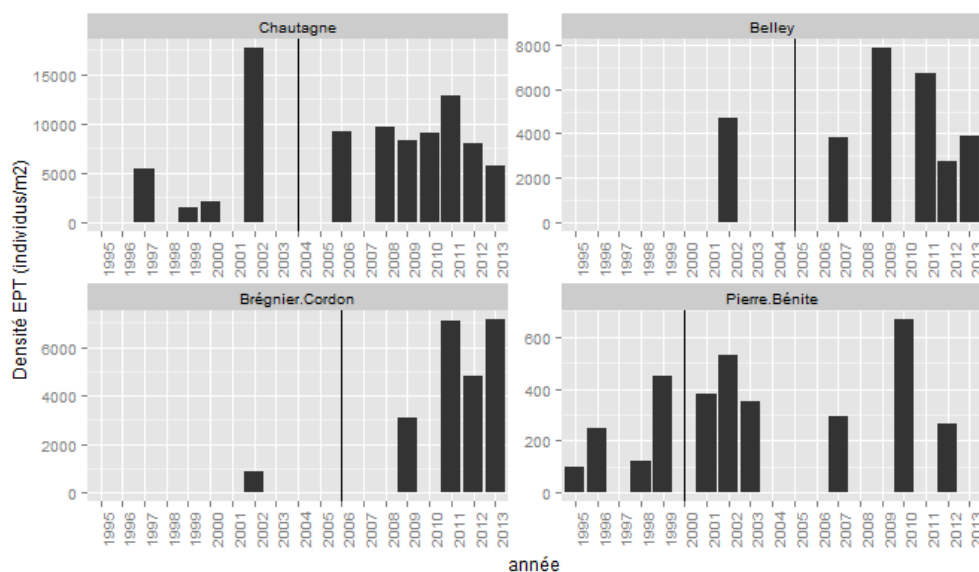


Figure 5.3 - Évolution interannuelle de la densité en Ephémères, Plécoptères et Trichoptères. Les lignes verticales noires signalent la date de rehaussement des débits réservés.

En Chautagne, la densité en EPT a augmentée après restauration avec en moyenne 6 648 individus/m² avant restauration et 8 934 individus/m² après restauration (figure 5.3).

A Pierre-Bénite, la densité en EPT a également augmentée après restauration avec en moyenne 231 individus/m² avant restauration et 416 individus/m² après restauration.

A Belley, la densité en EPT a également augmentée après restauration avec 4 734 individus/m² avant restauration et 5 027 individus/m² en moyenne après restauration.

A Brégnier-Cordon, la densité en EPT a également augmentée après restauration avec 868 individus/m² avant restauration et 5 528 individus/m² en moyenne après restauration.

Néanmoins, pour les secteurs de Belley et Bregnier-Cordon, le manque de données avant restauration ne permet pas de conclure sur l'évolution réelle de cette métrique.

→ Les richesses en EPT observées ont globalement augmenté après restauration des débits. Pour les secteurs de Péage de Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon, dont les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014, l'acquisition de données sur plusieurs années avant restauration permettra de confirmer ces changements de richesses en taxa sensibles après restauration.

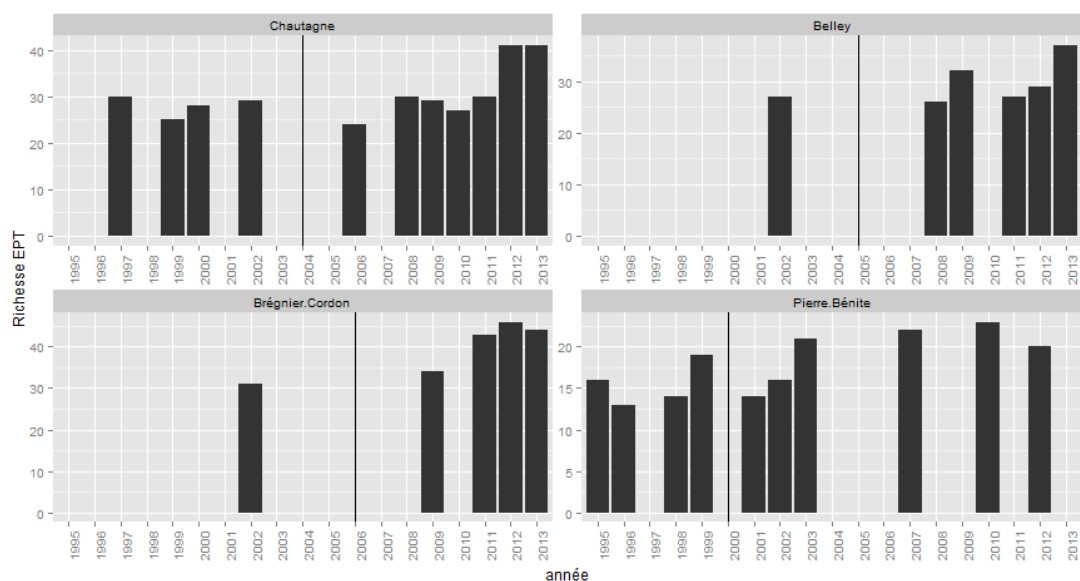


Figure 5.4 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique en Ephémères, Plécoptères et Trichoptères. Les lignes verticales noires signalent la date de rehaussement des débits réservés.

En Chautagne, la richesse en EPT a augmentée après restauration avec en moyenne 28 taxa EPT avant restauration et 32 taxa EPT après restauration. On notera que les deux dernières années de suivi présentent les plus fortes richesses en taxa EPT avec 41 taxa.

A Pierre-Bénite, la richesse en EPT a également augmentée après restauration avec en moyenne 15 taxa EPT avant restauration et 19 taxa EPT après restauration.

A Belley, la richesse en EPT a également augmentée après restauration avec 27 taxa EPT avant restauration et 30 taxa EPT en moyenne après restauration.

A Brégnier-Cordon, la richesse en EPT a également augmentée après restauration avec 31 taxa EPT avant restauration et 42 taxa EPT en moyenne après restauration.

Néanmoins, pour les secteurs de Belley et Bregnier-Cordon, le manque de données avant restauration ne permet pas de conclure sur l'évolution réelle de cette métrique.

→ **Les richesses en EPT observées ont globalement augmenté après restauration des débits. Pour les secteurs de Péage de Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon, dont les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014, l'acquisition de données sur plusieurs années avant restauration permettra de confirmer ces changements de richesses en taxa sensibles après restauration.**

5.5.3 Espèces exogènes

L'augmentation naturelle ou artificielle du débit dans les rivières peut avoir pour conséquence une augmentation de la richesse en taxa exogènes (Paillex *et al.*, 2007). Par conséquent, une augmentation de la métrique **richesse en taxa exogènes** après restauration hydraulique est attendue.

Au total, 20 espèces exogènes sont recensées dans l'ensemble de nos échantillons (Annexe 6 et 7). La plupart de ces espèces ont colonisé le Rhône via la Saône et ont donc dans un premier temps colonisé les secteurs du Bas-Rhône. D'autres espèces telles que *Dikerogammarus villosus* ou *Corbicula fluminea* peuvent avoir deux sources de colonisations : la Saône ou le lac Lemman (Besacier-Monbertrand *et al.*, 2009). Enfin, certaines espèces de Gastéropodes (ex. *Gyraulus parvus*) pourraient être dispersées par l'avifaune (Besacier-Monbertrand *et al.*, 2009).

Le peuplement d'invertébrés exogènes est différent entre le Bas-Rhône et le Haut-Rhône (figure 5.5). Au total, 8 espèces exogènes présentes sur le Bas-Rhône ne sont pas rencontrées dans le Haut-Rhône. Il s'agit des Crustacés *Atyaephyra desmarestii*, *Chelicorophium curvispinum*, *Chelicorophium sowinskyi*, *Gammarus tigrinus*, *Hemimysis anomala*, *Limnomysis benedeni* et des Gastéropodes *Lithoglyphus naticoides* et *Menetus dilatatus*. Seul le Crustacé *Crangonyx pseudogracilis* n'est rencontré que sur le Haut-Rhône.

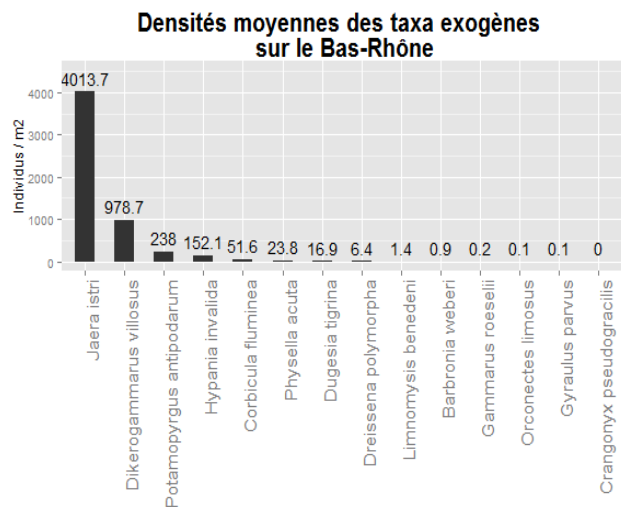
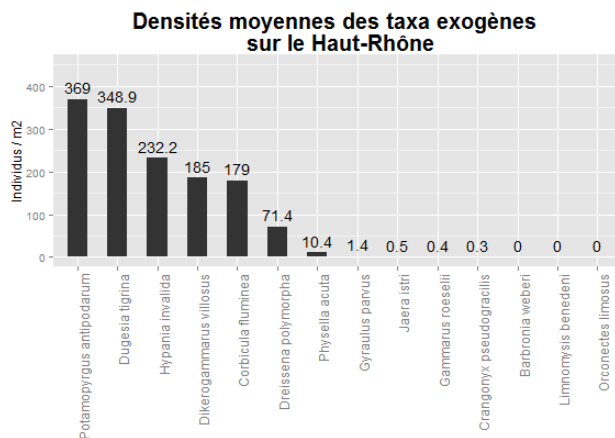
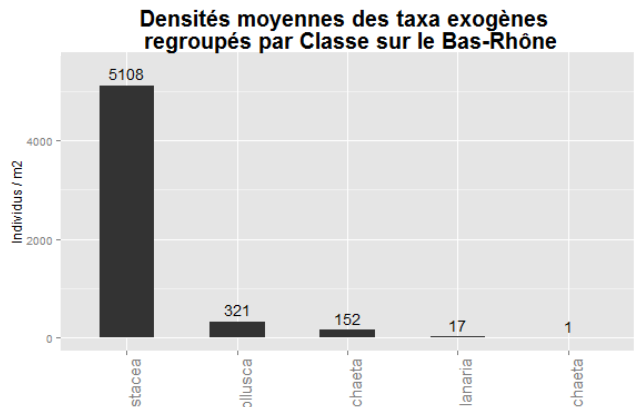
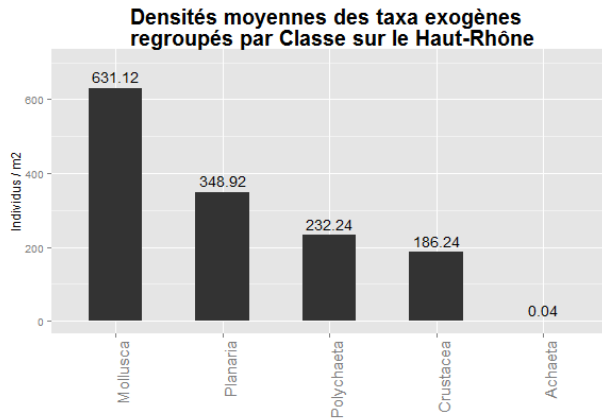


Figure 5.5 - a) Densité (individus/m²) d'invertébrés exogènes regroupés par Classe pour le Haut-Rhône, b) Densité (individus/m²) d'invertébrés exogènes regroupés par Classe pour le Bas-Rhône, c) Densité (individus/m²) d'invertébrés exogènes pour le Haut-Rhône, d) Densité (individus/m²) d'invertébrés exogènes pour le Bas-Rhône.

Dans les secteurs suivis du Haut-Rhône, parmi les espèces exogènes, le Mollusque *Potamopyrgus antipodarum* et la Planaire *Dugesia tigrina* dominent dans les échantillons alors que sur le Bas-Rhône, ce sont les Crustacés qui sont les plus abondants et notamment l'Isopode *Jaera istri*, qui depuis son apparition en 2007 sur le secteur de Pierre-Bénite, est devenu largement majoritaire avec des densités très importantes (~ 4000 individus/m²).

Dans les secteurs de Chautagne, Belley et Miribel, seules quatre espèces exogènes étaient recensées avant restauration et 6 dans le secteur de Brégnier-Cordon (Annexe 6 et 7).

Dans le secteur de Chautagne, on note l'apparition deux ans après restauration de deux espèces exogènes (*Corbicula fluminea* et *Dikerogammarus villosus*). Certaines espèces

exogènes ont été retrouvées entre quatre et huit ans après restauration en faible effectif et n'ont pas été retrouvées neuf ans après restauration.

Dans le secteur de Belley, on note l'apparition deux ans après restauration de quatre espèces exogènes supplémentaires dont trois sont retrouvées 8 ans après restauration.

Dans le secteur de Bregnier-Cordon, on note l'apparition 2 ans après restauration d'une seule espèce exogène supplémentaire (*D. villosus*). Sept années après la restauration, une espèce exogène supplémentaire (*Hypania invalida*) est apparue, elle présente la plus forte densité sur le Haut-Rhône.

Dans le secteur de Pierre-Bénite, quatre des six espèces exogènes recensées avant restauration sont retrouvées 11 ans après restauration. On observe également l'apparition, 11 ans après restauration, de 7 espèces exogènes, toutes présentes en faibles effectifs sauf *Jaera istri*, qui atteint des densités de 538 individus/m².

→ Conformément à nos attentes, la richesse en taxa exogènes augmentent avec le rehaussement des débits. En effet, la restauration hydrologique favorise les espèces exogènes par la création de niches vides qui vont favoriser les espèces possédant un potentiel de colonisation rapide (Paillex *et al.*, 2015).

5.5.4 Évolution des densités par guildes de préférences hydrauliques

Les campagnes pré-restauration dans les chenaux des secteurs du Haut-Rhône ont permis de coder les préférences hydrauliques (Mérigoux *et al.*, 2009) de certains taxons en 7 catégories (tableau 5.3) :

- les taxa limnophiles de la **catégorie 1** sont inféodés à des milieux lenticules et sont par exemple les Trichoptères du genre *Agraylea* ou les Coléoptères de la famille des Hydraenidae.
- les taxa de la **catégorie 2** aussi limnophiles, sont retrouvés dans des milieux à contraintes hydrauliques faibles. Ils sont représentés par exemple, par les Diptères Dasyheleinae ou Dolichopodidae.

- les espèces de la famille des Hydroptilidae ou des Asellidae préfèrent les conditions hydrauliques intermédiaires (**catégorie 3**).
- les taxa rhéophiles sont soit inféodés à des contraintes hydrauliques fortes; e.g. *Hydropsyche modesta*, *Potamanthus luteus* ou les Diptères Orthocladiinae (**catégorie 4**) ; soit à des contraintes hydrauliques très fortes (**catégorie 5**) comme par exemple *Theodoxus fluviatilis*, *Ancylus fluviatilis*, *Baetis vardarensis*, *Elmis* spp. ou *Hydropsyche siltalai*.
- les taxa ubiquistes ne présentent pas de préférence hydraulique (**catégorie 6**) comme par exemple *Dendrocoelum lacteum*, *Athripsodes albifrons* et *Gammarus fossarum*.
- enfin la **catégorie 7** (indéterminé) regroupe tous les taxa pour lesquels aucune information n'est disponible.

Tableau 5.3 - Caractéristiques hydrauliques exprimées par les contraintes au fond du cours d'eau (HFST) et par la vitesse moyenne (40% de la hauteur d'eau) pour les différentes catégories de rhéophilie.

Catégories	FST	Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Préférences
cat 1	0	0	Limnophile
cat 2	[1-5[]0-0.5]	
cat 3	[5-8[]0.5-0.75]	Intermédiaire
cat 4	[8-11]]0.75-1.05]	Rhéophile
cat 5	>11	>1.05	
cat 6		pas de préférence	Ubiquiste
cat 7		pas de données	Indéterminé

Le couplage des modèles biologiques et hydrauliques par FSTress prévoit, pour les secteurs de Chautagne et de Pierre-Bénite, qu'une **augmentation des débit induira une augmentation des densité des taxa rhéophiles** et au contraire, une **diminution des densités des taxa intermédiaires et limnophiles**. Sur les 39 taxa présentant des préférences hydrauliques marquées, 27 devraient répondre positivement aux augmentations de débits (Olivier *et al.*, 2007)

Parmi les 222 taxa rencontrés sur le secteur de Chautagne toutes campagnes confondues, 64 taxa (Annexe 8) possèdent un modèle de préférence hydraulique : soit 3 taxa limnophiles, 9 taxa intermédiaires, 25 taxa rhéophiles et 27 taxa ubiquistes.

La proportion de taxa **rhéophiles** a augmenté après restauration avec 67.4 % en moyenne avant restauration et 81.8 % après restauration.

