



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

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Olga Béguin, Anne-Laure Besacier-Monbertrand, Emmanuel Castella, Sylvain Dolédec, Maxence Forcellini, Dorothea Hug Peter, Hélène Mayor-Siméant, David McCrae, et al.

► To cite this version:

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Olga Béguin, Anne-Laure Besacier-Monbertrand, Emmanuel Castella, et al.. Suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve. Synthèse 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. hal-02606651v2

HAL Id: hal-02606651

<https://hal.inrae.fr/hal-02606651v2>

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.



Suivi scientifique du programme de restauration
hydraulique et écologique du Rhône

Un observatoire dynamique de l'état écologique
du fleuve

Synthèse
(2014)



Ont contribué à la rédaction de ce rapport :

Jean-Michel Olivier, Sylvain Dolédec, Sylvie Méricoux, UMR CNRS 5023 Lyon

Nicolas Lamouroux, Maxence Forcellini, Irstea Lyon

Jérémy Riquier, Hervé Piégay, Lise Vaudor, UMR CNRS 5600 Lyon

Emmanuel Castella, Olga Béguin, Anne-Laure Besacier-Monbertrand, Dorothea Hug Peter, Hélène Mayor, David McCrae, Amael Paillex., Institut F.A. Forel & Institut des Sciences de l'Environnement, Section des Sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Genève.

Coordination générale : J.M. Olivier & N. Lamouroux

1 Introduction – Originalité internationale de la restauration du Rhône

Le programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône français, objet de ce rapport, a été lancé officiellement en 1998 suite à une combinaison d'initiatives locales, régionales et nationales. Intégré en 2007 dans le cadre du "Plan Rhône", le programme combine l'augmentation des débits réservés dans les vieux-Rhône (tronçons court-circuités par les aménagements hydroélectriques) et la restauration de la connectivité latérale au sein des chenaux annexes de la plaine alluviale (les lônes). Il concerne aussi l'amélioration des voies migratoires piscicoles (alose, anguille, lamproies), problématique non traitée ici.

La restauration du Rhône s'inscrit dans une dynamique de restauration physique des grands cours d'eau à l'échelle internationale, suite aux altérations écologiques dues aux modifications des régimes hydrologiques et à l'atterrissement des plaines alluviales (Tockner et Stanford, 2002 ; Carlisle *et al.*, 2011). Alors que les budgets dévolus à la restauration des cours d'eau sont importants et en constante augmentation, il reste extrêmement difficile de tirer des leçons générales des expériences de restauration. Par exemple, une synthèse récente des 113 principales expériences de restauration de débits dans 20 pays différents montre que ces expériences sont peu comparables entre elles (Olden *et al.*, 2014), la plupart correspondent à des mesures de restauration ponctuelles et évaluent la réponse d'un unique groupe biologique, et moins de 20% rapportent des données hydrauliques ou thermiques.

La restauration du Rhône possède des caractéristiques uniques à l'échelle internationale. En effet, le programme a concerné plusieurs tronçons du fleuve et de multiples bras alluviaux, les mesures de restauration physique ont parfois été de grande ampleur, de nombreuses données biologiques (poissons, invertébrés) pré-restauration ont été mobilisées, les caractéristiques physiques des sites sont bien connues et le suivi scientifique des effets de la restauration a pu être coordonné entre sites et pérennisé.

Cette situation originale permet l'évaluation des effets écologiques de la restauration mais également de tester la capacité prédictive de modèles éco-hydrologiques (faisabilité d'approches coûts – bénéfices). Les modèles testés et validés sur le Rhône sont génériques car ils peuvent s'appliquer à d'autres cours d'eau. Ainsi, l'expérience de la restauration du Rhône contribue à fournir des outils quantitatifs pour prédire les effets écologiques d'autres opérations de restauration. Un numéro spécial de la revue "Freshwater Biology" est en cours de finition (Lamouroux *et al.*, soumis) pour mettre à disposition les résultats des tests prédictifs ainsi qu'un certain nombre de leçons, notamment en terme d'optimisation des protocoles de suivis ou de décodage des processus sociaux accompagnant la restauration (Barthélémy & Armani, sous presse). Le cas du Rhône devrait également illustrer les démarches européennes concernant la gestion écologique des régimes hydrologiques ("e-flow" guidance, en cours d'écriture).

2 La restauration hydraulique et écologique du Rhône.

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 de redonner au fleuve un aspect plus courant et d'améliorer la diversité des habitats physiques dans la plaine alluviale aménagée, à l'échelle des lônes et des vieux-Rhône. Huit secteurs prioritaires ont été initialement sélectionnés en raison des fortes potentialités écologiques (Fig. 1), d'autres secteurs sont maintenant concernés du fait de l'augmentation générale des débits réservés au 1^{er} Janvier 2014 (Loi sur L'eau de 2006). Ce rapport concerne les huit sites initiaux et celui de Baix-le-Logis-Neuf en raison des enjeux écologiques importants suite à l'augmentation du débit réservé.