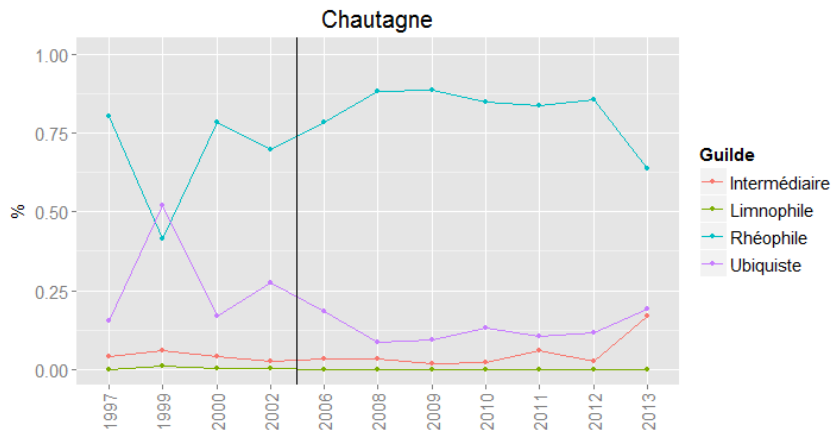


Figure 5.6 - Évolution interannuelle de densité (individus/m²) en proportion à Chautagne par guildes de préférence de contraintes hydrauliques pour les taxa possédant un modèle de préférence hydraulique (voir Méricoux et al., 2009). La ligne verticale noire signale la date de rehaussement des débits réservés.

La proportion des taxa **limnophiles** déjà très faible avant restauration, a également diminué après restauration avec 0.4 % en moyenne avant restauration et 0.02 % après restauration.

La proportion des taxa **intermédiaires** également faible avant restauration, est restée stable après restauration avec 4 % en moyenne avant restauration et 5 % après restauration.

Parmi les 155 taxa rencontrés sur le secteur de Pierre-Bénite toutes campagnes confondues, 53 taxa (Annexe 9) possèdent un modèle de préférence hydraulique : soit 2 taxa limnophiles, 8 taxa intermédiaires, 22 taxa rhéophiles et 21 taxa ubiquistes.

La proportion de taxa **rhéophiles** a augmenté après restauration avec 55.4 % en moyenne avant restauration et 63.5 % après restauration.

La proportion des taxa **limnophile** déjà très faible avant restauration, a également diminué après restauration avec 0.7 % en moyenne avant restauration et 0.2 % après restauration.

La proportion des taxa **intermédiaires** a diminué après restauration avec 15.7 % en moyenne avant restauration et 8.5 % après restauration.

→ Les changements de densités observés sont conformes à nos attentes avec une augmentation des taxa ayant de fortes affinités pour les contraintes hydrauliques élevées et une diminution des taxa ayant de fortes affinités pour les contraintes hydrauliques d'intermédiaires à faibles.

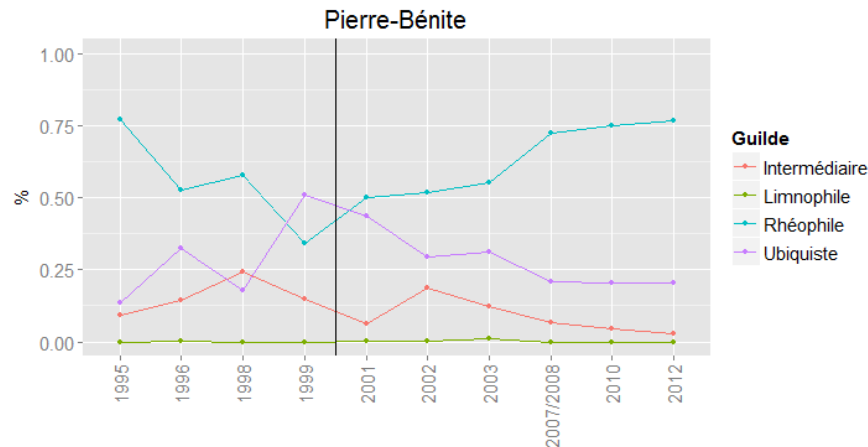


Figure 5.7 - Évolution interannuelle de densité (individus/m²) en proportion à Pierre-Bénite par guildes de préférence de contraintes hydrauliques pour les taxa possédant un modèle de préférence hydraulique (voir Mérigoux et al., 2009). La ligne verticale noire signale la date de rehaussement des débits réservés.

6 Hydromorphologie des lônes

6.1 Objectifs et méthodologie

Le suivi scientifique en matière de dynamique hydromorphologique des lônes aborde deux questions majeures :

- **Quelle est la durée de vie d'une lône restaurée ?** En d'autres termes, y a-t-il un comblement du bras par sédimentation ? Existe-t-il des phénomènes de décapage des sédiments ralentissant le processus, voire l'inversant ? Cette durée de vie est-elle modifiée par la restauration ? Ce premier ensemble de questions est abordé en confrontant le taux de sédimentation (épaisseur des sédiments déposés sur une période de temps donnée) et la hauteur d'eau moyenne (disponible par ailleurs) de la lône qui est susceptible d'enregistrer le comblement.

- **La restauration modifie-t-elle les conditions d'habitat dans la lône ?** Ces conditions d'habitat dépendent des caractéristiques de l'écoulement et de la granulométrie du lit. L'objectif est ici de déterminer si les conditions d'habitat sont modifiées par rapport aux conditions initiales et si ces nouvelles conditions vont se maintenir durablement. Pour caractériser cette évolution, un suivi de la granulométrie moyenne et de la variabilité granulométrique intra-lône est réalisé. Il est complété par un suivi automatisé des hauteurs d'eau.

Le protocole repose sur un suivi piézométrique continu et une campagne de terrain tous les deux ans durant laquelle deux types de relevés sont effectués :

* **Mesure de l'épaisseur de la sédimentation fine et de la hauteur d'eau.** La sédimentation a été observée à partir d'un réseau de points d'observation (mesure par carottage de l'épaisseur du dépôt de sédiments fins dans la zone en eau), distribués le long de l'axe de chacune des lônes (1 point tous les 10 m. de linéaire, soit entre 19 et 291 points par lône). Ces mesures permettent de calculer la durée de vie de la lône au fur et à mesure de son vieillissement. Un protocole "extensif" (un point tous les 30 m. ou bien tous les 20 m.) a été mis en place sur la lône de Malaubert et la lône de la Roussette, étant donné l'étendue du linéaire prospecté (3860 m.). D'autre part des secteurs exondés au moment des mesures ont été sondés à la tarière pédologique ou au pénétromètre. C'est le cas sur ROU, MALU, REPU lors de la caractérisation de l'état initial de 2009 et de 2011 à Montélimar et Donzère-Mondragon.

* **Mesure de la distribution granulométrique.** Cinq prélèvements équi-répartis longitudinalement sont réalisés dans l'axe de la lône à la benne d'Eckmann afin de mesurer la taille médiane des sédiments de surface et sa variabilité longitudinale. Pour les lônes atterries, les cinq prélèvements ont été réalisés à la tarière pédologique, la taille médiane des sédiments de surface étant ensuite mesurée.

Ces travaux s'accompagnent également d'une étude quantifiée des archives photographiques et cartographiques permettant notamment de caractériser l'évolution des bras au cours du temps. Cet investissement est important pour mieux comprendre les états initiaux avant restauration et les comparer ensuite avec les états restaurés. Ce travail permet également de préciser la date de déconnexion de ces bras et d'estimer ainsi le taux de sédimentation (et non plus seulement l'épaisseur de fine), ce qui autorise des comparaisons avec les états restaurés.

Afin de mieux comprendre également les processus s'exprimant au sein des bras proprement dits, nous avons été amenés à investir un peu plus sur le bras de la Malourdie sur lequel nous disposons déjà d'information *in situ*. C'est l'une des lônes les plus anciennement restaurées sur laquelle il est possible de mesurer les effets de plusieurs événements de crue. Ceci a permis de quantifier l'effet de certains processus clés régissant l'atterrissement et d'enrichir l'interprétation des résultats de l'analyse synoptique et comparative inter-bras.

Ce rapport a pour vocation de faire la synthèse des traitements les plus avancés qui ont été effectués au cours de l'**année 2014**.

Deux principaux points ont été retenus :

- une analyse rétrospective (1860-2009) des différences d'atterrissement de bras endigués et de bras "naturels" (non-endigués) / réalisée par Thomas Dépret, Jérémie Riquier, Hervé Piégay, et Robin Gruel ;
- une description de l'atterrissement après restauration de la lône de la Malourdie (Chautagne) associée à une estimation de sa durée de vie / réalisée par Jérémie Riquier, Hervé Piégay et Jérôme Lejot.

6.2 Analyse comparative des vitesses d'évolution de bras endigués et de bras "naturels" (non-endigués) de *ca* 1860 à nos jours

L'objectif de ce travail est de déterminer les facteurs contrôlant la vitesse d'atterrissement des bras morts du Rhône créés artificiellement suite à l'édification des endiguements submersibles dans la seconde moitié du XIX^e siècle afin de préciser les conditions d'évolution des bras avant leur restauration. Elle vise notamment à générer un référentiel permettant d'évaluer, par analogie, l'évolution potentielle des bras restaurés.

La première phase de ce travail est présentée ici, centrée sur la caractérisation des différences de vitesses d'évolution entre des bras déconnectés par des ouvrages et des bras présentant une évolution naturelle. L'hypothèse principale est que la phase initiale de comblement des bras par la charge de fond, qui ne peut se manifester qu'au cours de la phase de transition entre le stade actif (*i.e.* écoulement courant permanent du bras) et le stade déconnecté (*i.e.* au moins via son entrée amont), a été tronquée sur la majorité des chenaux latéraux du fleuve du fait de l'endiguement. La fermeture artificielle et prématurée de certains bras par des digues devrait permettre de limiter fortement leur remplissage initial par des sédiments grossiers et expliquer qu'ils conservent ainsi durablement un volume en eau plus importants que pour les bras évoluant naturellement. Pour cette raison, la durée de vie des bras aménagés devrait être supérieure à celle des bras naturels.

Pour explorer cette hypothèse, l'évolution de la superficie en eau d'un jeu de 24 bras morts, dont 16 ont été endigués et 8 ont évolué de manière naturelle, a été analysée. Ces bras sont situés sur les tronçons court-circuités de Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon (figure 6.1). L'analyse concerne 13 bras sur le Haut-Rhône et 11 sur le Bas-Rhône. Les 8 bras naturels, tous localisés sur le Haut-Rhône, ont été isolés du fleuve au cours du XX^e siècle (entre 1935 et 1970). Cette déconnexion correspond à l'obstruction totale, en basses eaux, de la zone de difffluence de l'écoulement entre le chenal principal et le bras par un bouchon alluvial. Les seize bras aménagés ont été

déconnectés du fleuve au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle (entre 1853 et 1890). Dans ce cas, la déconnexion correspond à l'édification d'une digue au niveau de l'extrémité amont des bras. La date de déconnexion correspond donc à la date à partir de laquelle le transit de la charge de fond devient en théorie nul ou très limité. Le comblement est alors essentiellement contrôlé par la sédimentation fine.

Des cartes anciennes (1860 et 1891) et des photographies aériennes (de 1930 à 2009) ont été géoréférencées. Au sein de chaque bras et pour chacune des dates disponibles, la "surface active", définie par l'emprise des zones en eaux et des bancs, a été digitalisée sous SIG (AcGis 10.1 - ESRI).

La reconstitution des trajectoires évolutives nous a permis de mettre en évidence une opposition marquée entre les bras aménagés et les bras naturels (figure 6.1). Les premiers se ferment beaucoup plus lentement que les seconds. La durée moyenne nécessaire à une réduction de 25%, 50% et 75% de la surface initiale est ainsi de 46 ans, 69 ans et 87 ans pour les bras aménagés contre 7 ans, 13 ans et 21 ans pour les bras naturels. La différence entre les deux populations du point de vue de chacune de ces durées est statistiquement significative (Figure 6.2). Ce constat demeure valable pour le seul Haut-Rhône, au niveau duquel sont situés tous les bras non aménagés.

Ces résultats suggèrent que les aménagements mis en place dans la seconde moitié du XIX^e siècle ont très probablement concouru au ralentissement du comblement des bras ayant été endigués. Ces ouvrages ont ainsi été à l'origine de la création d'entités paysagères fonctionnant de façon relativement originale, comparativement au fonctionnement des bras naturels (non endigués).

Dans la perspective d'une réactivation du transport solide par érosion latérale ou recharge sédimentaire, nos résultats indiquent qu'une attention toute particulière devra être portée aux actions de restauration de bras secondaires puisque ces derniers présenteront un risque élevé de comblement rapide de leur embouchure amont.

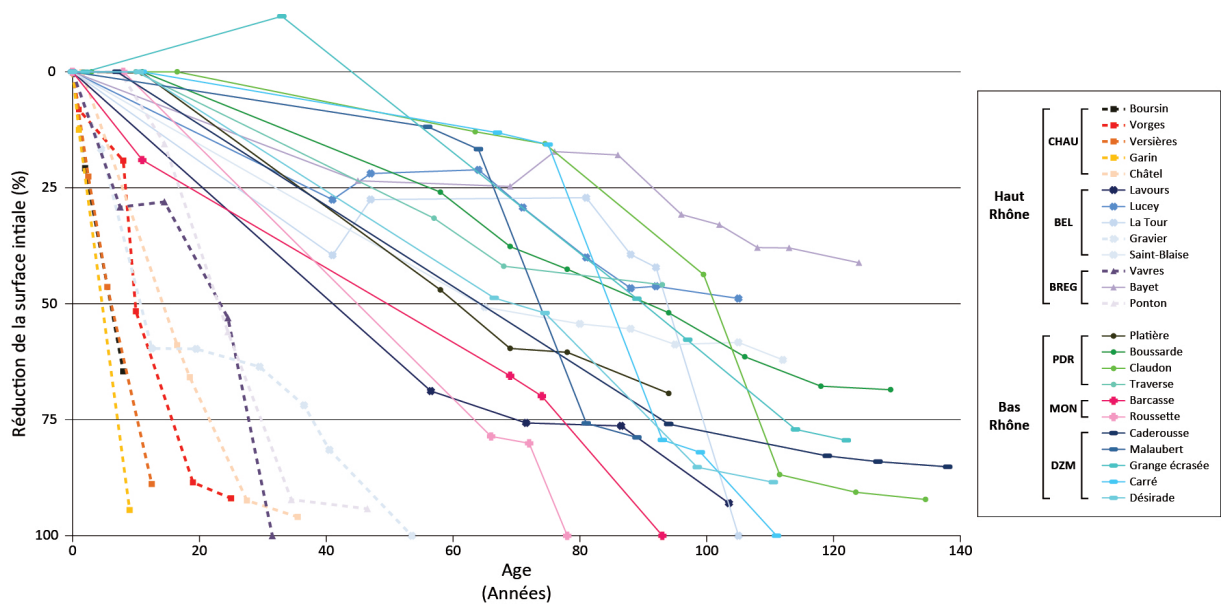


Figure 6.1 - Réduction de la surface active des bras rapportés à leur surface active initiale vs l'âge des lônes (temps écoulé depuis la déconnexion). Une valeur de 100% signifie que le bras est complètement atterri. Les bras non aménagés apparaissent en ligne pointillée, les bras aménagés en ligne continue.
 CHAU = Chautagne ; BEL = Belley ; BREG = Brégner-Cordon ; PDR = Péage-de-Roussillon ; MON = Montélimar ; DZM = Donzère-Mondragon.

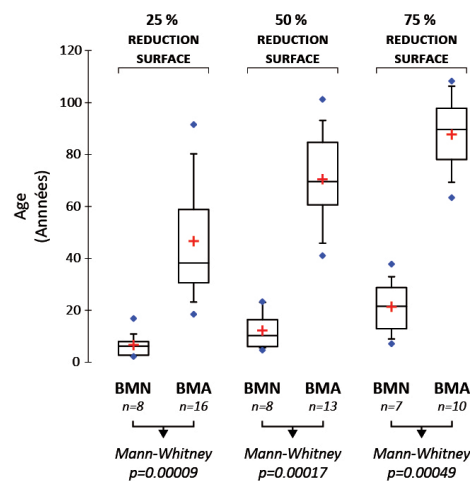


Figure 6.2 - Comparaison des durées nécessaires à une réduction de 25%, 50% et 75% de la surface initiale des lônes entre Bras Morts Aménagés (BMA) et Bras Morts Naturels (BMN). Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour tester la significativité des différences entre les deux populations.

La seconde phase de cette analyse consistera à tenter d'expliquer la forte variabilité de la durée de vie des bras aménagés. Pour cela, d'autres facteurs de contrôle importants vont être explorés : effet de l'abaissement des lignes d'eau consécutive à la mise en service des dérivations et/ou à l'incision du chenal principal, influence des caractéristiques des

écoulements en crue (fréquence de connexion, contraintes de cisaillement), rôle des dimensions planimétriques initiales des bras.

6.3 Éléments de caractérisation de l'atterrissement de la lône de la Malourdie après restauration (2004-2013)

La lône de la Malourdie représente le bras restauré sur lequel nous disposons du plus grand nombre d'états suivis (sept campagnes) s'échelonnant sur neuf années entre la fin de la restauration de la lône de la Malourdie (début d'année 2014) et la dernière campagne de mesures en 2013 (tableau 6.1).

Tableau 6.1- Caractéristiques générales des campagnes de mesures réalisées depuis le début du suivi.

Date des campagnes de mesure	Débit horaire moyen pendant les relevés ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Temps écoulé depuis la restauration (Années)
22/03/2006	54	2.2
16/10/2006	54	2.8
25/10/2007	58	3.8
28/08/2009	71	5.7
03/08/2011	59	7.6
07/08/2012	79	8.6
05/06/2013	70	9.4

La figure 6.3a présente l'évolution de la distribution des épaisseurs sédimentaires et des taux de sédimentation (ratio entre les épaisseurs sédimentaires mesurées lors d'une campagne donnée et le temps écoulé correspondant depuis la restauration). La figure 6.3b montre, quant à elle, l'évolution de la distribution des hauteurs d'eau et des taux d'atterrissement (ratio entre les hauteurs d'eau mesurées lors d'une campagne donnée et le temps écoulé correspondant depuis la restauration). Les campagnes de relevés ont été réalisées avec des conditions de débit variables dans le vieux-Rhône de Chautagne (tableau 6.1). Les mesures de hauteur d'eau ont donc été préalablement corrigées pour être rapportées à un débit de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dans le vieux-Rhône.

Ces graphiques montrent que la hauteur d'eau médiane diminue au cours du temps, alors que l'épaisseur sédimentaire augmente. Les taux de sédimentation et d'atterrissement sont tous les deux très forts lors des premières campagnes, puis ils tendent à ralentir au cours du temps.

En octobre 2006, date de la campagne pour laquelle on observe les taux les plus forts, nous avons mesuré des taux d'atterrissement moyen de $-17,2 \text{ cm.an}^{-1}$ ($\pm 6,9$; \pm écart-type) et des taux de sédimentation de $14,2 \text{ cm.an}^{-1}$ ($\pm 6,5$). Lors de notre dernière campagne en mai 2013, le taux moyen d'atterrissement était de $-8,7 \text{ cm.an}^{-1}$ ($\pm 3,0$) et de $6,5 \text{ cm.an}^{-1}$ ($\pm 3,0$).

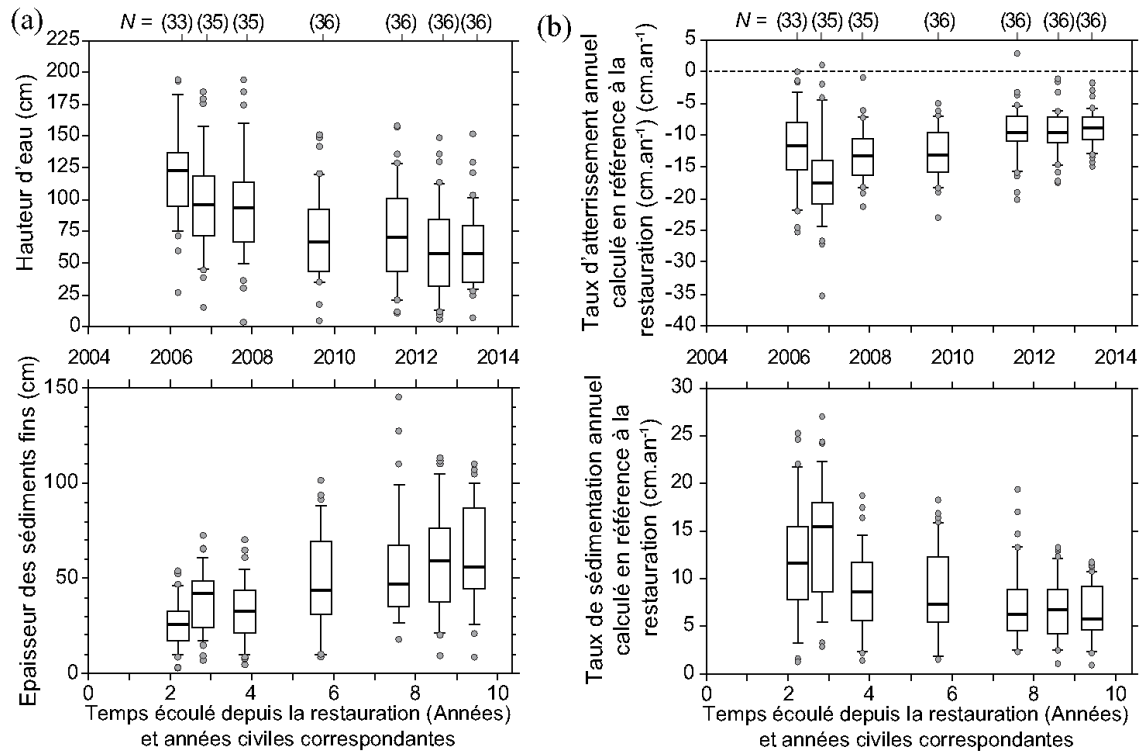


Figure 6.3 - Colonne de gauche (a) Evolution de la distribution statistique des épaisseurs sédimentaires et des taux de sédimentation au cours du temps, depuis la restauration.

Colonne de droite (b) Evolution de la distribution statistique des hauteurs d'eau et des taux d'atterrissement au cours du temps, depuis la restauration. Toutes les mesures de hauteur d'eau ont été corrigées à partir des données issues des piézomètres et des données de débit fournies par la CNR.

Les boîtes (rectangles) représentent le premier et le troisième quartile. Le trait gras horizontal correspond à la médiane. Les moustaches des boîtes montrent le premier et le neuvième déciles. Les points représentent les valeurs "extrêmes".

Quelle que soit la campagne considérée, les taux d'atterrissement sont toujours plus élevés que les taux de sédimentation. Pour quantifier ces différences, une régression linéaire entre les taux d'atterrissement et de sédimentation a été réalisée. Les taux de sédimentation expliquent 50 % de la variance des taux d'atterrissement ($N = 213$, $P < 10^{-3}$). Ce résultat confirme que l'accumulation de sédiments fins est un facteur important dans l'atterrissement de la lône de la Malourdie, mais il suggère surtout que d'autres facteurs doivent être pris en compte.

La configuration du lit du vieux-Rhône de Chautagne au droit de l'extrémité aval de la lône, et plus spécifiquement la position du radier, a été relativement dynamique au cours des

vingt dernières années (figure 6.4a). Les niveaux d'eau observés dans la lône ou à proximité de son extrémité aval pour un débit de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se sont abaissés de 0.64 cm entre 2004 et 2013 [de 238.70 m à 238.06 m] (figure 6.4b). La figure 6.4c démontre que les mouvements du radier sont susceptibles d'entraîner des changements de ligne d'eau de cette ampleur.

De 2004 à 2013 nous estimons que 50 % de l'atterrissement de la lône de la Malourdie est lié à cet abaissement du niveau d'eau, qui résulte majoritairement de la migration du radier dans le chenal principal. L'autre moitié est imputable au comblement sédimentaire.

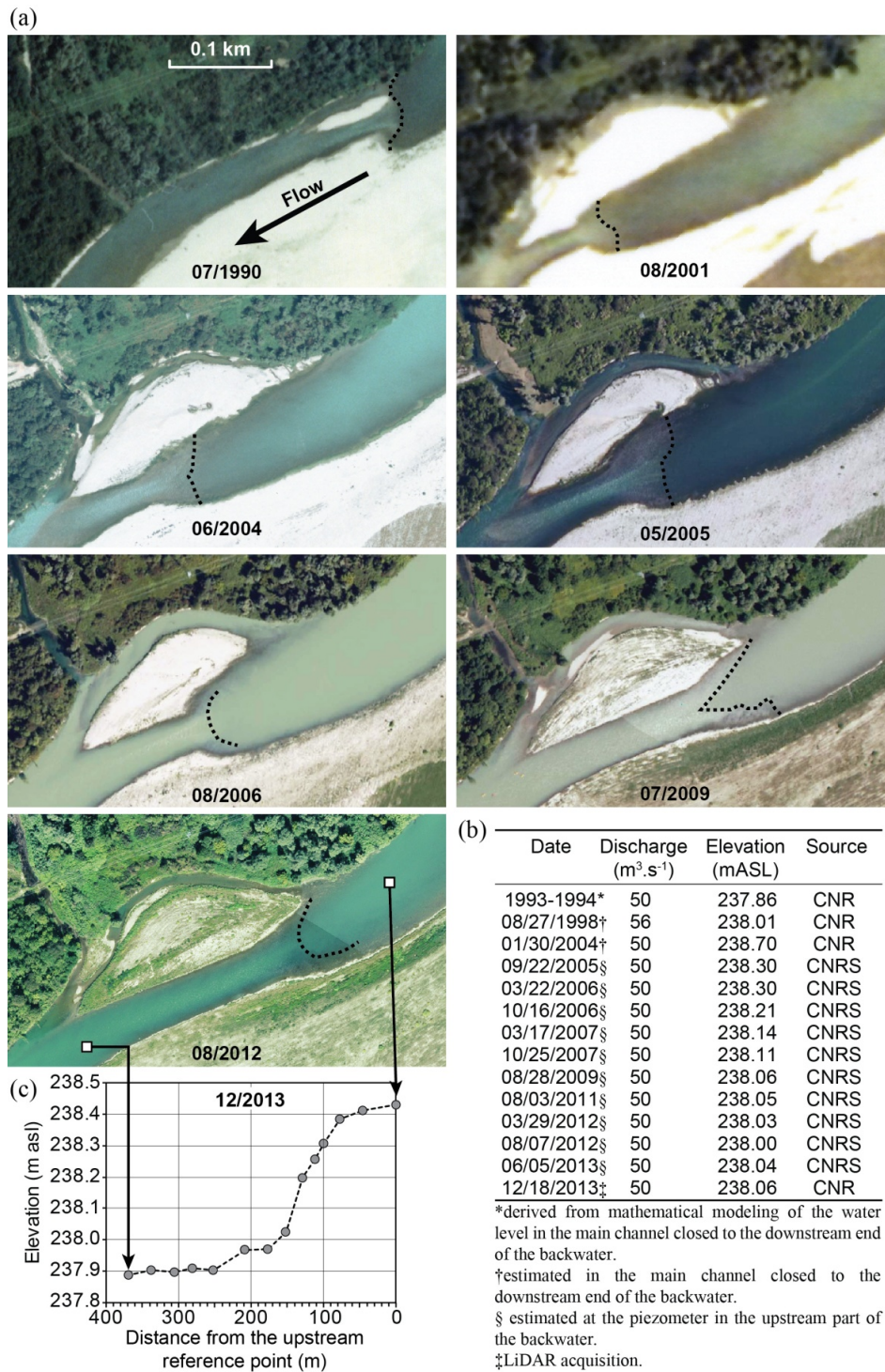


Figure 6.4 - Illustration de l'impact de la (a) dynamique du seuil naturel au droit de l'extrémité aval de la lône de la Malourdie, sur (b) les niveaux d'eau (mètres - NGF IGN69) relevés dans le bras ou à proximité pour un débit de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. (c) Profil en long extrait des données LiDAR de la campagne réalisée en décembre 2013(CNR) illustrant l'influence du radier sur la ligne d'eau du vieux-Rhône.

6.4 Estimation de la pérennité du bras de la Malourdie en tant qu'habitat aquatique

L'objectif ici est de modéliser les vitesses de sédimentation dans le bras de la Malourdie en considérant sa variabilité à la fois dans l'espace et dans le temps.

Nous ne sommes pour l'instant pas parvenus à produire un modèle statistique permettant de prédire les taux de sédimentation en considérant à la fois la distance le long de la lône et le temps depuis la restauration. En effet, les processus d'érosion et de dépôt se complexifient fortement à cette échelle d'analyse très fine (*i.e.* à la résolution spatiale la plus fine que le suivi nous permet d'atteindre, soit à celle des points de sondage réalisés tous les 10 mètres de linéaire).

Pour considérer la variabilité longitudinale des vitesses de comblement, nous avons choisi de segmenter le linéaire suivi en 6 sous-tronçons homogènes du point de vue de leur vitesse de comblement (Figure 6.5a). L'évolution des taux de sédimentation au cours du temps est modélisée à partir de la relation suivante :

$$\overline{\text{Sed.}_R} = a (T+x)^k$$

où $\overline{\text{Sed.}_R}$ le taux de sédimentation moyen (à l'échelle de l'ensemble du bras ou bien pour chaque tronçon homogène) décroît selon une loi puissance au cours du temps après restauration ($T+x$) ; a représente le taux de sédimentation à l'origine (lorsque $T+x = 0$) et k est un paramètre qui définit la cinétique de la décroissance du taux de sédimentation au cours du temps. La figure 6.5b montre les différentes relations établies pour chaque sous tronçon homogène.

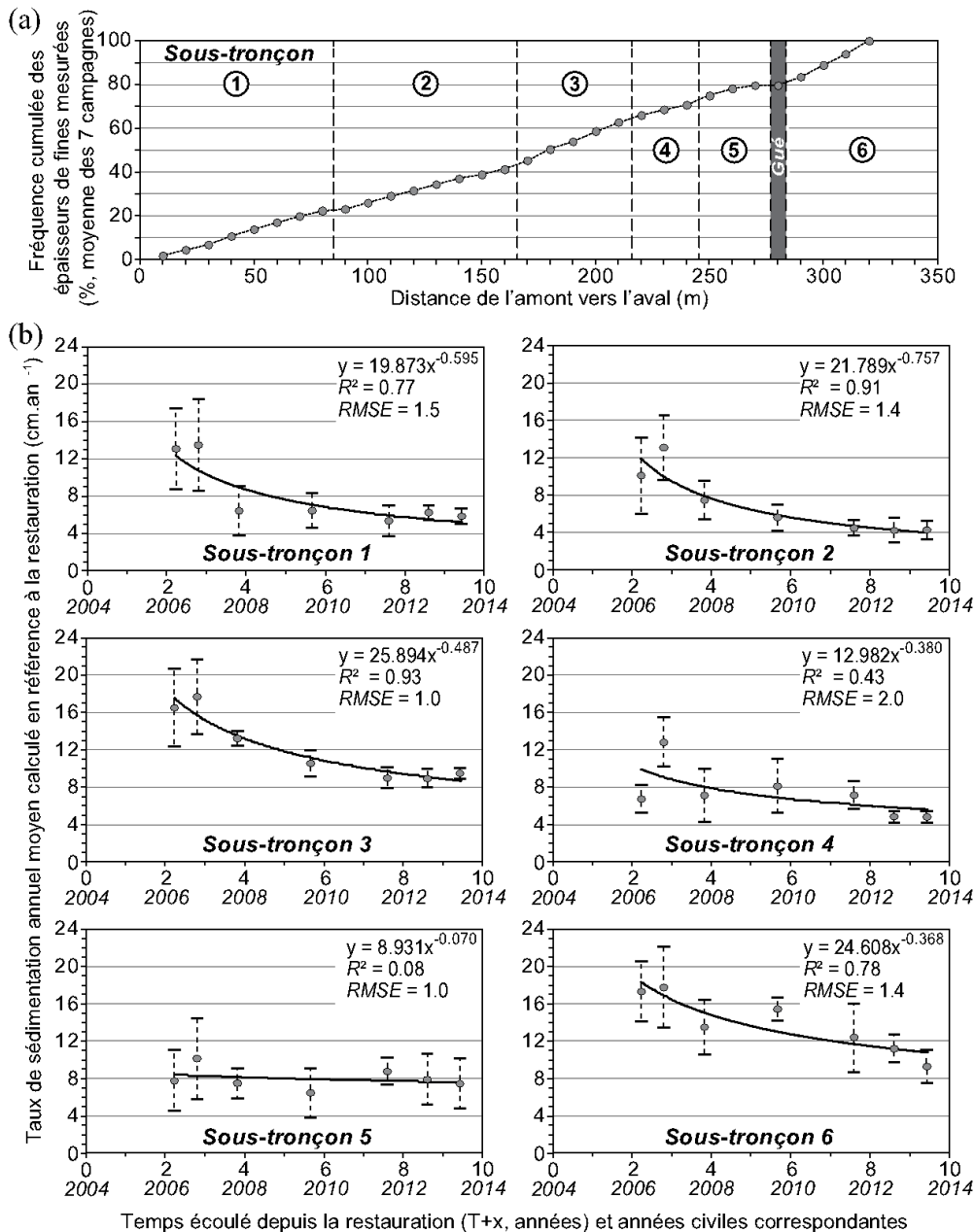


Figure 6.5. (a) Illustration du découpage du linéaire suivi de la lône de la Malourdie en 6 sous-tronçons homogènes du point de vue de leur dynamique sédimentaire. (b) Modèles statistiques liant les taux de sédimentation moyen mesurés pour chaque tronçon homogène et le temps écoulé depuis la restauration (cf. Equation 2.4.1). Les équations, les coefficients de détermination et les erreurs quadratiques moyennes (notées RMSE) sont indiquées pour chaque sous tronçon.