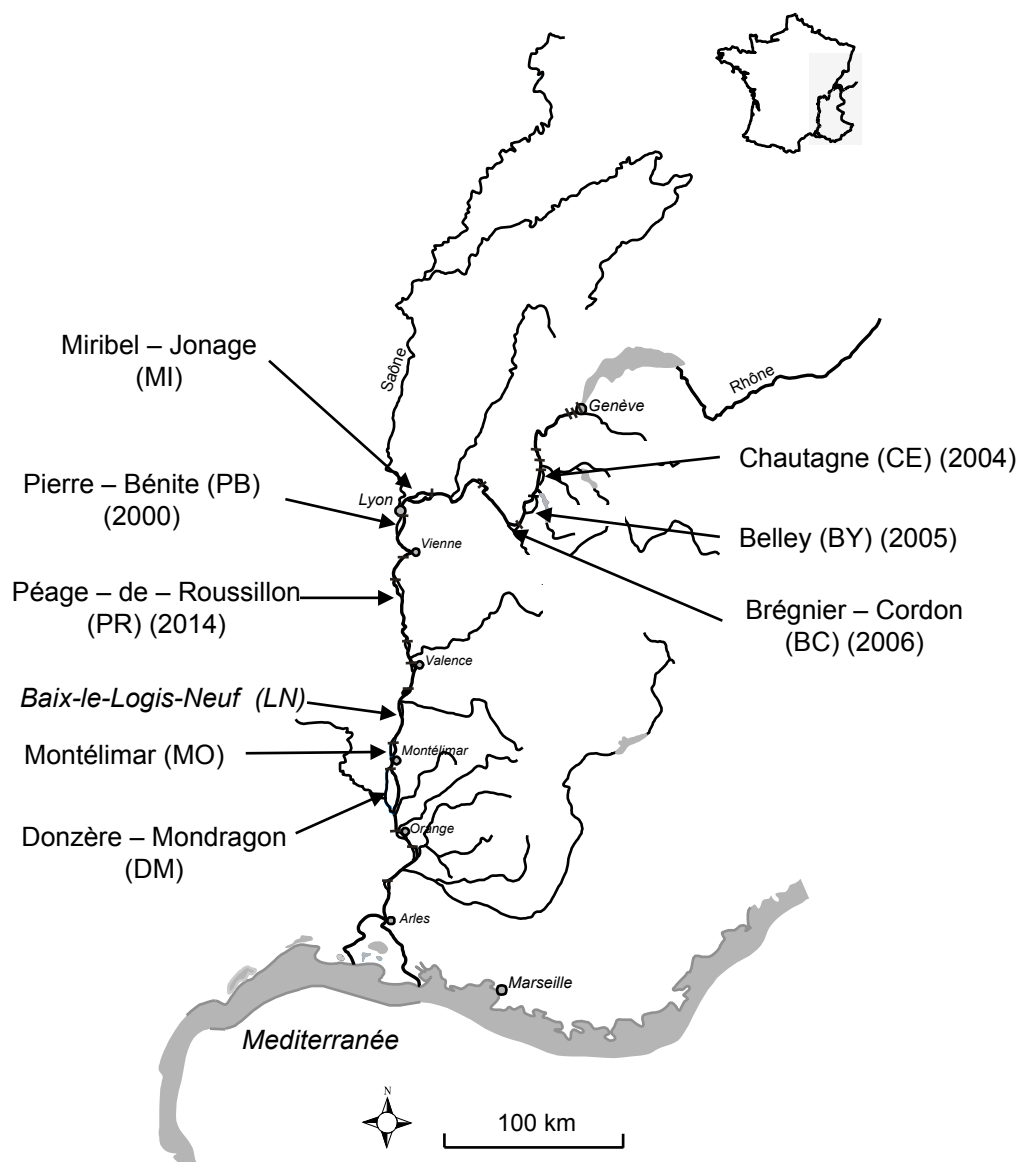


Fig. 1 – Le Rhône, identification des secteurs prioritaires (le secteur de Baix-le-Logis-Neuf figure sur la carte en raison des enjeux importants de la restauration dans ce secteur), les années de restauration sont indiquées. Les débits réservés ont été augmentés le 1^{er} janvier 2014 à Péage-de-Roussillon, Baix-le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère dans le cadre de la mise en application de la Loi sur l'Eau et les Milieux aquatiques.



Illustrations – Vieux-Rhône de Chautagne avant (a) et après (b) augmentation du débit réservé (20 et 70 m³.s⁻¹ respectivement); travaux de creusement de la Lône Vachon (c) et dragage dans la Lône Moiroud (d), Lône Mathan (e,f) et Lône des Molottes (g, h) avant (e, g) gauche) et après restauration (f, h).

La restauration a débuté sur le vieux-Rhône de Pierre-Bénite (long. 9,8 km), où 3 lônes ont été restaurées en 1999 et le débit réservé à l'aval du barrage a été augmenté de 10 m³.s⁻¹ (en hiver) à 100 m³.s⁻¹ en 2000. Les secteurs de Chautagne (en 2004), Belley (en 2005) et Brégnier-Cordon (en 2006) ont ensuite été restaurés avec des changements de débits moins marqués (Tableau 1). A Brégnier-Cordon, le changement de débit minimum n'a concerné que l'amont de la confluence du Guiers (passage de 25 m³.s⁻¹ à 65 m³.s⁻¹). Les autres sites ont suivi au 1^{er} janvier 2014. À Péage-de-Roussillon, pour répondre à des objectifs écologiques particuliers (privilégier les espèces de grèves le long des bancs de galets, favoriser la forêt alluviale, ...), des modulations saisonnières importantes ont été définies (Tableau 1).

D'un point de vue hydraulique, les augmentations de débits réservés se traduisent par des augmentations de hauteurs et profondeurs moyennes importantes. Par exemple, les valeurs de largeurs et de profondeurs moyennes à Pierre-Bénite sont passées de 101/1,3 m (Q 10 m³.s⁻¹)

à 127/2,2 m ($Q\ 100\ m^3.s^{-1}$), en Chautagne elles sont passées de 49/0.5 m ($Q\ 10\ m^3.s^{-1}$) à 69/0.9 m ($Q\ 50\ m^3.s^{-1}$). À Pierre-Bénite, la vitesse d'écoulement moyenne est passée de ~ 0.08 à $\sim 0.36\ m.s^{-1}$, en Chautagne, elle est passée de ~ 0.39 à $\sim 0.84\ m.s^{-1}$.

Tableau 1. Valeurs de débits réservés avant et après restauration dans les vieux-Rhône des 8 sites prioritaires du programme de restauration du Rhône.

Secteur	Débit moyen annuel m3/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

Tableau 2. Lônes restaurées entre 1999 et 2013 et modalités de restauration mises en œuvre. Sur certaines lônes, des améliorations mineures ont été apportées : (1) abaissement du gué, (2) dragage local, (3) amélioration de la connexion en aval. * le degré de connexion en aval de la Lône de la Sainte dépend du débit du Rhône.

Secteur	Lône	Année de restauration	Type de restauration					Type de connectivité	
			Dragage creusement	Reconnexion amont	Reconnexion aval	Améliorations mineures	Augmentation débit réservé	avant	après
Chautagne	Malourdie	2004	x	-	x	-	x	aucune	aval
Chautagne	Brotalet	2004	x	-	-	-	x	aval	aval
Belley	Anse de Chanaz	2005	x	-	-	-	x	amont-aval	amont-aval
Belley	Luisettes	2005	x	-	-	-	x	aval	aval
Belley	Moiroud	2005	x	-	-	-	x	aval	aval
Belley	Fournier	2005	x	-	-	-	x	aval	aval
Belley	Béard	2005	x	-	x	-	x	aucune	(aval)
Belley	Orgeval	2005	x	-	x	-	x	aucune	aval
Belley	Lucey	2005	-	-	-	(1)	x	amont-aval	amont-aval
Belley	Anse de Yenne	2005	x	x	-	-	x	aucune	amont-aval
Belley	Virignin	2005	x	-	-	-	x	aval	aval
Belley	Chantemerle	1989/1993/2003	x	-	-	-	-	(amont)-aval	(amont)-aval
Brégnier-Cordon	Granges	2006	x	-	-	-	x	aucune	aval
Brégnier-Cordon	Vachon	2006	x	x	-	-	x	aval	amont-aval
Brégnier-Cordon	Cerisiers	2006	(x)	-	-	(2)	-	(amont)-aval	(amont)-aval
Brégnier-Cordon	Mathan	2006	x	x	x	-	-	aucune	amont-aval
Brégnier-Cordon	Molottes	2006	x	-	x	-	-	aucune	aval
Brégnier-Cordon	Ponton	2006	x	-	x	-	-	aucune	aval
Brégnier-Cordon	Islon	2006	x	x	-	-	-	aval	amont-aval
Brégnier-Cordon	Sables	2006	x	-	-	(3)	-	aval	aval
Brégnier-Cordon	Marquisat & Colonnas	2006	x	x	-	-	-	aval	amont-aval
Pierre-Bénite	Ciselande	1999-2000	x	x	x	-	x	aucune	amont-aval
Pierre-Bénite	Jaricot	1999-2000	x	-	x	-	x	aucune	aval
Pierre-Bénite	Table-Ronde	1999-2000	x	-	x	-	x	aucune	aval
Péage de Roussillon	Lône du Noyer Sud	2013	x	x	x	-	-	aucune	amont-aval
Péage de Roussillon	Lône de la Sainte	2013	x	-	x	-	-	aval*	aval
Montélimar	Lône de la Roussette	2013	x	-	-	-	-	aval	aval