N.B. : Tous les sous-tronçons présentent bien une décroissance significative des vitesses de comblement au cours du temps à l'exception du sous-tronçon n°5, où le taux de sédimentation moyen est relativement stable.

Pour estimer la durée de vie potentielle des différents sous-tronçons, nous avons extrapolé dans le temps les différentes lois établies précédemment. Puis nous avons appliqué ces vitesses de comblement à la hauteur d'eau moyenne de chaque sous-tronçon mesurée en 2013 et rapportée à un débit de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dans le vieux-Rhône. La figure 6.6 donne une illustration

graphique de l'état du profil bathymétrique longitudinale de la Malourdie à différentes dates (observées et simulées).

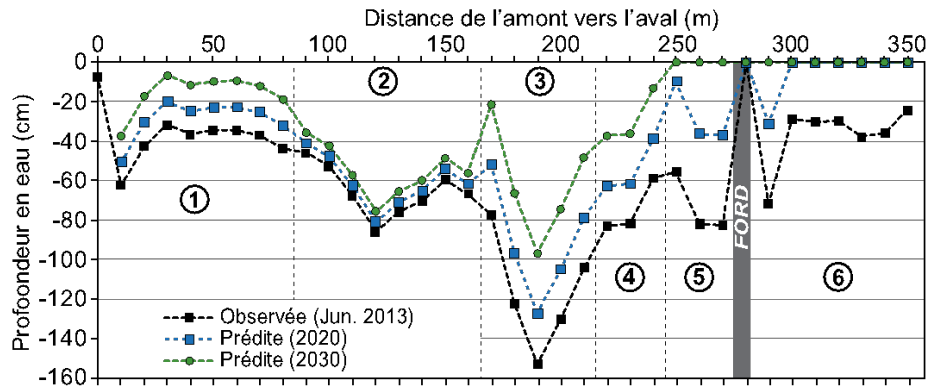


Figure 6.6. Comparaison des profils bathymétriques issus de la dernière campagne de relevés en Juin 2013 et prédits en 2020 et 2030. Ces estimations sont basées sur des extrapolations temporelles des lois établies en figure 2.4.5. Nous faisons l'hypothèse que le comblement sédimentaire est le seul paramètre contrôlant l'atterrissement.

Le tableau 6.2 résume les principaux résultats obtenus à partir de ces simulations. Sur la base de ces estimations, la lône de la Malourdie pourrait être totalement isolée sur sa terminaison aval du fleuve d'ici 2019. En utilisant un modèle global (Table 2.4.2), il est possible d'estimer que la lône sera totalement comblée 34 ans après restauration (2038). L'utilisation d'un modèle par sous tronçons homogènes montre que des zones en eau résiduelles sont susceptibles de subsister à plus long terme.

Ces travaux de recherche seront soumis pour publication au printemps 2016.

Tableau 6.2. - Évaluation du potentiel de durée de vie de la lône de la Malourdie en tant qu'habitat aquatique. Ces estimations sont basées sur des extrapolations temporelles des lois établies en figure 6.5. Nous faisons l'hypothèse que le comblement sédimentaire est le seul paramètre contrôlant l'atterrissement.

Sous-tronçon n°	Hauteur d'eau moyenne en 2013		Hauteur d'eau moyenne simulée*			
	Mesurée	Estimée sans A.L.E. †	15 cm*		0 cm*	
			Obs. †	Estimée sans A.L.E. †	Obs. †	Estimée sans A.L.E. †
	(m)		Temps en année depuis la restauration (Jan. 2004)			
1	0,40	1,04	27	>100	45	>100
2	0,66	1,3	>100	>100	>100	>100
3	1,17	1,81	50	87	73	>100
4	0,75	1,39	33	67	43	82
5	0,73	1,37	18	28	21	32
6	0,37	1,01	16	26	22	36
Modèle global**	0,59	1,25	26	64	34	75

* *i.e.* Temps nécessaire pour atteindre une profondeur en eau moyenne équivalent à 15 cm ou 0 cm dans la section concernée en considérant les modèles de décroissance des taux de sédimentation en fonction du temps écoulé depuis la restauration établis pour chaque sous-tronçon homogène (*cf.* figure 6.5).

** Le modèle global fait référence à la loi de décroissance des taux de sédimentation moyen estimé à partir de l'équation 2.4.1 en utilisant les taux de sédimentation moyens calculés à l'échelle de l'ensemble de la lône (*non présentée graphiquement dans ce rapport*).

† Obs.: ces valeurs de hauteurs d'eau ont été simulées en considérant les valeurs de hauteurs d'eau observées en 2013 et en considérant qu'il n'y aura plus de changements de ligne d'eau dans les années à venir.

‡ A.L.E.: Abaissement de la ligne d'eau. Ces valeurs représentent la hauteur d'eau moyenne estimée sans l'abaissement des hauteurs d'eau mesurée dans la figure 6.4 (soit +0.64 m).

7 Peuplements de macroinvertébrés des lînes

Le présent rapport ne présente pas de résultats nouveaux, les échantillons collectés étant en cours d'analyse.

Le bilan global des échantillonnages réalisés et du travail de laboratoire en cours est le suivant.

En 2014, l'accent a été mis sur le prélèvement et le dépouillement des sites du Bas-Rhône (Péage-de-Roussillon, Montélimar, Donzère) ainsi que du site de Miribel **afin de pouvoir disposer d'au-moins trois années de données pré-restauration**, le manque de données pré-restauration étant un handicap dans l'analyse des suivis post-restauration sur le Haut-Rhône.

Sur le secteur de Donzère, une sélection de lînes avait été faite avant que les lînes devant être effectivement restaurées n'aient été choisies. Il s'agit de Grange Ecrasée, Malatras, Carré, République, Malaubert (incl. Surelle), Bayard, Caderousse, Joncs. **L'année 2014 représente la 3^{ème} année de prélèvement pour ces lînes** qui permettront de disposer d'une bonne connaissance du secteur et de sites "de référence" pour comparer les trajectoires post-restauration des lînes restaurées. Dès la liste des lînes effectivement sélectionnées pour restauration connue, les prélèvements ont été entrepris dans les lînes Lascombe, Dames, Dion, Banc Rouge et Désirade, afin de pouvoir disposer pour celles-ci aussi de trois années de données avant travaux.

Sur le secteur de Miribel, une sélection de lînes ainsi que de sites lotiques et lentiques de référence ont été choisis. Il s'agit des lînes du Vieux-Rhône, de la Grella et du Plançon ainsi que du ruisseau du Rizan et des étangs aux libellules 1 et 2. L'année 2014 représente la **2^{ème} année de prélèvement pré-restauration** pour ce secteur et permettra comme pour Donzère de disposer d'une bonne connaissance du secteur et de sites « de référence » pour comparer les trajectoires post-restauration des lînes restaurées. Sur ce secteur, un suivi des peuplements d'odonates adultes a été ajouté au suivi des macroinvertébrés aquatiques.

En dehors des secteurs de Donzère et de Miribel, les actions de prélèvement, de tri et de détermination ont aussi concerné la poursuite des suivis des sites du Haut-Rhône (t+8 de Belley et de Brégnier-Cordon), ainsi que les premiers suivis post-restauration des lînes de la Sainte (Péage-de-Roussillon) et de la Roussette (Montélimar).

Bilan des prélèvements effectués en 2014

Secteurs	Lônes	nb. sites / dates	nb. prélèvements effectués	remarques
BREGNIER-CORDON				post-restauration t+8
	Granges	2/2	16	
	Ponton	2/2	16	
	Plaine	2/2	16	
	Rossillon	2/2	16	
	Mortier	2/2	16	
PEAGE-DE-ROUSSILLON				post-restauration t+1
	Sainte	1/2	8	
MONTELIMAR				post-restauration t+1
	Roussette	2/2	16	
DONZERE				pré-restauration
	Malatras	2/2	16	
	Carré	2/2	16	
	Lascombe	1/1	4	à sec en été
	Dames	1/1	4	à sec en été
	Dion	2/2	16	
	Banc Rouge	1/2	8	
	Désirade	2/2	16	
TOTAL	14		184	

Bilan des tris et identifications effectués en 2014

Secteurs	Lônes	Année de prélèvement	Nb. prélèvements triés & déterminés	Remarques
BELLEY				post-restauration t+8
	Moiroud	2013	6	
	Béard	2013	6	
	Chantemerle	2013	3	
	En l'Île	2013	4	
BREGNIER-CORDON				post-restauration t+8
	Granges	2014	6	
	Rossillon	2014	12	
	Mortier	2014	6	
PEAGE-DE-ROUSSILLON				pré-restauration
	Platière	2013	12	
	Noyer Nord	2013	6	
	Ilon	2013	6	
	Saintes	2013	6	
	Boussarde	2013	12	
DONZERE				pré-restauration
	Grange Ecrasée	2013	15	amont sec en été
	Malatras	2013	12	
	Carré	2013	6	
	République	2013	12	
	Malaubert	2013	12	incl. la Surelle
	Bayard	2013	6	
	Caderousse	2013	6	
	Jones	2013	6	
	Lascombe	2013 & 2014	6	à sec en été
	Dion	2014	12	
TOTAL	22		178	

8 Poissons des lônes

L'objectif principal de la restauration des lônes est de recréer des annexes fluviales dans une plaine alluviale dans laquelle elles ont disparu à la suite de l'endiguement et de l'aménagement hydroélectrique du fleuve. Dans un système naturel, ces annexes participent au fonctionnement écologique du fleuve en ajoutant des fonctionnalités complémentaires de celles du chenal actif. Dans le cas des poissons, les caractéristiques de l'habitat physique (peu ou pas de contraintes hydrauliques, granulométrie du substrat, diversification des habitats, présence/absence de végétation aquatique, nature des végétaux...,) confèrent à ces milieux des capacités d'accueil pour la reproduction et la croissance des juvéniles différentes de celles du chenal principal. L'analyse de la composition faunistique, de la structure en taille des populations (en particulier l'importance de la classe d'âge de l'année), des exigences des espèces présentes par rapport au substrat de reproduction (guildes de Balon, 1975) permet de donner une vision synthétique des fonctions remplies par ces annexes.

L'objectif poursuivi est de mesurer la fréquence des différentes espèces et guildes de reproduction au cours du temps afin d'apprécier si les lônes jouent un rôle de nurserie et de refuge pour les poissons.

L'échantillonnage est réalisé en automne tous les ans. L'échantillonnage est effectué par pêche électrique, sauf exception 25 échantillons ponctuels sont réalisés dans chaque lône en bateau ou à pied selon les modalités d'accès à la lône. Les points de pêche sont répartis dans la lône.

Quinze lônes ont été échantillonnées en 2014 et les effectifs par espèce sont consignés dans le tableau 8.1. Les effectifs capturés sont variables d'une lône à l'autre et sont relativement conformes aux résultats acquis les années précédentes. Les lônes de type « parapotamon », ouvertes à l'aval (Brotalet, Molottes, Ponton), constituent des milieux propices à la croissance des jeunes stade de développement. Il faut cependant souligner la très forte proportion de bouvières (16%), de pseudorasboras (61%, espèce introduite) et le retour du poisson-chat dans la lône des Molottes et les très faibles abondances des autres espèces. Dans les bras secondaires, ré-ouverts lors de la restauration (anse de Yenne, Vachon, Cerisiers, Mattant, Platière), les espèces déjà échantillonnées les années précédentes ont été retrouvées en 2014 (truite, hotu, barbeau, spirilin, loche franche, chabot...).

Tableau 8.1 - Effectifs échantillonnés dans les lônes en 2014 (pêches réalisées en fin d'été-début d'automne), le nombre de points d'échantillonnage – E.P.A. – et le nombre d'espèces présentes – Nb esp. – sont renseignés pour chaque lône. Les cases ont été surlignées en bleu lorsque l'abondance de l'espèce excède 10%, de l'abondance totale.

Espèces/lônes	Chautagne	Belley			Brégner-Cordon					Péage-de-Roussillon						Total
	Brotalet	Lône des Luisettes	Lône Moiroud	Anse de Yenne	Lône Vachon	Lône des cerisiers	Lône Mattant	Lône des Molottes	Lône du Ponton	Lône Platière	Lône Noyé nord	Lône Noyé Sud	Ilon	Lône de la Boussarde	Lône de la Sainte	
ABL	0	0	0	30	0	1	24	7	187	70	14	19	56	36	3	447
BAF	0	0	0	3	12	16	15	0	0	22	23	49	0	0	0	140
BLE	0	0	0	0	8	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	12
BLN	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	23
BOU	0	1	11	0	0	0	0	116	19	34	0	9	146	276	47	659
BRB	0	0	0	0	0	0	0	60	16	17	2	10	0	1	0	106
BRE	0	0	0	0	0	0	0	6	0	2	0	0	1	7	1	17
BRO	3	0	1	0	1	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	12
CGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	5
CHA	0	0	0	0	5	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	18
CHE	82	1	4	34	22	13	32	21	42	35	20	25	12	7	4	354
EPI	0	10	35	2	0	46	0	21	2	0	0	0	0	1	0	117
GAR	1	0	0	2	0	1	2	0	32	67	7	10	1	25	1	149
GOU	1	0	0	3	2	24	124	0	48	155	34	74	4	27	5	501
GRE	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
HOT	0	0	0	0	0	0	10	0	0	1	0	14	0	0	4	29
IDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
LOF	0	15	2	0	63	72	10	0	0	67	36	55	1	0	1	322
PCH	0	0	0	0	0	0	0	18	1	0	0	0	0	0	0	19
PER	0	0	0	0	2	2	3	0	2	1	1	0	0	2	0	13
PES	9	0	0	0	4	0	0	1	3	4	1	1	0	7	0	30
PSR	0	0	1	0	0	0	0	458	3	22	0	5	79	116	7	691
ROT	0	0	6	0	0	0	0	8	0	1	0	2	3	0	0	20
SIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	4
SPI	0	0	0	1	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	8
TAN	8	1	1	0	0	0	0	23	2	0	0	0	0	1	0	36
TRF	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
VAI	19	0	0	14	1	14	4	4	6	0	0	17	0	0	0	79
VAN	0	0	0	5	4	9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Total	123	28	61	94	127	199	284	748	363	505	138	293	303	511	73	3850
Nb E.P.A.	25	25	25	25	25	25	25	25	25	30	15	10	10	25	25	
Nb esp.	7	5	8	9	12	11	16	13	13	19	9	15	9	14	9	

L'examen des valeurs des trois variables habituellement utilisées (abondance totale, proportion de juvéniles de l'année dans les échantillons (0+) et abondance relative des poissons appartenant à la guildes des phytophiles et des litho-phytophiles) (tableau 8.2) montre que les résultats obtenus en 2014 sont conformes à ceux des années précédentes, la variabilité temporelle pour une lône donnée étant probablement à mettre en relation avec les facteurs hydro-climatiques de l'année.

Tableau 8.2 - Évolution de trois variables permettant de caractériser les assemblages de poissons échantillonnés dans les lônes du Haut-Rhône après restauration : effectif pêché, abondance relative des espèces lithophiles et lithophytophiles (espèces utilisant exclusivement ou non un substrat végétal comme support de ponte) et proportion de juvéniles de l'année (0+) dans les échantillons pour chaque lône.