Entre 1999 et 2013, 21 lônes ont été réhabilitées sur les 3 secteurs du Haut-Rhône, ainsi que 3 à Pierre-Bénite, 2 à Péage-de-Roussillon et 1 à Montélimar (Tableau 2). Les modalités de réhabilitation des lônes (annexe 1) dépendent à la fois de l'objectif global de diversité, des objectifs déclinés à l'échelle locale et de l'état de ces milieux avant restauration, certains étant quasiment atterris. La majorité des lônes ont été creusées (dragages), certains bras ont été partiellement reconnectés au chenal (généralement par l'aval), d'autres complètement (voir tableau en annexe 1 pour les caractéristiques des lônes restaurées). L'augmentation du débit réservé peut avoir une influence directe sur ce degré de connexion. Au total, la connexion avec le chenal principal a été modifiée sur 12 des 27 lônes restaurées. Les procédures de restauration physique ont eu pour objectif essentiel de restaurer des formes

en eau plutôt que des processus (restauration de la dynamique sédimentaire par exemple) même si les opérations de restauration modifient et influencent les processus.

3 Suivi scientifique des sites restaurés et évaluation des effets de la restauration

L'effet des augmentations de débit réservé dans les vieux-Rhône est mesuré par l'analyse des modifications des structures des communautés de poissons et de macroinvertébrés benthiques. L'approche retenue pour détecter et évaluer les effets des augmentations de débits réservés dans les vieux-Rhône repose sur une description des changements des caractéristiques physiques de l'habitat. Les changements en fonction des valeurs de débit sont prédits avec des modèles hydrauliques statistiques simples qui décrivent les fréquences de distribution de variables ayant une influence forte sur la distribution des organismes aquatiques : les contraintes au fond (shear stress) pour les macroinvertébrés benthiques, et la vitesse de courant et la profondeur pour les poissons. Des modèles de préférence des invertébrés et des poissons vis-à-vis de ces variables sont couplés à ces modèles hydrauliques pour estimer les modifications de densités des organismes liées aux changements de valeurs de débit réservés. Cette démarche permet d'identifier des espèces (ou des taxons) dont les densités peuvent varier, en augmentant ou en diminuant, de manière significative en réponse aux augmentations de débits réservés.

Le suivi des caractéristiques morpho-sédimentaires des lônes permet de comprendre l'organisation spatiale des différents types habitats au sein des bras restaurés, mais aussi de décrire la dynamique et mesurer les taux de comblement des annexes fluviales restaurées afin d'estimer leur durée de vie potentielle. Le suivi du compartiment biologique porte ici sur les macrophytes aquatiques, les macroinvertébrés et les poissons. La méthodologie employée pour les suivis est décrite dans l'annexe 2 ainsi que le détail des campagnes d'échantillonnage réalisées aux sites choisis (annexe 3).

Dans tous les cas, la significativité des changements mesurés est d'autant plus importante que la qualité de la description de la variabilité temporelle des variables biologiques utilisées est bien prise en compte, aussi bien avant restauration qu'après. Les stratégies d'échantillonnage ont donc été optimisées en prenant en compte cette exigence et le coût du suivi. Ainsi, l'analyse de l'effet des augmentations du débit réservé dans les vieux-Rhône a pu bénéficier sur certains secteurs de l'existence de données acquises durant plus de 20 ans avant la restauration (jusqu'à 133 campagnes d'échantillonnage des poissons avant restauration à Péage-de-Roussillon et jusqu'à 8 campagnes d'échantillonnage des macroinvertébrés à Pierre-Bénite et à Péage-de-Roussillon). L'ensemble des données est maintenant bancarisé et public (<http://restaurationrhone.univ-lyon1.fr>).

4 Synthèse des résultats et pérennité des actions

Les effets des augmentations de débits réservés dans les vieux-Rhône et de la réhabilitation physique des lônes sont présentés séparément bien que ces deux aspects soient très complémentaires, le degré de connexion hydrologique (connectivité latérale) étant un

facteur clef de l'évolution morpho-sédimentaire des bras restaurés, de la structuration et de l'évolution des biocénoses dans les lônes et dans le chenal.

4.1 Effets des modifications de débits réservés dans les chenaux principaux

Les peuplements aquatiques des vieux-Rhône sont influencés au-delà de la restauration physique par les changements d'hydrologie, de température et la construction plus ou moins récente des barrages. Malgré l'influence de ces contraintes multiples, l'analyse globale des données biologiques de l'ensemble des sites courants du fleuve, restaurés ou non montre que la restauration des débits réservés dans les vieux-Rhône a induit des modifications très significatives en termes d'abondances relatives et absolues des espèces de poissons ou de macroinvertébrés (Fig. 2 et Fig. 3). Ces changements sont plus ou moins importants selon les sites et dépendent notamment de l'ampleur des changements de débits.