Lônes		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Lône du Brotalet	Effect. Total	500	160	210	262	121	125	82	64	140	55	123
	%age Lith.Phyt. & Phyto	7,0%	26,0%	17,0%	12,2%	30,6%	40,2%	40,2%	0,0%	35,0%	27,0%	9,8%
	% 0+	66,0%	56,0%	80,0%	90,0%	79,0%	98,0%	67,1%	100,0%	50,0%	76,0%	97,6%
Lône de la Malourdie	Effect. Total	58	72	401	122	135	48	66	50	305	277	-
	%age Lith.Phyt. & Phyto	0,0%	2,8%	8,0%	0,8%	9,6%	1,5%	1,5%	20,0%	2,0%	1,0%	-
	% 0+	86,0%	69,0%	76,0%	71,0%	60,0%	83,0%	78,8%	36,0%	53,0%	67,0%	-
Lône des Luisettes	Effect. Total	-	58	156	68	41	19	8	33	176	105	28
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	53,0%	38,0%	50,0%	14,6%	12,5%	12,5%	6,0%	16,0%	7,0%	3,6%
	% 0+	-	67,0%	47,0%	28,0%	78,0%	68,0%	62,5%	48,0%	55,0%	55,0%	39,3%
Lône Moiroud	Effect. Total	-	10	195	32	60	6	13	62	114	38	61
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	50,0%	34,0%	25,0%	1,7%	38,5%	38,5%	0,0%	4,0%	3,0%	13,1%
	% 0+	-	30,0%	58,0%	44,0%	72,0%	83,0%	0,0%	73,0%	47,0%	45,0%	72,1%
Lône Béard	Effect. Total	-	178	13	4	12	8	1	1	26	60	-
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	7,0%	31,0%	50,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	85,0%	60,0%	-
	% 0+	-	38,0%	8,0%	0,0%	25,0%	50,0%	100,0%	0,0%	23,0%	10,0%	-
Lône Fournier	Effect. Total	-	142	69	89	69	58	16	17	674	509	-
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	5,0%	4,0%	20,0%	8,7%	25,0%	25,0%	0,0%	50,0%	1,0%	-
	% 0+	-	88,0%	94,0%	57,0%	83,0%	69,0%	25,0%	18,0%	79,0%	79,0%	-
Anse de Yenne	Effect. Total	-	276	176	89	228	27	18	42	261	215	94
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	9,0%	20,0%	2,2%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	16,0%	19,0%	34,0%
	% 0+	-	92,0%	93,0%	24,0%	41,0%	70,0%	61,1%	59,0%	59,0%	48,0%	81,9%
Lône de Chantemerle	Effect. Total	-	-	192	56	25	22	135	3	330	281	-
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	15,0%	25,0%	80,0%	96,3%	96,3%	33,0%	49,0%	20,0%	-
	% 0+	-	-	86,0%	30,0%	96,0%	82,0%	94,1%	0,0%	75,0%	91,0%	-
Lône des granges	Effect. Total	-	-	68	220	5	16	44	41	104	197	-
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	45,0%	20,0%	20,0%	11,4%	11,4%	37,0%	67,0%	33,0%	-
	% 0+	-	-	76,0%	49,0%	60,0%	31,0%	40,9%	29,0%	62,0%	49,0%	-
Lône Vachon	Effect. Total	-	-	201	51	6	73	67	185	67	302	127
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	19,0%	12,0%	0,0%	16,4%	16,4%	16,0%	39,0%	18,0%	4,7%
	% 0+	-	-	79,0%	27,0%	0,0%	53,0%	35,8%	17,0%	22,0%	51,0%	31,5%
Lône des cerisiers	Effect. Total	-	-	425	248	22	180	68	385	287	296	199
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	5,0%	21,0%	13,6%	5,9%	5,9%	34,0%	8,0%	4,0%	2,5%
	% 0+	-	-	49,0%	56,0%	50,0%	57,0%	17,6%	37,0%	45,0%	38,0%	52,3%
Lône Mattant	Effect. Total	-	-	76	145	31	143	53	683	258	243	284
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	16,0%	3,0%	3,2%	13,2%	13,2%	8,0%	43,0%	2,0%	10,9%
	% 0+	-	-	48,0%	28,0%	35,0%	20,0%	15,1%	48,0%	12,0%	67,0%	32,4%
Lône des Molottes	Effect. Total	-	-	68	513	411	246	180	35	1016	1772	748
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	54,0%	43,0%	11,2%	16,7%	16,7%	71,0%	45,0%	46,0%	14,6%
	% 0+	-	-	90,0%	88,0%	96,0%	66,0%	97,2%	49,0%	81,0%	89,0%	93,9%
Lône du Ponton	Effect. Total	-	-	201	421	632	300	222	14	676	355	363
	%age Lith.Phyt. & Phyto	-	-	61,0%	24,0%	63,9%	42,3%	42,3%	93,0%	43,0%	49,0%	65,8%
	% 0+	-	-	86,0%	71,0%	99,0%	90,0%	96,8%	71,0%	96,0%	74,0%	94,8%

Les attendus de la restauration des lônes en termes de bénéfices pour les peuplements de poissons s'expriment principalement à travers (1) une mise à disposition des espèces de sites de reproduction (végétation aquatique) et de croissance des juvéniles complémentaires à ceux présents dans le chenal courant ; (2) la présence de sites plus ou moins lentiques possédant des abris importants utilisés par les adultes de différentes espèces également présentes dans le chenal ; (3) la présence de bras secondaires courants de petites dimensions offrant des

conditions d'habitats lotiques différentes et complémentaires de celles du Vieux-Rhône et souvent nécessaires aux classes d'âges intermédiaires des espèces rhéophiles (hotu, barbeau, ombre, truite...).

Les annexes fluviales sont des sites dans lesquels la production primaire et la production secondaire sont plus importantes que dans le chenal principal. Elles offrent des conditions de nutrition très favorables pour l'ensemble des classes d'âge des populations de poissons présentes, et en particulier pour les juvéniles qui trouvent là des aliments répondant à leurs exigences. La variabilité inter-lônes des captures de poissons reflète l'hétérogénéité des types de lônes restaurées au sein de la plaine alluviale.

9 Structuration génétique et différenciation intra-populationnelle de poissons cyprinidés dans des sections fluviales aménagées du Bas-Rhône médian

9.1 Contexte de l'étude

Dans le cadre global des recherches sur les communautés piscicoles du Bas-Rhône médian, notamment celles relatives aux effets potentiels de la modification future des débits réservés et la réhabilitation de lônes dans les sections fluviales court-circuitées (vieux-Rhône) des aménagements hydro-électriques de Baix-Le Logis Neuf (1960) et de Donzère-Mondragon (1952), nous proposons une étude génétique des poissons occupant les entités aquatiques, structurées ou créées, au voisinage de ces ouvrages. Le contexte a été présenté dans le § 3.

9.2 Bilan de l'échantillonnage

Les sites retenus ont été échantillonnés (prélèvement d'un fragment de nageoire sur chaque poisson) par les différents partenaires scientifiques lors de pêches scientifiques en 2012, 2013 et 2014. Le tableau 9.1 rapporte les sites et les effectifs échantillonnés par espèce.

Tableau 9.1 - Sites et effectifs de l'échantillonnage génétique (VR = Rhône court-circuité)

Station	année	Ablette	Spirilin	Chevaine	Gardon	Vairon
Ardèche	2014	48	13	50	50	50
Lez	2014	22	X	22	4	X
Tricastin (canal d'amenée)	2014	26	X	30	X	X
Retenue Caderousse	2014	150	49	127	8	X
Retenue Caderousse	2012	X	X	98	38	X
Rhône à Vivier	2014	X	X	30	X	X
Donzère-Mondragon – VR (amont Ardèche)	2013	24	37	50	2	X
Lône de Malaubert	2013	45	45	45	45	X
Lône des Joncs	2013	45	X	X	X	X
Lône du Bayard	2013	X	X	X	31	X
Donzère-Mondragon – VR (aval Ardèche)	2012	X	X	151	71	X
Rhône en amont du Pouzin	2015 ?	X	X	X	X	X
Payre aval	2013	X	X	X	X	50
Payre amont	2013	X	X	X	X	50
Logis-Neuf – VR	2013	50	51	51	42	49
Rhône à Cruas	2014	30	X	30	X	X
TOTAL		<i>440</i>	<i>195</i>	<i>684</i>	<i>291</i>	<i>199</i>

A l'exception du Rhône à l'amont de l'aménagement hydro-électrique de Baix-le-Logis-Neuf (Rhône en amont du Pouzin), l'ensemble des sites ont pu être prospectés en échantillonnés sur la période 2012-2014. Malgré tout, pour un site donné, toutes les espèces attendues n'ont parfois pas pu être échantillonnées. Les campagnes de pêches de 2015 viendront compléter le présent échantillonnage.

9.3 Développement des marqueurs génétiques

L'année 2014 a été consacrée au développement de marqueurs génétiques de type microsatellite. Pour chacune des espèces d'intérêt, environ 60 *loci* microsatellites spécifique de poissons cyprinidés ont été évalués, dans le but d'en retenir une vingtaine afin de répondre aux objectifs de l'étude. Une phase d'optimisation a suivi permettant de multiplexer les amorces permettant l'amplification de ces marqueurs génétiques. Deux kits par espèce ont ainsi été développés. Les tableaux 9.2 à 9.5 listent des marqueurs retenus, indiquent les kits mutiplex auxquels ils appartiennent, le fluorochrome avec lequel a été marquée une des deux amorces nécessaire à l'amplification du *loci* microsatellite, l'intervalle de taille des allèles de chaque locus, ainsi que les concentrations des amorces utilisées lors des réactions

d'amplification. Pour le vairon, nous les marqueurs développés par Grenier *et al.* (2013) seront utilisés.

Tableau 9.2 - Microsatellites développés pour le gardon (n = 23).

Kit multiplex	Locus	Fluorochrome	Intervalle allélique (pb)	Concentration des amorces en nM
Rr1	BL1-44	FAM	61-104	100
Rr1	Lsou5	FAM	191-217	150
Rr1	LC93	FAM	241-260	100
Rr1	N7G5	A565	91-109	50
Rr1	CypG24	PET	179-208	200
Rr1	BL1-98	PET	279-285	250
Rr1	MFW1	VIC	162-188	130
Rr1	LleC090	VIC	241-267	80
Rr1	Rru7	A550	91-109	100
Rr1	Lsou8	NED	174-189	50
Rr1	Lco1	NED	257-342	300
Rr2	LceC1	FAM	95-108	150
Rr2	Rru4	FAM	178-192	100
Rr2	Ocr106	FAM	234-260	100
Rr2	BL1-30	PET	87-101	80
Rr2	Z21908	PET	145-163	200
Rr2	CtoG075	PET	206-222	100
Rr2	Rser10	YKY	179-194	200
Rr2	Lsou34	VIC	222-230	50
Rr2	Rru478	VIC	308-346	150
Rr2	Ca1	NED	103-129	150
Rr2	N7K4	NED	153-166	150
Rr2	Lid1	A550	248-285	100

Tableau 9.3 - Microsatellites développés pour le chevaine (n =22).

Kit multiplex	Locus	Fluorochrome	Intervalle allélique (pb)	Concentration des amorces en nM
Sc1	LceC1	FAM	90-106	100
Sc1	Lsou5	FAM	189-226	100
Sc1	Lid11	FAM	254-278	200
Sc1	BL1-30	PET	83-95	100
Sc1	LleA150	PET	176-220	100
Sc1	Sluc7	A565	272-356	100
Sc1	Lid8	VIC	106-113	200
Sc1	Rser10	YKY	183-196	50
Sc1	Ca3	YKY	223-286	100
Sc1	N7K4	NED	134-147	50
Sc1	LceI100	A550	196-254	100
Sc2	CtoF172	FAM	109-129	80
Sc2	LC27	FAM	156-197	100
Sc2	CypG27	FAM	268-346	400
Sc2	Ca1	A565	99-127	150
Sc2	CypG24	PET	150-167	100
Sc2	LC290	A565	196-254	200
Sc2	CnaB030	VIC	122-137	50
Sc2	BL1-84	YKY	179-195	50
Sc2	LleC090	VIC	251-319	100
Sc2	LC293	NED	98-143	80
Sc2	BL1-153	NED	220-231	50

Tableau 9.4 - Microsatellites développés pour l'ablette (n =24).

Kit multiplex	Locus	Fluorochrome	Intervalle allélique (pb)	Concentration des amorces en nM
Aa1	CtoF-172	VIC	117-131	80
Aa1	CtoA-247	VIC	170-185	50
Aa1	LleC-090	VIC	221-243	80
Aa1	Ca1	NED	112-150	100
Aa1	LleA-150	A550	191-226	150
Aa1	Lid11	A550	274-339	300
Aa1	E2F8	FAM	104-108	80
Aa1	BL1-2b	FAM	149-167	100
Aa1	LC93	FAM	240-285	100
Aa1	BL1-30	PET	81-120	100
Aa1	CypG24	PET	152-199	100
Aa1	LleA-071	PET	339-352	100
Aa2	LceC1	FAM	100-118	500
Aa2	Lsou5	FAM	183-204	150
Aa2	CypG27	FAM	307-387	400
Aa2	N7K4	NED	151-162	80
Aa2	Lsou08	NED	191-224	100
Aa2	LCO3	NED	243-255	200
Aa2	CnaB-030	VIC	122-127	150
Aa2	BL1-61	VIC	194-204	80
Aa2	Sluc11	YkY	237-248	80
Aa2	N7G5	A565	96-110	50
Aa2	Gob22	A565	175-187	50
Aa2	LCO4	PET	244-280	100

Tableau 9.5 - Microsatellites développés pour le spiralin (n =22).

Kit multiplex	Locus	Fluorochrome	Intervalle allélique (pb)	Concentration des amorces en nM
Ab1	LceC1	FAM	88-107	150
Ab1	Lsou05	FAM	175-198	100
Ab1	Rru478	FAM	314-327	100
Ab1	CtoA-256	PET	111-124	100
Ab1	Z21908	PET	140-171	300
Ab1	HLJC87	A565	215-285	80
Ab1	LleA-071	PET	342-349	100
Ab1	Lid8	VIC	110-129	200
Ab1	MFW1	VIC	167-198	400
Ab1	LleC-090	VIC	255-329	200
Ab1	N7K4	NED	134-155	100
Ab1	Lsou08	NED	193-207	100
Ab2	N7G5	A565	94-114	150
Ab2	BL1-98	PET	279-289	600
Ab2	LC293	NED	99-113	80
Ab2	Lid11	A550	252-274	100
Ab2	Lro12	FAM	57-108	100
Ab2	LC27	FAM	159-196	100
Ab2	Lsou34	FAM	223-249	80
Ab2	Albi61	VIC	82-157	300
Ab2	Rser10	YkY	193-222	200
Ab2	HLJYL100	YkY	245-328	200

10 Conclusion

Le présent rapport présente l'état d'avancement du programme Rhônéco et dresse le bilan du travail réalisé au cours l'année 2014. Un important travail d'analyse synthétique a été effectué sur les données collectées sur les sites restaurés entre 2000 et 2006 (Haut-Rhône et Pierre-Bénite) apportant des informations nouvelles sur ce retour d'expérience de restauration en milieu fluvial. Les efforts de recherche vont maintenant porter sur l'analyse des potentialités de restauration des sites de Miribel et de Donzère en optimisant l'utilisation des retours d'expérience et en favorisant les approches concertées avec les équipes de la CNR, notamment dans le cadre de la définition des objectifs écologiques associés à la restauration des îlots de Donzère. L'analyse de la connectivité biologique entre différents milieux connectés aux vieux-Rhône *via* l'utilisation des marqueurs génétiques sera poursuivie en 2015. Un effort important a été réalisé pour assurer une collecte de données sur plusieurs années avant restauration sur les sites du Bas-Rhône et sur le Canal de Miribel, ce qui devrait permettre une analyse des effets des mesures de restauration pertinente. L'analyse de l'évolution des milieux et des biocénoses dans les sites récemment restaurés comme celui de Péage-de-Roussillon sera réalisée à partir des données collectées au cours des prochaines années. Le suivi et les travaux d'analyse de données réalisés dans le cadre de Rhônéco apportent des connaissances et des outils permettant à la fois de quantifier et d'expliquer, au moins pour partie, les modifications des milieux et des peuplements dans les secteurs restaurés mais également de fournir une aide à la décision pour la définition des objectifs *via* l'utilisation des modèles prédictifs développés et l'approche interdisciplinaire mise en œuvre dans ce programme.

Bibliographie

- André S. & Olivier J.M. (2003). Mise en place du suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du fleuve Rhône. Convention de prestation d'étude n° 2002.69.174 DIREN/EZUS. Rapport à la Diren Délégation de Bassin RM&C.
- Armitage P. D., Pardo I. & Brown A. (1995). Temporal Constancy of Faunal Assemblages in Mesohabitats - Application to Management. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 133(3), 367-387.
- Balon E.K. (1975). Reproductive Guilds of Fishes : A Proposal and Definition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 32: 821-864.
- Bournaud M., & Cogérino L. (1986). Les microhabitats aquatiques des rives d'un grand cours d'eau : approche faunistique. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 22(03), 285-294. doi: doi:10.1051/limn/1986026
- Cogérino L., 1989. Les rives aquatiques des grands cours d'eau : caractérisation mésologique et faunistique. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon 1, 329 p.
- Cogerino L., Cellot B., & Bournaud M. (1995). Microhabitat Diversity and Associated Macroinvertebrates in Aquatic Banks of a Large European River. *Hydrobiologia*, 304(2), 103-115.
- Corse E., Neve G., Sinama M., Pech N., Costedoat C., Chappaz R. & Gilles A. (2012) Plasticity of ontogenetic trajectories in cyprinids: a source of evolutionary novelties. *Biological Journal of the Linnean Society* **106**, 342-355.
- Dehais C., Eudeline R., Berrebi P. & Argillier C. (2010) Microgeographic genetic isolation in chub (Cyprinidae: *Squalius cephalus*) population of the Durance River: estimating fragmentation by dams. *Ecology of Freshwater Fish*, **19**, 267-278.
- Dewson, Z. S., James, A. B. W., & Death, R. G. (2007). A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(3), 401-415.
- Dubut V., Fouquet A., Voisin A., Costedoat C., Chappaz R. & Gilles A. (2012) From Late Miocene to Holocene: processes of differentiation within the *Telestes* genus (Actinopterygii: Cyprinidae). *PLoS ONE*, **7**, e34423-e34423.
- Dubut V., Sinama M., Martin J.-F., Meglecz E., Fernandez J., Chappaz R., Gilles A. & Costedoat C. (2010) Cross-species amplification of 41 microsatellites in European

- cyprinids: A tool for evolutionary, population genetics and hybridization studies. *BMC research notes*, **3**, 135-135.
- Gjerlov C., Hildrew A. G., & Jones J. I. (2003). Mobility of stream invertebrates in relation to disturbance and refugia: a test of habitat templet theory. *Journal of the North American Benthological Society*, *22*(2), 207-223.
- Grenier R., Costedoat C., Chappaz R., Dubut V. (2013) Two multiplexed sets of 21 and 18 microsatellites for *Phoxinus phoxinus* (L.) and *Gobio gobio* (L.) developed by cross-species amplification. *European Journal of Wildlife Research*, **59**, 291-297.
- Lamouroux N., Olivier J.-M., Persat H., Pouilly M., Souchon Y. & Statzner B. (1999) Predicting community characteristics from habitat conditions: fluvial fish and hydraulics. *Freshwater Biology*, **42**, 275–299.
- Lamouroux N. & Capra H. (2002) simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Freshwater Biology*, **47**, 1543–1556.
- Lamouroux N. & Olivier J.-M. (2015) Testing predictions of changes in fish abundance and community structure after flow restoration in four reaches of a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*, *60* (6) :118-1130
- Laroche J., Durand J.D., Bouvet Y., Guinand B. & Brohon B. (1999) Genetic structure and differentiation among populations of two cyprinids, *Leuciscus cephalus* and *Rutilus rutilus*, in a large European river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**, 1659-1667.
- Malausa T., Gilles A., Meglecz E., Blanquart H., Duthoy S., Costedoat C., Dubut V., Pech N., Castagnone-Sereno P., Delye C., Feau N., Frey P., Gauthier P., Guillemaud T., Hazard L., Le Corre V., Lung-Escarmant B., Male P.-J.G., Ferreira S. & Martin J.-F. (2011) High-throughput microsatellite isolation through 454 GS-FLX Titanium pyrosequencing of enriched DNA libraries. *Molecular Ecology Resources*, **11**, 638-644.
- Meynard M., Testi B., Veslot J. & Carrel G. (2012) Etude thermique du Rhône Phase IV – Lot 2. Facteurs hydroclimatiques et taille des poissons juvéniles. U.R. Hydrobiologie, Irstea, Aix-en-Provence.
- Mérigoux S., Lamouroux N., Olivier J.-M., & Dolédec S. (2009). Invertebrate hydraulic preferences and predicted impacts of changes in discharge in a large river. *Freshwater Biology*, *54*(6), 1343 - 1356

- Olivier J.M. (2005a) Suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône. RCC de Chautagne (2004). Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR/ EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier J.-M., André S., Dolédec S., Lamouroux N., Méricoux S. 2004a - Suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, Vieux-Rhône et îles de Chautagne, caractérisation de l'état initial, juin 2004. Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR/ EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier J.M., Bornette G., Castella E., Dolédec S., Lamouroux N., Massé C., Méricoux S, Piégay H. 2004b - Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et îles de Belley. Caractérisation de l'état initial. Années 2003-2004. Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR / EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier JM., Lamouroux N., Sagnes P., Méricoux S., Piégay H., Bornette G., Castella E., Paillex A., Béguin O., Montbertrand A.L., Carron G., McCrae D. & Terrier A. (2009). Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du 189 Rhône. Rapport de synthèse 2003-2008, Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon. Contrat de prestation n° DPE-F 03-0093. CNR / EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier, JM., Lamouroux N., Bornette G., Castella E., Méricoux S., Piégay H. (2007) : analyse fonctionnelle des systèmes restaurés, développement de modèles prédictifs utilisables en restauration fluviale. Suivi scientifique du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, période 2003-2006. Rapport à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse, la Compagnie Nationale du Rhône, la Délégation de Bassin Rhône Méditerranée & Corse, la Région Rhône-Alpes.
- Paillex A., Castella E., zu Ermgassen P. S. E., & Aldridge D. C. (2015). Testing predictions of changes in alien and native macroinvertebrate communities and their interaction after the restoration of a large river floodplain (French Rhone). *Freshwater Biology*, 60(6), 1162-1175.
- Poff N. L. & Zimmerman J. K. H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194-205.

Annexes

Annexe 1

Les travaux réalisés au cours de la période 2003-2006 ont permis de définir les métriques et les indicateurs. Pour chacun des deux grands types de restauration les indicateurs retenus sont les suivants.

Mesure des effets des modifications du régime des débits réservés (peuplements des vieux-Rhône courants)

Peuplement piscicole

Indicateurs	Métriques
Richesse spécifique	Nombre d'espèces
Structure du peuplement	Fréquence des différentes espèces
Espèces cibles	Distribution en classes de la taille des espèces cibles
Proportion d'espèces eaux vives	Effectifs des espèces : BAF, SPI, BLN, LOF, CHA*
Proportion d'espèces eaux courantes	Effectifs des espèces : OBR, BAF, ABL, HOT, TOX, VAN*

* BAF : barbeau fluviatile, SPI : spirilin, BLN : Blageon, LOF : loche franche, CHA : chabot, OBR : ombre commun, ABL : ablette, HOT : hotu, TOX : toxostome, VAN : vandoise.

Les indicateurs résultent des travaux réalisés avant restauration (Lamouroux *et al.*, 1999).

L'augmentation des valeurs de débits réservés devrait engendrer une augmentation de la proportion « d'espèces d'eaux courantes ».

Peuplement d'invertébrés du chenal

Indicateurs	Métriques
Proportion d'espèces des habitats lotiques	Abondance relative des espèces rhéophiles
Proportion d'espèces des habitats lenticques	Abondance relative des espèces limnophiles

Ces indicateurs ont été développés dans le présent programme avec les données collectées avant restauration.

Le modèle d'habitat statistique FSTress (Lamouroux, 1997), adapté aux invertébrés benthiques, permet de prédire des densités d'espèces à un débit donné à l'échelle du tronçon et donc de prévoir des changements faunistiques et de fonctionnement du milieu induits par des modifications de débits. Les courbes de préférence hydrauliques de 66 taxons ont été réalisées. Les deux métriques utilisées résultent de ces travaux.

Les taxons rhéophiles sont inféodés à des habitats présentant des contraintes hydrauliques fortes ($FST \geq 8$ soit une force minimum exercée au fond du cours d'eau supérieure à $3.93 \cdot 10^{-1} N \cdot m^{-2}$). Ces taxons devraient être favorisés par les augmentations de débits dans le chenal principal et dans les lônes courantes.

Les taxons "intermédiaires" sont inféodés à des habitats présentant des contraintes hydrauliques moyennes ($FST \geq 5$ et $FST < 8$).

Les taxons limnophiles sont inféodés à des habitats présentant des contraintes hydrauliques faibles ($FST < 5$ soit une force minimum exercée au fond du cours d'eau inférieure à $1.66 \cdot 10^{-1} N \cdot m^{-2}$). Ces taxons devraient être défavorisés par les augmentations de débits dans le chenal principal et dans les lônes courantes mais devraient trouver des conditions favorables dans les lônes plus stagnantes.

Par exemple, le couplage des modèles biologiques et hydrauliques par FSTress prévoit pour les 3 secteurs du Haut-Rhône :

- qu'une **augmentation des débits induira une augmentation des densités des taxons rhéophiles** tels que par exemple *Ancylus fluviatilis*, *Dreissena polymorpha*, *Baetis vardarensis* et *Hydropsyche contubernalis*.

- qu'une **augmentation des débits induirait une diminution des densités des taxons limnophiles** tels que par exemple *Caenis luctuosa*, *Micronecta spp.*, *Polycentropus flavomaculatus* et *Potamopyrgus antipodarum*.

- que sur les 39 taxons présentant des préférences hydrauliques marquées, 27 devraient répondre positivement aux augmentations de débits.

Mesure des effets de la réhabilitation physique des lônes (annexes fluviales)

Géomorphologie des lônes

Les deux questions posées dans le programme sont :

- Quelle est la durée de vie d'une lône restaurée ? Y a-t-il un comblement du bras par sédimentation ? Existe-t-il des phénomènes de décapage ralentissant le processus, voire l'inversant ? Cette durée est-elle modifiée par la restauration ? Ce premier ensemble de questions est abordé en confrontant le taux de sédimentation (épaisseur des sédiments déposés sur une période de temps donnée) et la hauteur d'eau moyenne de la lône qui est susceptible d'enregistrer le comblement.

- La restauration modifie-t-elle les conditions d'habitat dans la lône ? Ces conditions d'habitat dépendent de l'écoulement et des caractéristiques granulométriques du lit. L'objectif est ici de déterminer si les conditions d'habitat sont modifiées par rapport aux conditions initiales et si ces nouvelles conditions vont se maintenir durablement. Pour caractériser cette évolution, un suivi de la granulométrie moyenne et de la variabilité granulométrique intra-lône est réalisé. Il est complété par un suivi automatisé des hauteurs d'eau.

Indicateurs	Métriques
Espérance de vie de l'état restauré	Comblement post-restauration
Conditions d'habitat intra-lône	Granulométrie du substrat

Les résultats obtenus permettent d'établir une première typologie des lônes restaurées et de proposer les premiers modèles d'évolution (comblement) post-restauration.

Végétation aquatique des lônes

Indicateurs	Métriques
Influence des perturbations hydrauliques	Degré de perturbation (5 classes)
Trophie	Degré de trophie (3 à 4 classes)
Colmatage	Alimentation en eau souterraine (oui / non)
Richesse spécifique en espèces végétales aquatiques	Richesse par lône
Diversification végétale	Abondance relative des espèces rares

Un *diagnostic du fonctionnement écologique* de chaque zone humide est réalisé à chaque date d'échantillonnage, à partir des données floristiques et environnementales collectées sur la zone humide. Ce diagnostic repose sur la méthode mise au point par Bornette *et al.* (1996). Pour l'établir, on procède à la mise en relation des espèces dominantes de la zone humide à une date donnée avec ses exigences écologiques (Amoros *et al.*, 2000). Les exigences considérées sont la tolérance des espèces à la charge des eaux en phosphates et ammoniac, leur tolérance au décapage ou au dépôt de sédiments lors des crues (degré de perturbation), et leur association aux milieux alimentés par les eaux souterraines.

Les critères pris en compte sont :

- **le niveau de perturbation** par les crues qui conditionne la richesse spécifique dans l'écosystème. Lorsque le milieu est très perturbé, seules les espèces pionnières se maintiennent. Ces espèces ont en général une faible aptitude compétitive, et sont exclues des écosystèmes les plus stables (peu perturbés), dans lesquels les espèces les plus compétitives dominent le peuplement. Une annexe fluviale fréquemment parcourue par les crues décapantes a une durée de vie potentiellement importante.
- **le niveau de ressources disponibles** dans les écosystèmes aquatiques qui va jouer un rôle prépondérant sur la structure et la dynamique des communautés végétales. Les espèces aquatiques ne sont pas distribuées de manière aléatoire dans les écosystèmes et l'on peut associer la plupart des espèces à des niveaux de ressources donnés. Pour des niveaux de ressources élevés, sont souvent associées des espèces de grande taille et à croissance rapide ; lorsque les niveaux de ressources sont faibles, sont souvent associées des espèces capables de supporter ce stress (croissance lente, conservation des ressources, taille plutôt faible).
- **L'existence d'apports d'eaux souterraines**, paramètre important pour le fonctionnement de la zone humide, peut augmenter la durée de vie des annexes fluviales. Ces eaux contribuent, par leurs caractères sténothermes et froids, au maintien de températures fraîches, ce qui limite la production végétale et notamment la prolifération algale. En fonction de la capacité hydraulique de la lône, elles réduisent l'accumulation de matière organique ce qui favorise sa durée de vie.

Richesse spécifique : le nombre d'espèces présentes sur la lône dépend principalement des conditions de perturbations. La richesse atteint une valeur maximale pour une fréquence et une intensité moyenne de perturbations permettant la co-occurrence d'espèces compétitives et d'espèces pionnières.

L'abondance relative des espèces renseigne sur la structure du peuplement et en particulier la dominance (ou l'absence) de certaines espèces, qui par leurs exigences écologiques (Amoros *et al.*, 2000) sont utilisées pour le diagnostic fonctionnel.

L'évolution de *l'abondance moyenne des espèces invasives* renseigne sur l'augmentation, la régression, ou la stabilité de ces espèces dans les annexes fluviales. Très compétitives, elles tendent à occuper les habitats laissés

libres post-restauration en formant des peuplements monospécifiques, ce qui entraîne une diminution de la richesse spécifique.

La *proportion des espèces d'hydrophytes, d'hélophytes et terrestres* renseigne la composition du peuplement en types biologiques (plantes aquatiques, amphibies, ou terrestres). Elle permet d'évaluer le degré de permanence des eaux dans la zone humide. Une augmentation de la part relative en hélophytes (plantes ripariales, ou tolérantes aux exondations) et terrestres est un indicateur de la fréquence des exondations (atterrissements progressifs).

La *liste des espèces rares* est établie à partir de la liste rouge de la région Rhône-Alpes et renseigne le degré de rareté (menace de disparition) des espèces végétales au niveau régional non prises en compte par des mesures législatives. La présence de ces espèces est un indicateur de l'état de conservation des zones humides.

La *liste des espèces protégées au niveau local* renseigne la liste des espèces végétales protégées en région Rhône-Alpes par l'arrêté du 4 décembre 1990, complétant la liste nationale. La présence de ces espèces est un indicateur de la valeur patrimoniale de la zone humide.

La *liste des espèces protégées au niveau national* renseigne la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national par l'arrêté du 20 janvier 1982 modifié. Menacées de disparition à cette échelle (territoire national), la présence de ces espèces est un indicateur de l'état de conservation de leurs biotopes correspondants (constituant tout ou partie de la zone humide).

La *liste des espèces protégées au niveau européen* renseigne la liste des espèces végétales présentes en annexe II et IV de la Directive Habitat Faune Flore. Par le regroupement d'espèces en danger d'extinction, vulnérables, rares ou endémiques au niveau européen, elle est un indicateur de l'intérêt communautaire de la zone humide.

La *liste des espèces rares* est établie à partir de la liste rouge de la région Rhône-Alpes et renseigne le degré de rareté (menace de disparition) des espèces végétales au niveau régional non prises en compte par des mesures législatives. La présence de ces espèces est un indicateur de l'état de conservation des zones humides.

La *liste des espèces protégées au niveau local* renseigne la liste des espèces végétales protégées en région Rhône-Alpes par l'arrêté du 4 décembre 1990, complétant la liste nationale. La présence de ces espèces est un indicateur de la valeur patrimoniale de la zone humide.

La *liste des espèces protégées au niveau national* renseigne la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national par l'arrêté du 20 janvier 1982 modifié. Menacées de disparition à cette échelle (territoire national), la présence de ces espèces est un indicateur de l'état de conservation de leurs biotopes correspondants (constituant tout ou partie de la zone humide).

La *liste des espèces protégées au niveau européen* renseigne la liste des espèces végétales présentes en annexe II et IV de la Directive Habitat Faune Flore. Par le regroupement d'espèces en danger d'extinction, vulnérables, rares ou endémiques au niveau européen, elle est un indicateur de l'intérêt communautaire de la zone humide.

Peuplement d'invertébrés des lônes

Indicateurs	Métriques
Richesse taxonomique et statut des espèces	Richesse taxonomique totale Richesse spécifique des taxons Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères Richesse spécifique des mollusques gastéropodes % d'individus appartenant à des espèces non-indigènes Nombre d'espèces exogènes par site Densité moyenne (en nombre d'individus / m ²) des espèces exogènes par site
Caractéristiques biologiques et écologiques des taxons	% broyeurs % collecteurs filtreurs % prédateurs % taxons plurivoltins % taxons se déplaçant à la surface du substrat % taxons à dérive comportementale

(1) *richesse taxonomique totale* : obtenue sur les données brutes (déterminées sur des niveaux taxonomiques hétérogènes)

(2) *richesse en Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT)* : nombre de taxons (calculé au niveau du genre ou de l'espèce) appartenant aux Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères, groupes pour lesquels un niveau de détermination plus homogène est obtenu. C'est un indicateur de diversité biologique classiquement utilisé dans l'évaluation des systèmes d'eau courante. Cette richesse augmente avec la qualité du milieu et avec l'intensité du courant.

(3) *richesse en mollusques gastéropodes* : le nombre d'espèces appartenant à ce groupe diminue avec l'intensité du courant s'exerçant dans les milieux. C'est un bon indicateur de la qualité et de la complexité de l'habitat en milieu stagnant.

Du fait de l'hétérogénéité de nombreux invertébrés récoltés dans chaque prélèvement et du lien entre l'abondance et la richesse taxonomique, un calcul de richesses taxonomiques mesurées sur des échantillons égaux du point de vue de l'abondance a été effectué par la technique dite "de raréfaction" (Heck et al., 1975 ; Krebs, 1999). Cette technique simule le tirage aléatoire d'un nombre fixé d'individus à l'intérieur de chaque échantillon à comparer. Le nombre d'individus est déterminé à partir de l'effectif du moins abondant des échantillons comparés. Les richesses raréfiées ont une valeur comparative entre sites et non une valeur absolue. Les calculs ont été faits avec la fonction "rarefy" du jeu de fonctions "vegan" développé pour le logiciel R (Ihaka & Gentleman, 1996) par J. Oksanen et B. O'Hara. La fonction calcule une richesse raréfiée pour un nombre d'individus donné à partir de la formule de Hurlbert (1971) et l'accompagne d'une erreur standard calculée selon Heck et al (1975).