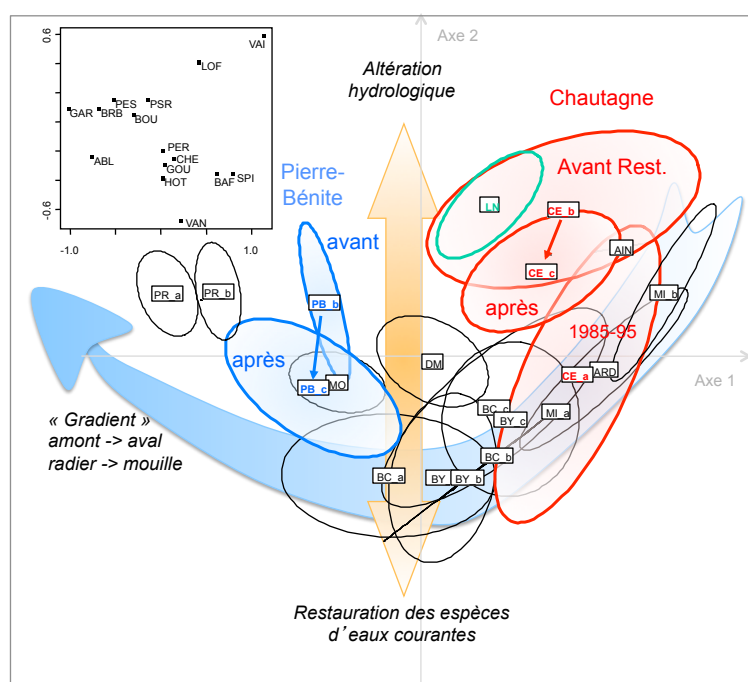


Fig. 2 – Analyse multivariée des peuplements de poissons (38 espèces) sur l'ensemble des vieux-Rhône suivis, restaurés ou non (image synthétique de la structure spatio-temporelle des peuplements sur le plan factoriel des 2 premiers axes d'une ACP sur les log-proportions des espèces par site $\times$ période). Pour chaque vieux-Rhône (ex : CE pour Chautagne), les notations CE_a, CE_b et CE_c sont des périodes, a : anciennes, b : les 8 ans avant restauration et c : après restauration (cf. annexe 4 pour la définition exacte de tous les sites et toutes les périodes). L'insert montre les coordonnées factorielles des espèces (cf. codes en annexe 4).

Les peuplements de poissons (Fig. 2) se structurent en premier lieu selon un gradient Haut-Rhône – Bas-Rhône (axe 1 de l'analyse, flèche bleue) prenant en compte le caractère plus ou moins lotique et les conditions thermiques des secteurs. Ainsi, le peuplement du vieux-Rhône de Donzère se rapproche de celui des vieux-Rhône de l'amont de Lyon, sans doute à cause d'une forte proportion de radiers dans ce tronçon court-circuité (Fig. 2). Les proportions des espèces typiques des radiers (barbeau, spirin, loche franche et vairon) influencent cet axe. C'est sur le second axe de l'analyse (vertical, flèche jaune) que se voit l'effet de la restauration. La restauration a favorisé des espèces d'eaux courantes (groupe d'espèces typiques des grands fleuves, préférant à la fois les habitats courants et profonds : vandoise, hotu, barbeau, toxostome, ablette, ombre commun) au moins en Chautagne et à

Pierre-Bénite. En Chautagne, la restauration a inversé une forte altération observée après la construction des barrages (période 1980-1995).

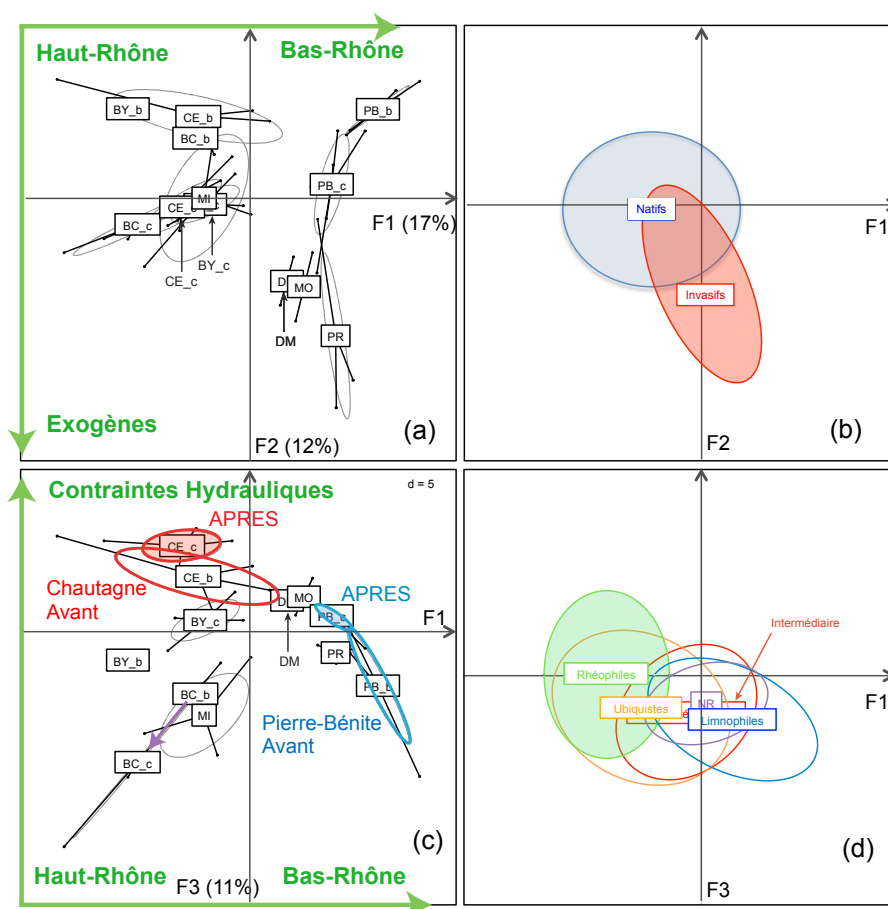


Fig. 3 – Analyse multivariée des peuplements d'invertébrés (100 taxons les plus abondants, cf. annexe 5) sur l'ensemble des vieux-Rhône suivis, restaurés ou non (ACP normée sur les log-densité des taxons, par site $\times$ période, image synthétique de la structure spatio-temporelle des peuplements sur le plan F1xF2 en haut, et sur le plan F1xF3 en bas). Les graphes de droite montrent les coordonnées des taxons, regroupés au sein d'ellipses suivant leur origine géographique (Natifs, Invasifs) ou leur degré de rhéophilie (Rhéophiles, Limnophiles, Ubiquistes, Intermédiaire et Non Renseignés, voir détails dans l'annexe 2). Les codes des sites $\times$ périodes sont les mêmes que pour la Figure 2. La liste des taxons et la carte factorielle des taxons sont disponibles dans l'annexe 5.

L'analyse des peuplements de macroinvertébrés benthiques (Fig. 3) met également en évidence une séparation nette entre les peuplements du Haut-Rhône et ceux du Bas-Rhône (sur l'axe 1 de l'analyse, Fig. 3a), les secteurs du Haut-Rhône étant caractérisés par des communautés de macroinvertébrés généralement plus rhéophiles (Fig. 3d).

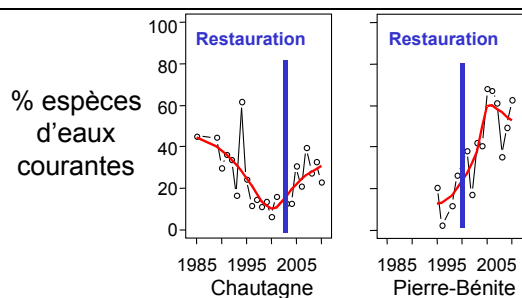


Fig. 4 – Evolution de la proportion des poissons "d'eau courante" dans les vieux-Rhône au cours du temps.