(4) *densité des EPT* : nombre d'individus au m² des insectes Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (cf métrique 2).

(5) *densité totale* : nombre total d'individus au m²

Quatre métriques ont été consacrées à décrire les espèces exogènes au bassin du Rhône. Ces espèces appartiennent majoritairement aux groupes des macrocrustacés (amphipodes, décapodes), des mollusques (bivalves et gastéropodes) et des annélides polychètes.

(6) *l'abondance relative des espèces exogènes* au bassin rhodanien a été calculée par rapport à l'abondance totale dans les relevés.

(7) *l'abondance relative des espèces exogènes* (sans *Gyraulus parvus*) Le mollusque gastéropode exogène *Gyraulus parvus* colonise préférentiellement les milieux stagnants où il peut atteindre de très fortes densités. Cette métrique a été calculée pour mieux caractériser le comportement des espèces exogènes dans les milieux courants.

(8) *la densité des espèces exogènes* : nombre d'individus au m² des espèces appartenant à ce groupe

(9) *la richesse en espèces exogènes* : le nombre d'espèces appartenant à ce groupe

A la suite des propositions de Merritt et al. (2002) pour adapter aux milieux aquatiques alluviaux des métriques développées pour les systèmes d'eau courante, six métriques basées sur les caractéristiques biologiques des taxons (traits) ont été employées ici :

(10) *le pourcentage de taxons épibenthiques* se déplaçant à la surface du substrat sans mode de fixation spécifique ("sprawlers") exprime la disponibilité en proies pour les oiseaux et les poissons à alimentation benthique.

(11) *le pourcentage de filtreurs* exprime l'importance relative de la matière organique en suspension.

(12) *le pourcentage de broyeurs* renseigne sur la disponibilité en matière organique grossière.

(13) *le pourcentage de taxons plurivoltins* (pouvant accomplir plus d'un cycle de développement par an) exprime la proportion d'espèces potentiellement pionnières à développement rapide.

(14) *le pourcentage de dérivants* (taxons possédant une aptitude moyenne à forte à la dérive comportementale) exprime la disponibilité en proies pour les poissons se nourrissant dans la colonne d'eau.

(15) *le pourcentage de prédateurs* exprime l'intensité du contrôle des prédateurs sur les proies.

Ces métriques sont calculées à partir des nombres d'individus totaux. Les informations relatives au calcul de ces métriques ont été essentiellement tirées de Tachet *et al.* (2000) (voltinisme), Colling (1996) (groupes trophiques), Merritt & Cummins (1996) (relation au substrat), De Crespin De Billy & Usseglio-Polatera (2002) (mode de dérive) et localement adaptées à l'aide d'autres sources pour certains taxons.

Sauf en cas d'indication contraire, les calculs ont été effectués au niveau des sites en amalgamant les résultats des deux saisons d'échantillonnage (mars-mai et juillet-septembre) pour une même situation (pré- ou différentes dates post-restauration).

Ces métriques ont été testées sur le jeu de données pré et post-restauration en prenant en compte des annexes témoins non-restaurées.

Peuplement piscicole des lônes

Indicateurs	Métriques
Richesse spécifique piscicole	Nombre d'espèces
Indicateur d'eaux stagnantes	Abondance relative des espèces phytophiles et litho-phytophiles
Espèces cibles	Abondance absolue des espèces cibles

Richesse spécifique : le nombre d'espèces présentes renseigne sur la fréquentation des annexes fluviales par les différentes espèces de poissons en particulier pour la reproduction et la phase de croissance des jeunes stades de développement.

La proportion d'espèces phytophiles et litho-phytophiles (Balon, 1975) renseigne sur la fréquentation des annexes par les espèces déposant leurs œufs sur des supports végétaux (caractéristiques des annexes fluviales : tanche, perche, brochet...)

L'abondance des espèces cibles : bouvière, rotengle, tanche et brochet renseigne sur l'évolution de ces populations dans les annexes fluviales et devrait augmenter au cours du temps en période post-restauration.

Annexe 2

Calendriers des suivis passés et futurs (prévisionnel)

Annexe 2.1 Suivis pré- et post-restauration (prévision 2014-2018) des peuplements de poissons dans les chenaux court-circuités et dans les lônes. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 2.2 Suivis pré- et post-restauration (prévision 2014-2018) des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans les chenaux court-circuités. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration. * : campagnes d'échantillonnage non-financées dans le cadre du suivi scientifique de la restauration du Rhône (les campagnes de 2012 à Belley et Brégnier-Cordon ont été financées par la CNR dans le cadre du suivi des chasses 2012, NR : campagnes non-réalisées pour cause de conditions hydrologiques défavorables).

Annexe 2.3 Suivis hydro-morpho-sédimentaires pré- et post-restauration dans les lônes. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 2.4 Suivis pré- et post-restauration des peuplements de macroinvertébrés benthiques des lônes du Bas-Rhône. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 2.1

Secteurs	Lônes et RCC	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Chautagne	RCC de Chautagne						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône Malourdie									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Lône Brotalet									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Belley	RCC de Belley									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône des Luisettes										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Lône Moiroud										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône Béard										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	lône Fournier										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Anse de Yenne										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brégnier-Cordon	RCC Brégnier-Cordon										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de Chantemerle										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Lône des Granges										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Lône Vachon										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône des Cerisiers										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône Mattant											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône des Molottes											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône du Ponton											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Canal de Miribel	RCC													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pierre-Bénite	RCC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de Ciselande																	X							
	Lône de jaricot																	X							
	Lône de Table Ronde																	X							
Péage de Roussillon	RCC													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de la Platière													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône du Noyer Nord													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône du Noyer Sud														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de L'Ilon													X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de la Boussarde																		X		X	X	X	X	X
	Lône de La Sainte																			X		X	X	X	X
Montélimar	RCC												X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lône de la Roussette															X	X	X		X					
Donzere-Mondragon	RCC														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lônes de Malaubert & Surelle																X	X	X	X	X		X		
	Lône du Carré																X	X	X	X	X				
	Lône des Joncs																X	X	X	X	X				
	Lône de Caderousse																X	X	X	X	X				
	Lône de la Grange Ecrasée																X	X	X	X	X		X		
	Lône du Bayard																X	X	X	X	X				
	Dames																					X			X
	Dion																					X			X
	Banc Rouge																					X			X
	Désirade																					X			X

Annexes 2.2

Secteurs	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
RCC de Chautagne					X	X		X				X		X	X	X	X	X	X			X		
RCC de Belley								X						X	X		X	*	X			X		
RCC de Brégnier-Cordon								X							X		X	*	X			X		
Canal de Miribel								X								X	X		NR	X			X	
RCC de Pierre-Bénite	X	X		X	X		X	X	X					X		X		X						X
RCC de Péage-de-Roussillon														X		X	*	X	*NR	X			X	
RCC de Baix-Le-Logis-Neuf																	*	*	*	X			X	
RCC de Montélimar														X			X	*	NR	X			X	
RCC de Donzère															X		*	X	*NR	X			X	

Annexe 2.3

Secteur	Lône	2003	2004	2005	fév. 2006	oct. 2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Chautagne	Malourdie		Apr T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Brotalet		Apr T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
Belley	Luisettes		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Moiroud		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Fournier		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Béard		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Lucey		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Anse de Yenne		Avt T		Apr T	Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
Brégnier-Cordon	Chantemerle		Apr T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Granges		Avt T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Vachon		Avt T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Cerisier		Avt T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Mattant		Avt T			Apr T			Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Mollotes		Avt T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Ponton		Avt T			Apr T	Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
Miribel	lône Plançon													Avt T			Apr T	
	lône Grella													Avt T			Apr T	
	lône Vieux-Rhône													Avt T			Apr T	
Pierre-Bénite	Ciselande	Apr T	Apr T				Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
	Jaricot	Apr T					Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Table-Ronde	Apr T			Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T		Apr T			
Péage-de-Roussillon	Sainte						Avt T				Avt T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Ilon						Avt T				Avt T		Avt T		Apr T		Apr T	
	Noyer Nord										Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Noyer Sud						Avt T				Avt T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Casier d'Arcoules						Avt T											
	Platière amont						Avt T								Apr T		Apr T	
	Boussarde								Avt T		Avt T		Avt T		Apr T		Apr T	
Montélimar	Roussette								Avt T		Avt T		Apr T		Apr T		Apr T	
Donzère-Mondragon	Bayard								Avt T		Avt T		Avt T					
	Caderousse								Avt T		Avt T		Avt T					
	Malaubert								Avt T		Avt T		Avt T					
	Grange écrasée								Avt T		Avt T		Avt T					
	Malatras								Apr T		Apr T		Apr T			Apr T		Apr T
	Joncs								Avt T		Avt T		Avt T					
	Carré								Avt T		Avt T		Avt T					
	République								Avt T		Avt T		Avt T					

Annexe 2.4

Secteur	Lône	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Belley	Béard	*1		*3		*		*		*	*2	*		*			
	Chantemerle		*			*		*		*	*2	*		*			
	En L'île (Yenne)	*1		*3		*		*		*	*2	*		*			
	Fournier	*1				*		*		*	*2	*		*			
	Lucey	*1				*		*		*	*2	*		*			
	Luisettes	*1				*		*		*	*2	*		*			
	Moiroud	*1					*		*		*	*2	*		*		
Brégnier-Cordon	Cerisier	*															
	Creux de Bleu	*					*		*		*					*	
	Dahomey	*															
	Dauphine								*								
	Eau Morte	*															
	Granges		*4				*		*		*					*	
	Mathan	*1					*		*		*					*	
	Molottes		*4				*		*		*					*	
	Morte de Brégnier	*															
	Morte de Glandieu	*							*							*	
	Mortier	*						*		*		*				*	
	Nappes	*			*					*		*				*	
	Plaine		*4					*		*		*				*	
	Ponton		*4					*		*		*				*	
	Rossillon	*						*		*		*				*	
	Sauge				*												
	Terres Basses	*															
Tonkin					*		*		*		*				*		
Vachon	*1						*		*	*	*	*			*		
Vieille Lône				*			*		*		*				*		
Miribel	lône Plançon											#	#	#		#	
	lône Grella											#	#	#		#	
	lône Vieux-Rhône											#	#	#		#	
	cours eau Rizan											#	#	#		#	
	étang LIB1											#	#	#		#	
	étang LIB2											#	#	#		#	

Annexe 2.4 (suite)

Secteur	Lône	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Péage de Roussillon	Boussarde					*5		*6		*		*			*		
	Ilon									*		*			*		
	Noyé Nord					*5						*			*		
	Noyé Sud												*		*		
	Platière					*5				*		*			*		
Saintes					*5				*		*	*		*	*		
Montélimar	Roussette							*		*		*	*	*		*	
Donzère-Mondragon	Bayard							*		*		*					(*)
	Caderousse							*		*		*					(*)
	Carré							*		*		*	*				(*)
	Grange Ecrasée							*		*		*		*			*
	Joncs							*		*		*					(*)
	Malatras							*		*		*	*				(*)
	Malaubert & Surelle							*		*		*		*			*
	République							*		*		*					(*)
	Lascombe											*	*	*	*		*
	Dames											*	*	*	*	*	*
	Dion											*	*	*	*	*	*
	Banc Rouge											*	*	*	*	*	*
	Désirade											*	*	*	*	*	*

* moyens UniGE

suivis invertébrés et odonates adultes

1 2003-04

2 suivi chasses 2012 Verbois

3 2005-06

4 2004-05

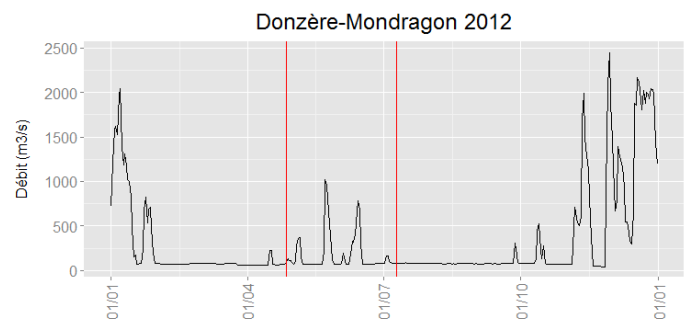
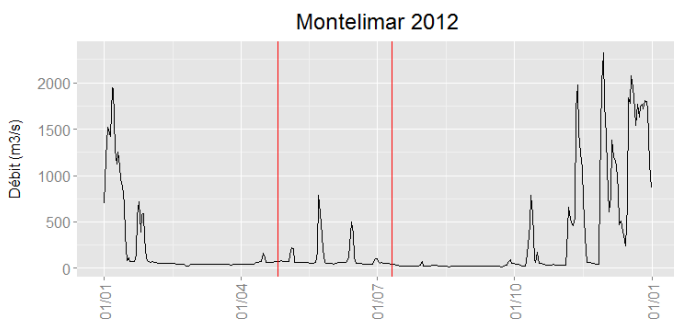
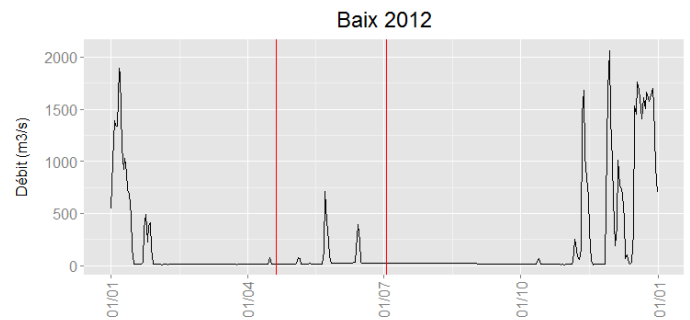
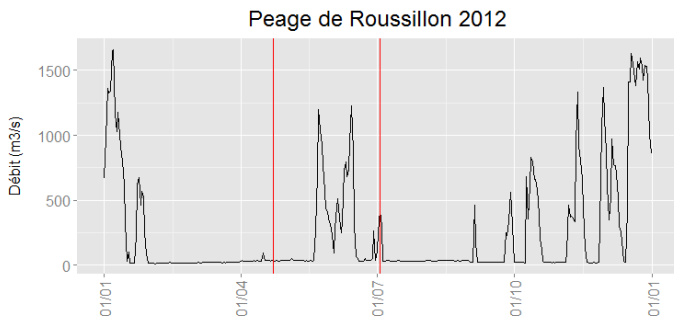
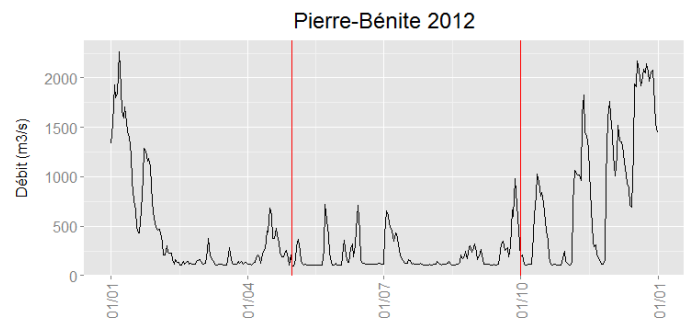
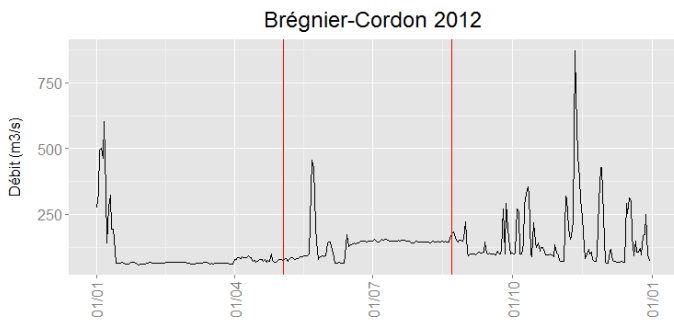
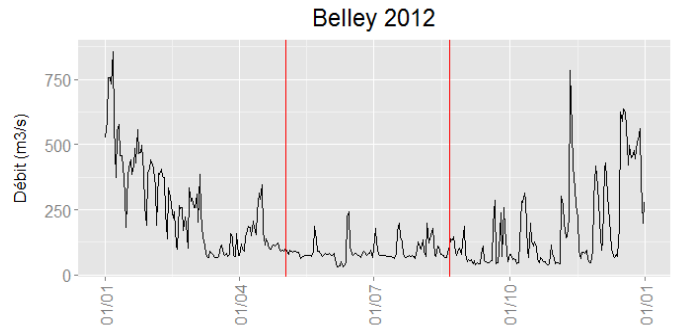
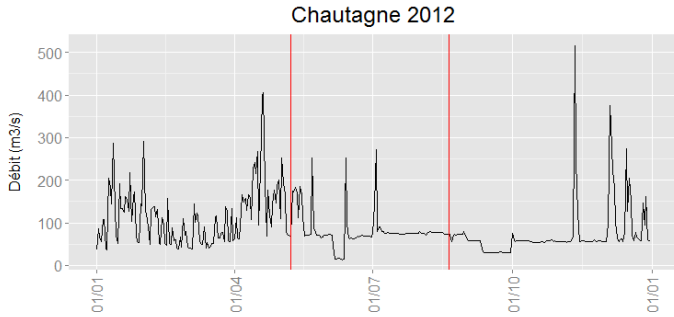
5 2007-08

6 2009-10

(*) Donzère post-restauration: lônes "témoins" non restaurées (3-4) à choisir; date à déterminer en fonction de la restauration effective des lônes

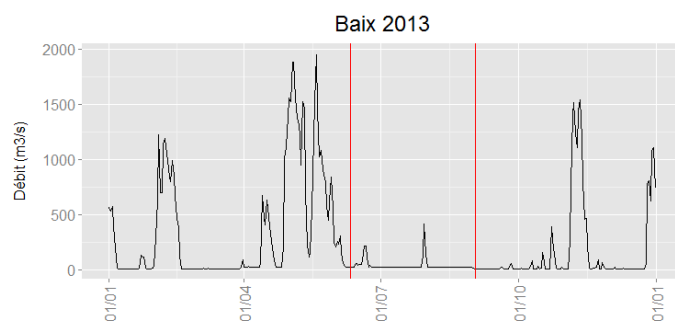
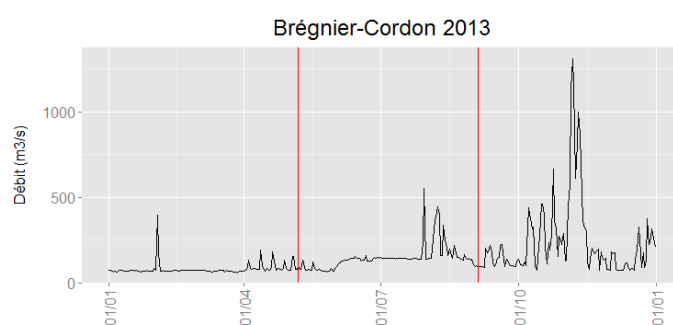
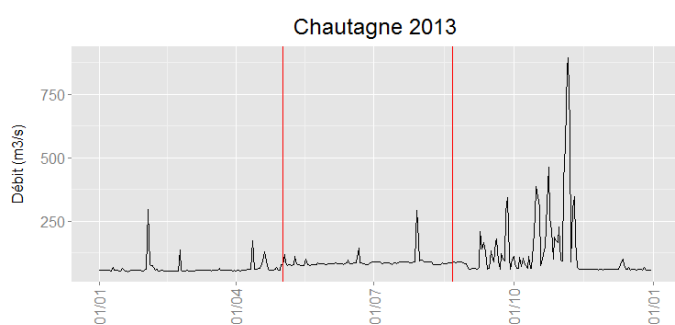
Annexe 3

Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages des macroinvertébrés des vieux-Rhône en 2012. Les campagnes d'échantillonnage sont signalées par les lignes verticales rouges.



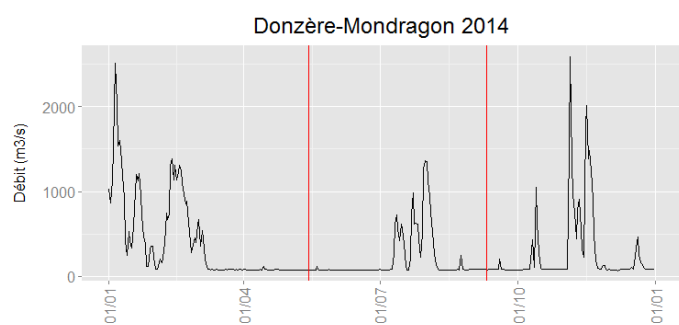
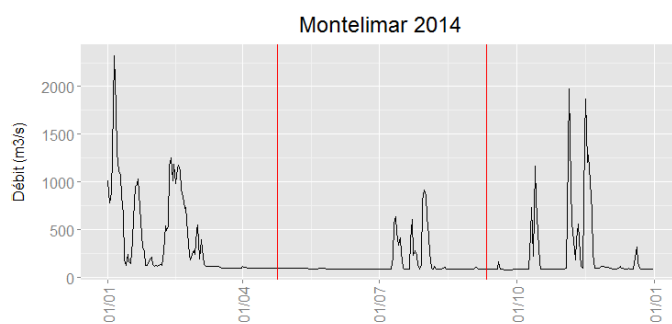
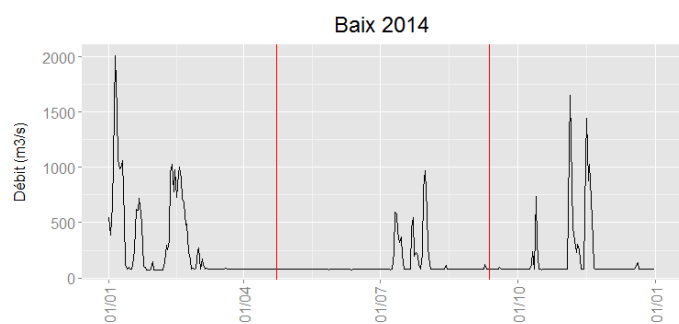
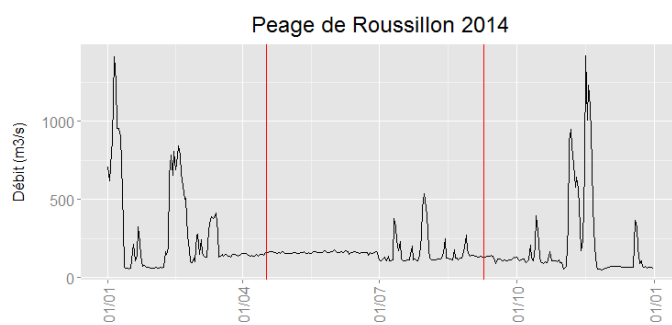
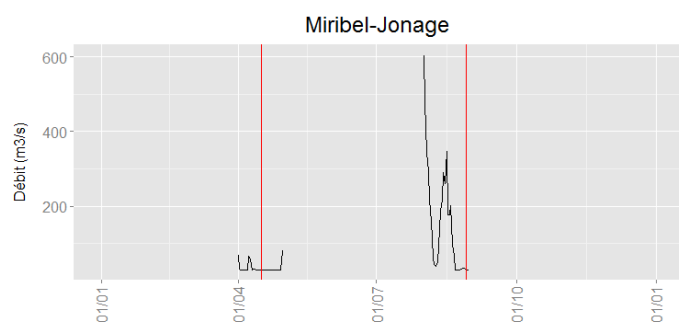
Annexe 4

Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages des macroinvertébrés des vieux-Rhône en 2013. Les campagnes d'échantillonnage sont signalées par les lignes verticales rouges. Chronique annuelle des débits non disponible pour le secteur de Belley.



Annexe 5

Contexte hydrologique des campagnes d'échantillonnages des macroinvertébrés des vieux-Rhône en 2014. Les campagnes d'échantillonnage sont signalées par les lignes verticales rouges. Pour le secteur de Miribel-Jonage, seules les données pour les mois d'avril et d'août sont disponibles.



Annexe 7

Densités (nombre d'individus/m²) d'espèces exogènes dans les 4 RCC du Bas-Rhône. Avec HR : Haut-Rhône ; BR : Bas-Rhône ; PB : Pierre-Bénite ; PR : Péage-de-Roussillon ; Mont : Montélimar et Donz : Donzère-Mondragon. Sources pour les premières observations : Frujet *et al.* 2003, Besacier-Monbertrand *et al.* 2010, et données récoltées dans le cadre du suivi scientifique. "? " : Donnée manquante. En bleu : campagne pré-restauration.

Espèces	Origine	1ère obs HR	1ère obs BR	Densités (N Indiv/m2)																																
				PB									PR				Mont		Donz																	
				n-6	n-5	n-3	n-2	n+1	n+2	n+3	n+7	n+9	n+11	n-7	n-4	n-3	n-2	n-6	n-3	n-5	n-3	n-2														
<i>Atyaephyra desmarestii</i>	Europe du sud		2000							1	0.5							1	7				2		2	2										
<i>Barbronia weberi</i>	Asie	2013	2011																13	4			1													
<i>Chelicorophium curvispinum</i>	Ponto-caspienne		2002							3		12	99	0.5				58	426	152	11		3	1		9	9									
<i>Chelicorophium sowinskyi</i>	Ponto-caspienne		2010											2	1					4	81					3	3									
<i>Chelicorophium curvispinum/sowinskyi</i>	Ponto-caspienne		2011																	830	329					3	44									
<i>Chelicorophium spp.</i>	Ponto-caspienne		2012												5						2			20		1	1									
<i>Corbicula fluminea</i>	Asie	1990	1993	33	61	19	53	45	20	10	4	5	5	5	310	95	105	87				15	27		22	50	15									
<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	Amérique du Nord		2004																																	
<i>Dikergammarus villosus</i>	Ponto-caspienne		2004							9	17	12	112	85	412	1527	2519	2054				655	3609		591	3679	3315									
<i>Dreissena polymorpha</i>	Ponto-caspienne	Après 1852	?	1	2		2	2	1	56	7	1			36	4	3	2				1	1		0.5	1	1									
<i>Dugesia tigrina</i>	Amérique du Nord	1968	?	4	5	29	55	9	36	12	7	2	2		78	12	5	11				25	17		1		12									
<i>Gammarus roeselii</i>	Europe centrale et de l'est		Avant 1985																				1			2										
<i>Gammarus tigrinus</i>	Amérique du Nord		1995			1	2			2		1		0.5		1		5	10			0.5				1	2.5									
<i>Gyraulus parvus</i>	Amérique du Nord		1994																1							1										
<i>Hemimysis anomala</i>	Ponto-caspienne		2010									0.5														1										
<i>Hypania invalida</i>	Ponto-caspienne		2008								1	14	30	8	88	130	441	598				91	356		113	724	295									
<i>Jaera istri</i>	Ponto-caspienne		2009									0.5	963	538					5781	13222	9191				4764	11058	11872									
<i>Limnomysis benedeni</i>	Ponto-caspienne		2010											0.5				5	10	8			3				1									
<i>Lithoglyphus naticoides</i>	Ponto-caspienne		1995	0.5						0.5						3																				
<i>Menetus dilatatus</i>	Amérique du Nord		2010	0.5			0.5			3								1	1	1						1										
<i>Mysidae spp.</i>	Ponto-caspienne		2010															7	3	2			5			1										
<i>Orconectes limosus</i>	Amérique du Nord	1976	Avant 1985			2				0.5																										
<i>Physella acuta</i>	Méditerranée/Amérique du Nord	1881	?		19	25				5			0.5		1	44	33	2					2		187	134										
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Nouvelle Zélande	1978	?		24	14	2	1	122	5	6	72	20		389	84	502	1175				216	720		214	818	138									
				Richesse en taxons exogènes														5	5	6	6	4	12	7	10	10	11	10	13	17	15	10	14	10	14	11

Annexe 8 : Liste des 64 taxa à Chautagne possédant un modèle de préférence hydraulique.

<u>Taxons</u>	<u>Guilde</u>
Athripsodes albifrons (L.)	Ubiquiste
Asellus aquaticus (L.)	Intermédiaire
Ancylus fluviatilis Müller	Rhéophile
Asellidae	Intermédiaire
Baetis spp.	Rhéophile
Baetis fuscatus (L.)	Ubiquiste
Baetis rhodani (Pictet)	Rhéophile
Baetis lutheri Müller-Liebenau	Rhéophile
Caenis spp.	Intermédiaire
Ceraclea dissimilis Stephens	Ubiquiste
Ceratopogoninae	Ubiquiste
Ceraclea spp.	Ubiquiste
Corbicula fluminea (Müller)	Ubiquiste
Chironomini	Intermédiaire
Caenis luctuosa (Burmeister)	Intermédiaire
Caenis rivulorum Eaton	Ubiquiste
Dendrocoelum lacteum (Müller)	Ubiquiste
Dreissena polymorpha (Pallas)	Rhéophile
Dugesia tigrina (Girard)	Rhéophile
Dugesia polychroa-lugubris (Schmidt)	Rhéophile
Elmis spp.	Rhéophile
Erpobdella octoculata (L.)	Ubiquiste
Esolus spp.	Rhéophile
Gammarus spp.	Ubiquiste
Glossosoma boltoni Curtis	Ubiquiste
Glossiphonia complanata (L.)	Ubiquiste
Gammarus fossarum Koch	Ubiquiste
Glossosoma spp.	Ubiquiste
Goeridae	Ubiquiste
Gammarus pulex (L.)	Ubiquiste
Hydropsyche contubernalis McLachlan	Rhéophile
Hydroptila spp.	Intermédiaire
Hemerodromiinae	Ubiquiste
Heptagenia spp.	Ubiquiste
Hydropsyche exocellata (Dufour)	Rhéophile
Hydropsyche incognita (Pitsch)	Rhéophile
Hydropsyche modesta Navas	Rhéophile
Hydropsyche siltalai Doehler	Rhéophile
Heptagenia sulphurea (Müller)	Rhéophile
Hydropsyche spp.	Rhéophile
Leuctra spp.	Rhéophile
Limoniidae	Ubiquiste
Limnius spp.	Rhéophile
Micronecta spp.	Limnophile
Orthocladiinae	Rhéophile
Orectochilus villosus (Müller)	Ubiquiste
Potamopyrgus antipodarum (Gray)	Intermédiaire
Polycentropus flavomaculatus (Pictet)	Limnophile
Physidae	Ubiquiste
Pisidium spp.	Intermédiaire
Potamanthus luteus (L.)	Rhéophile
Polycentropodidae	Limnophile
Polycelis nigra-tenuis (Müller)-Ijima	Intermédiaire
Psychomyia pusilla (Fabricius)	Ubiquiste
Rhithrogena spp.	Rhéophile
Rhyacophila s. stricto spp.	Rhéophile
Rhithrogena semicolorata (Curtis)	Rhéophile
Serratella ignita (Poda)	Ubiquiste
Simuliidae	Rhéophile
Sphaeriidae	Ubiquiste
Tanypodinae	Ubiquiste
Tanytarsini	Ubiquiste
Theodoxus fluviatilis (L.)	Rhéophile
Valvata spp.	Ubiquiste

Annexe 9 : liste des 53 taxa à Pierre-Bénite possédant un modèle de préférence hydraulique.

Taxons	Guilde
<i>Asellus aquaticus</i> (L.)	Intermédiaire
<i>Ancylus fluviatilis</i> Müller	Rhéophile
Asellidae	Intermédiaire
<i>Baetis</i> spp.	Rhéophile
<i>Baetis fuscatus</i> (L.)	Ubiquiste
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet)	Rhéophile
<i>Caenis</i> spp.	Intermédiaire
<i>Ceraclea dissimilis</i> Stephens	Ubiquiste
Ceratopogoninae	Ubiquiste
<i>Ceraclea</i> spp.	Ubiquiste
<i>Corbicula fluminea</i> (Müller)	Ubiquiste
Chironomini	Intermédiaire
<i>Caenis luctuosa</i> (Burmeister)	Intermédiaire
<i>Dendrocoelum lacteum</i> (Müller)	Ubiquiste
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas)	Rhéophile
<i>Dugesia tigrina</i> (Girard)	Rhéophile
<i>Dugesia polychroa-lugubris</i> (Schmidt)	Rhéophile
<i>Elmis</i> spp.	Rhéophile
<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)	Ubiquiste
<i>Esolus</i> spp.	Rhéophile
<i>Gammarus</i> spp.	Ubiquiste
<i>Glossiphonia complanata</i> (L.)	Ubiquiste
<i>Gammarus fossarum</i> Koch	Ubiquiste
<i>Gammarus pulex</i> (L.)	Ubiquiste
<i>Hydropsyche contubernalis</i> McLachlan	Rhéophile
<i>Hydroptila</i> spp.	Intermédiaire
Hemerodromiinae	Ubiquiste
<i>Hydropsyche exocellata</i> (Dufour)	Rhéophile
<i>Hydropsyche modesta</i> Navas	Rhéophile
<i>Hydropsyche siltalai</i> Doehler	Rhéophile
<i>Heptagenia sulphurea</i> (Müller)	Rhéophile
<i>Hydropsyche</i> spp.	Rhéophile
<i>Leuctra</i> spp.	Rhéophile
Limoniidae	Ubiquiste
<i>Limnius</i> spp.	Rhéophile
<i>Micronecta</i> spp.	Limnophile
Orthoclaadiinae	Rhéophile
<i>Oulimnius</i> spp.	Rhéophile
<i>Orectochilus villosus</i> (Müller)	Ubiquiste
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (Gray)	Intermédiaire
Physidae	Ubiquiste
<i>Potamanthus luteus</i> (L.)	Rhéophile
Polycentropodidae	Limnophile
<i>Polycelis nigra-tenuis</i> (Müller)-Ijima	Intermédiaire
<i>Psychomyia pusilla</i> (Fabricius)	Ubiquiste
<i>Rhyacophila s. stricto</i> spp.	Rhéophile
<i>Serratella ignita</i> (Poda)	Ubiquiste
Simuliidae	Rhéophile
Sphaeriidae	Ubiquiste
Tanypodinae	Ubiquiste
Tanytarsini	Ubiquiste
<i>Theodoxus fluviatilis</i> (L.)	Rhéophile
Valvata spp.	Ubiquiste