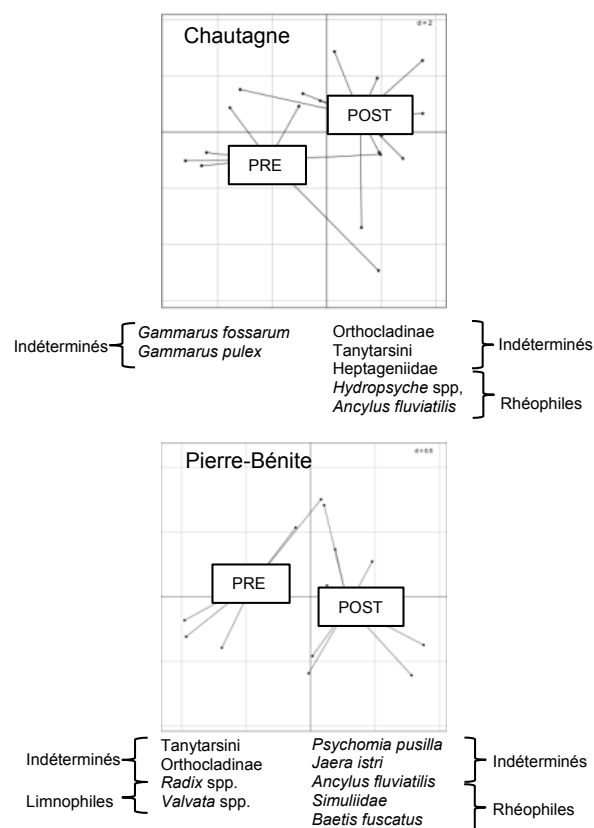


Fig. 5 – Une analyse séparée (ACP sur les log-abondances) des communautés d'invertébrés à Chautagne et Pierre-Bénite discrimine fortement les situations avant et après restauration, sous l'effet combiné de taxons rhéophiles et exogènes.

Pierre-Bénite et Chautagne : deux vieux-Rhône où les changements physiques sont les plus importants.

Les changements qui sous-tendent les analyses globales ci-dessous sont des modifications importantes d'abondance relative des espèces. Pour les poissons, la proportion d'espèces d'eaux courantes est passée de 15% à 44% à Pierre-Bénite et de 10% à 23% à Chautagne (Fig. 4). A Chautagne, une tendance d'augmentation des espèces de petits cours d'eau (ex : loche franche, vairon) observée depuis la construction des barrages est inversée.

Pour les invertébrés, des augmentations des proportions des taxons rhéophiles sont visibles dans les deux sites (Fig.5). Certains taxons (Chautagne : *Ancyclus fluviatilis* et *Heptageniidae* spp, Pierre-Bénite : *Ancyclus fluviatilis* et *Simuliidae*), ont vu leurs abondances multipliées par des facteurs de 5 à 11. Des taxons limnophiles (Chautagne : *Polycentropodidae*, Pierre-Bénite : *Helobdella stagnalis*) ont des abondances divisées par 6 et 34. Les changements impliquent également des groupes mal déterminés (ex : chironomes) et des taxons dont le codage des préférences hydrauliques (rhéophiles / limnophiles) demanderait à être confirmé pour améliorer l'interprétation.

Les changements avant/après restauration combinent une augmentation des espèces exogènes (discriminées sur l'axe 2, Fig. 3b) et de certaines espèces rhéophiles (axe 3) sur les secteurs de Chautagne, Belley et Pierre-Bénite. Les arrivées récentes d'espèces exogènes (*Dikerogammarus villosus*, *Hypania invalida*,...) ont coïncidé avec les opérations de restauration sans que ces deux phénomènes soient directement liés. En revanche, l'augmentation du caractère rhéophile peut être attribué à la restauration. Ainsi, comme pour les poissons, l'effet de la restauration est visible à l'échelle du fleuve malgré l'influence d'autres facteurs structurants (Fig. 3c).

4.2 Restauration des lônes et diversité de la plaine alluviale

Quatre types de patrons sédimentaires dans les lônes restaurées, stables dans le temps

L'analyse post-restauration des données de granulométrie des sédiments échantillonnés dans les lônes a permis d'identifier quatre principaux types de patrons granulométriques mettant en exergue différentes modalités de sédimentation (dépôts par décantation et dépôts « en vrac »). L'hydrologie (la fréquence de connexion amont) et l'intensité des forces hydrauliques développées au sein des bras lors des crues (forces maximales enregistrées sur le fond des bras) conditionnent les processus d'érosion-dépôt et les classes granulométriques dominantes des dépôts de fines à l'échelle de chaque bras (Fig. 6). Les chenaux de type 1 sont des bras à lit graveleux pouvant présenter des plaques sporadiques de sables voire parfois de limons. Les bras de types 2 et 3 constituent des cas intermédiaires présentant des taux de recouvrement de leur fond par les fines similaires. Les bras de type 2 enregistrent des dépôts plutôt sablo-limoneux, alors que ceux des bras de type 3 s'inscrivent dans une gamme plutôt limono-sableuse. Les bras de type 4 sont, quant à eux, totalement recouverts par des dépôts limoneux.

Après restauration, l'essentiel de la variabilité temporelle de ces patrons sédimentaires est imputable à des changements de gradients granulométriques longitudinaux, sans pour autant qu'il y ait changement de type. Ceci indique que la distribution granulométrique longitudinale des dépôts est modifiée épisodiquement lors des crues (retours d'eau et débordement amont) sans toutefois remettre en cause les types sédimentaires définis précédemment. Ces types sont par conséquent robustes dans le temps et une diversité locale de ces différents types est un bon indicateur de la diversité des conditions fonctionnelles des lônes restaurées.

Sur les 18 bras étudiés, des données pré-restauration sont disponibles pour 12 d'entre-eux (Fig. 6). D'une manière générale, les travaux ont avant tout rajeuni les formes sans pour autant modifier le fonctionnement hydrosédimentaire des bras. Ainsi, la plupart des bras présente des conditions granulométriques post-travaux très proches de celles observées avant restauration. Seuls trois bras présentent un changement significatif de type sédimentaire suite aux travaux de restauration (Luisettes, Granges et Mathan). Le recreusement et la reconnection de la Lône Mathan (chenal perché quasiment atterri avant restauration) a mis à nu les sédiments grossiers (galets) et l'écoulement permanent qui y transite à présent permet de fortement limiter les dépôts de fines. Le curage de la Lône des Luisettes et de la Lône des Granges (bras perchés et essentiellement graveleux avant travaux) a modifié leurs conditions hydrodynamiques internes, favorisant localement leur capacité de piégeage des alluvions fines. On observe également un changement de type de patron granulométrique sur la Lône Moiroud qui reste peu significatif car essentiellement imputable à la présence de dépôts sableux très localisés qui n'avaient pas été observés avant restauration.

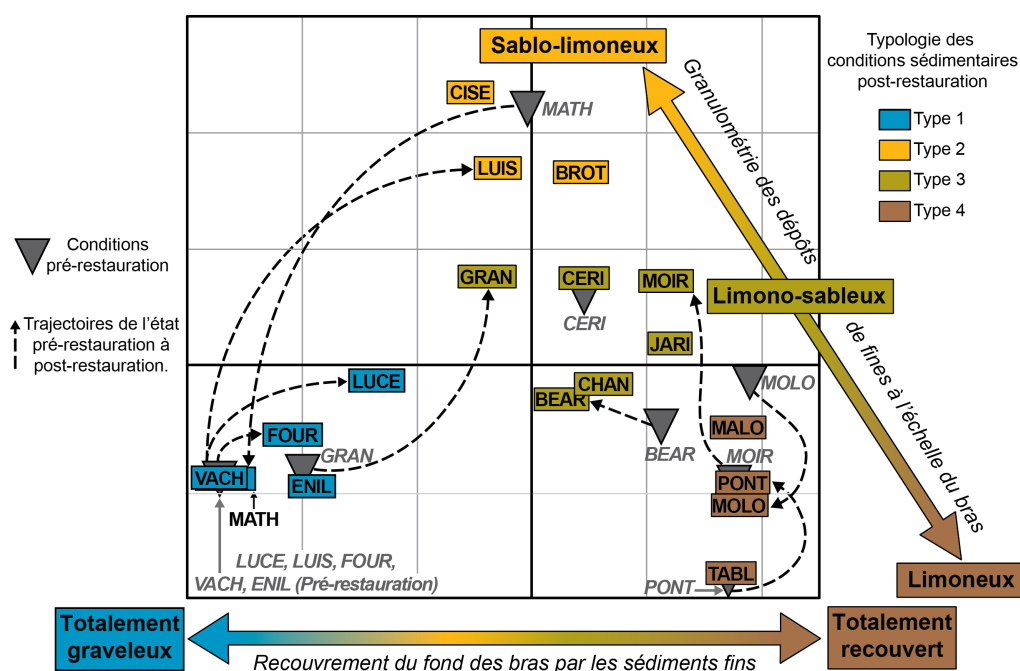


Fig. 6 – Typologie des conditions sédimentaires moyennes mesurées après travaux dans les bras restaurés du Haut-Rhône et de Pierre-Bénite intégrés au suivi sédimentaire (Analyse en Composantes Principales inter-lônes). Les sites sont principalement ordonnés selon les caractéristiques granulométriques des dépôts sédimentaires et du taux de recouvrement de leur fond par les sédiments fins. Les flèches en pointillés indiquent les trajectoires post-restauration des lônes (Riquier et al., 2014).

Vers une gestion quantitative des sédiments et des habitats dans les lônes

Deux variables quantitatives jouant un rôle primordial dans l'évolution post-restauration des caractéristiques géomorphologiques des lônes ont donc été identifiées grâce au suivi réalisé : la fréquence des évènements débordants à l'amont et l'intensité des débordements (contraintes de cisaillement maximales exercée sur le lit), les deux n'étant d'ailleurs pas forcément liés (Fig. 7). Les différentes combinaisons des valeurs prises par ces variables déterminent les conditions sédimentaires observées au sein des lônes. Le fait de pouvoir relier les conditions granulométriques à ces variables explicatives quantifiables constitue un acquis important. En effet, il devient alors possible, lors de la définition des objectifs de restauration, de déterminer relativement précisément les caractéristiques des types de bras (conditions granulométriques) en fonction de leurs modalités de fonctionnement hydrologique après restauration. Différents scénarios peuvent alors être envisagés en ciblant des géométries pré-existantes se rapprochant de tel ou tel type afin de sélectionner les bras à restaurer selon leur potentiel hydro-sédimentaire, ou encore en choisissant d'agir sur la géométrie des bras pour modifier ces variables en accord avec les objectifs de restauration, notamment en jouant sur les modalités de connexion amont avec le chenal vif.

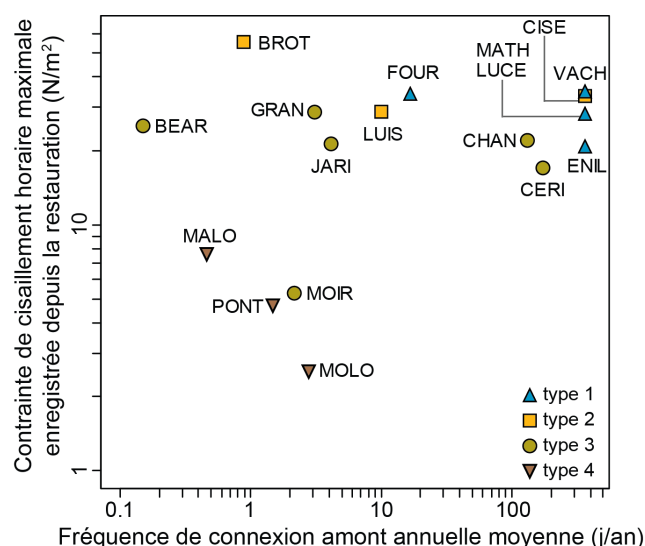


Fig. 7 – Caractérisation du régime de connectivité des bras restaurés en crue. Les couleurs se réfèrent aux types de conditions sédimentaires post-restauration décrits précédemment. Riquier *et al.* (2014)

Ces descripteurs quantitatifs des caractéristiques de l'écoulement en crue n'ayant été disponibles que très récemment, les biologistes (Castella *et al.*, soumis) ont jusqu'ici estimé le degré de connectivité hydrologique des stations suivies à partir de variables environnementales mesurées *in situ* et permettant le calcul d'un indice de connectivité indirect. Cet indice est utilisé par les biologistes pour modéliser la composition et la richesse des peuplements des annexes fluviales (Fig. 8). Il est également prévisible à partir des deux variables quantitatives sus-citées (Fig. 9). Il devient donc envisageable de mettre en relation les caractéristiques des peuplements de macroinvertébrés dans les lônes restaurées avec des variables physiques quantifiant leur connectivité hydrologique. Les retours d'expérience issus des suivis des peuplements d'invertébrés après restauration peuvent constituer une importante base de connaissances mobilisable dans le cadre de la définition des objectifs écologiques pour de futures lônes à restaurer.

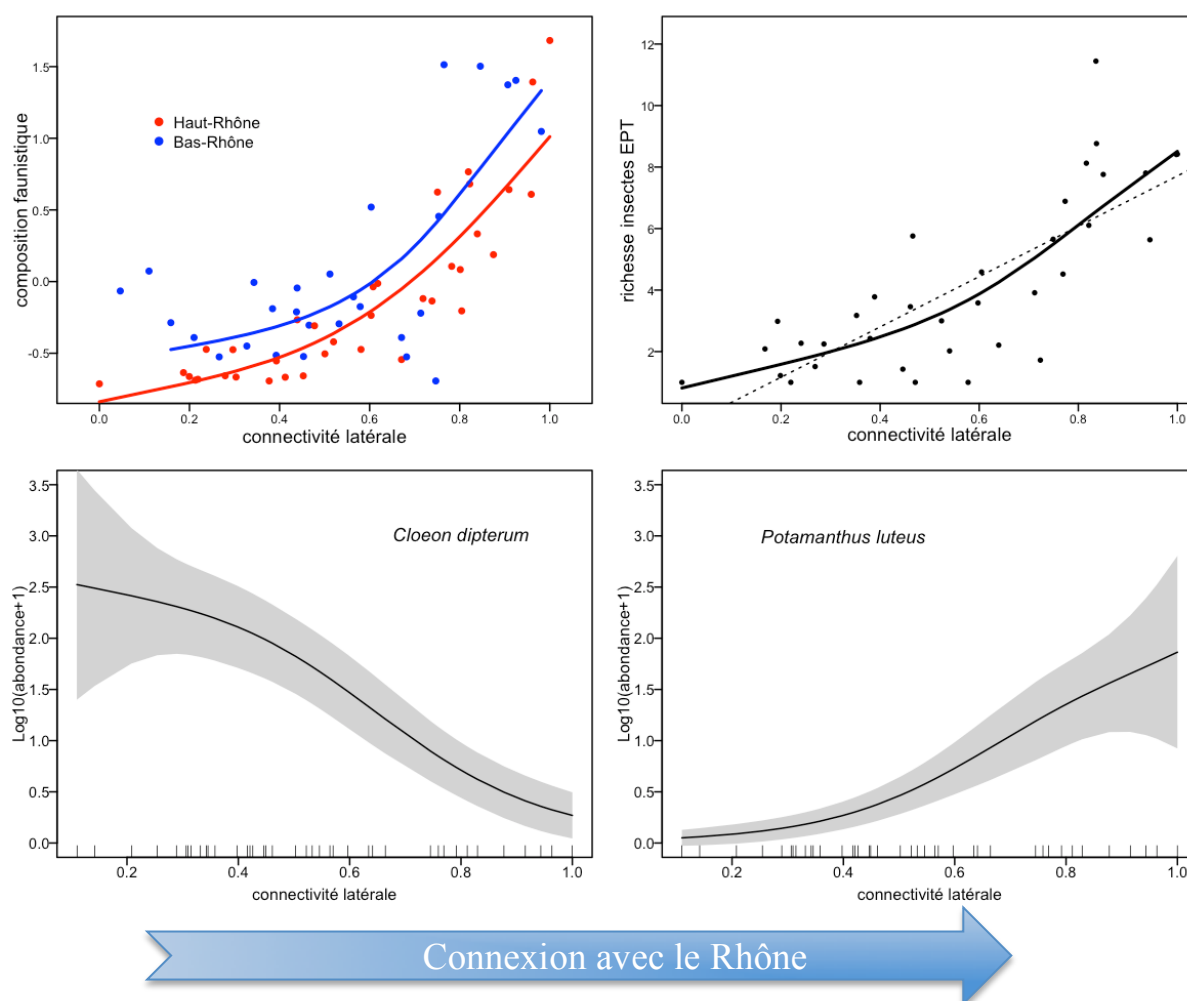


Figure 8 - L'indice de connectivité latérale (axe horizontal des 4 graphiques) est une combinaison mathématique de 4 variables intégrant l'influence du fleuve sur les lônes : la teneur en matière organique du sédiment, la diversité de la granulométrie, la quantité de végétation aquatique et la conductivité électrique de l'eau. Il varie de 0 (site déconnecté très peu ou pas influencé par le fleuve) à 1 (site connecté de façon permanente).

Il a pu être montré que cet indice :

- est corrélé au changement de composition des peuplements d'invertébrés dans les lônes : en haut à gauche, 36 sites du Haut-Rhône et 28 sites du Bas-Rhône. L'axe vertical permet de mesurer la ressemblance de la composition taxonomique des sites (points).
- est corrélé à la richesse taxonomique de certains groupes d'invertébrés : en haut à droite la richesse en insectes Ephémères, Plécoptères et Trichoptères augmente lorsque la connectivité au fleuve augmente (18 sites de Belley et Brégnier avant restauration). La richesse de ce groupe est un indicateur de qualité biologique des milieux lotiques.
- permet de modéliser les variations d'abondance d'un peu plus du quart des taxons rencontrés. En bas : exemples de modèles de variation d'abondance d'espèces défavorisée (*Cloeon dipterum*) et favorisée (*Potamanthus luteus*) par la connexion au Rhône. Les courbes de réponse (et leur intervalle de confiance) ont été construites à partir de 40 sites de Belley et Brégnier avant restauration.

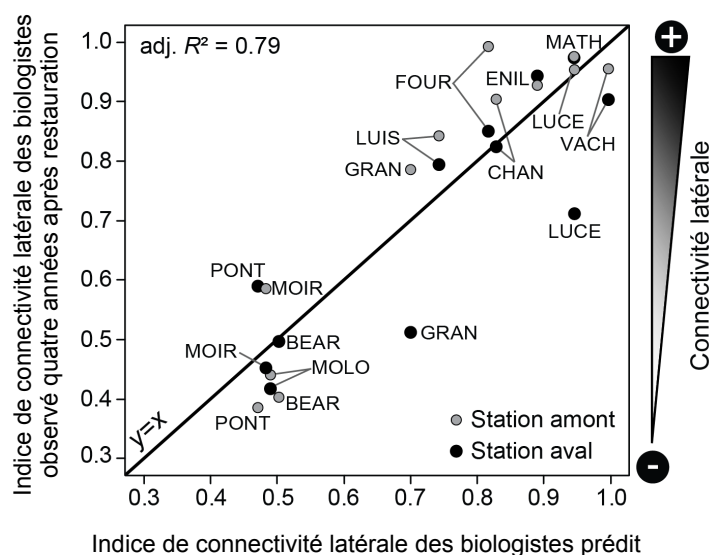


Fig. 9 – L'indice de connectivité latérale des bras restaurés tel qu'estimé sur le terrain par les biologistes peut être prédit par une régression linéaire multiple intégrant la fréquence de débordement amont et une estimation moyenne des contraintes de cisaillement maximum exercées sur le fond des bras depuis leur restauration. Riquier et al. (2014)

La restauration des lônes a favorisé une plus grande diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques à l'échelle de la plaine alluviale

L'analyse de l'évolution post-restauration de la structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques a montré que les lônes ont été colonisées par des communautés de macroinvertébrés présentant des affinités pour ces différents types sédimentaires. La restauration a favorisé à la fois des communautés d'eaux plus "courantes", mais surtout une plus grande diversité des communautés à l'échelle de la plaine alluviale (Fig. 10 et Fig. 11). Les peuplements des sites restaurés s'ordonnent selon un gradient de connectivité hydrologique avec le chenal principal, allant des milieux fortement déconnectés, très lenticques, aux bras secondaires courants.

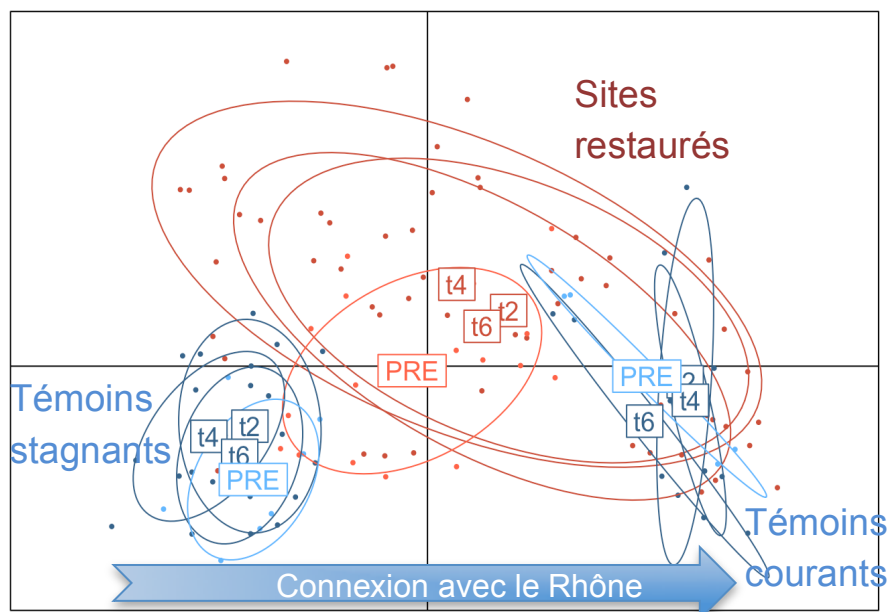


Fig. 10 – Position des communautés de macroinvertébrés des lônes des secteurs de Belley et Brégnier-Cordon le long d'un gradient de connexion hydraulique avec le fleuve (analyse biologique multivariée). En bleu les sites témoins déconnectés (à gauche) ou connectés (à droite). En brun les lônes restaurées avant (PRE) et après restauration (avec t2, t4 et t6 correspondant à 2, 4 et 6 ans après restauration). La restauration a modifié la position moyenne des peuplements vers des peuplements d'eau plus courante, et augmenté la diversité des situations à l'échelle de la plaine alluviale (ellipses brunes plus grandes lorsque l'on passe de "PRE" aux dates post-restauration). Castella et al (soumis).

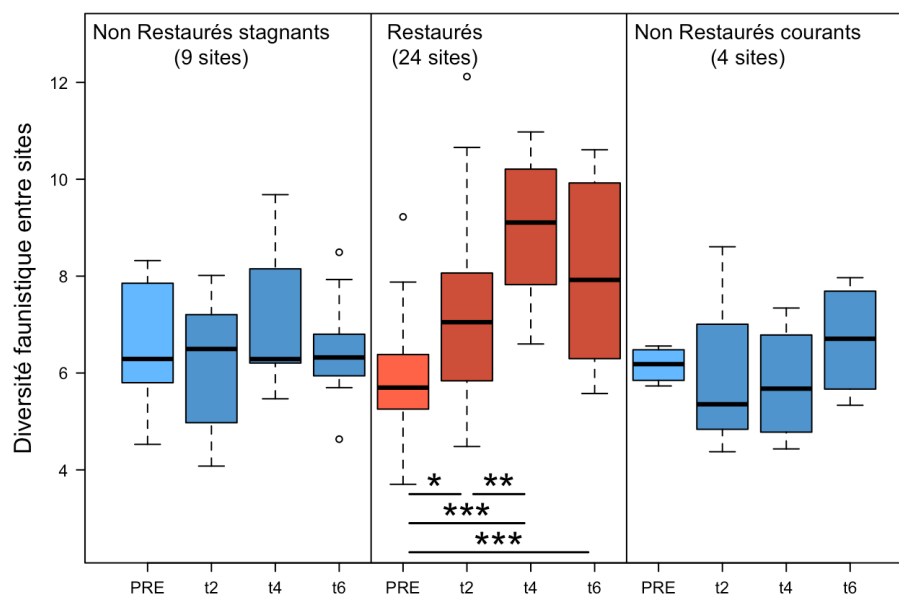


Fig. 11 – Changements temporels de la diversité des communautés benthiques entre lônes dans les secteurs de Belley et Brégnier-Cordon réunis, avant (PRE) et après restauration (avec t2, t4 et t6 correspondant à 2, 4 et 6 ans après restauration). La diversité des communautés reste stable dans les sites témoins non restaurés, elle augmente de façon significative dans les sites restaurés. Significativité : * : p 0.05 ; ** : p 0.01 ; *** : p 0.001.

Cet effet de diversification globale à l'échelle des secteurs de Belley et Brégnier-Cordon est la résultante de trajectoires successioneuses enclenchées dans les lûnes par les divers modes de restauration (Fig. 12). Les variations d'abondances des taxons associées à ces changements peuvent être très fortes (Fig. 13). L'examen de ces trajectoires fait apparaître les points majeurs suivants :

- tous les sites restaurés montrent des changements faunistiques ; ceux-ci sont largement supérieurs à la fluctuation interannuelle dans les milieux stagnants non restaurés et, dans une mesure moindre, aux changements des milieux courants non restaurés ;
- les trajectoires temporelles à partir de l'état pré-restauration ont lieu de façon très globale dans la même direction (de la droite vers la gauche sur la Fig. 12). Cette direction est la résultante de deux tendances plus ou moins marquées selon les types de restauration et de connexion au fleuve : 1) l'augmentation post-restauration de taxons rhéophiles (par ex. *Theodoxus fluviatilis*, Fig. 13, *Silo* sp., *Ancylus fluviatilis*, l'exogène *Hypania invalida*), et 2) l'augmentation parallèle de taxons plus lénitophiles et/ou phytophiles dans les sites à connectivité plus faible (par ex. *Pisidium* sp., Fig. 13, *Asellus aquaticus*, *Caenis horaria*, l'exogène *Haitia acuta*). Cette double tendance explique la diversification à l'échelle de la plaine alluviale des communautés des sites restaurés. La restauration ne fait pas que favoriser les taxons les plus rhéophiles, elle soutient aussi l'expansion de taxons plus lénitophiles qui bénéficient sans doute de l'initiation de nouvelles séquences de colonisation végétale et de l'augmentation des flux d'eau souterraine. Dans les sites complètement reconnectés au fleuve, une première phase (à T+2) voit la diminution de taxons lénitophiles comme *Cloeon dipterum* (Fig. 13) ou *Bithynia tentaculata* ;
- pour tous les types de sites, les changements de T+4 à T+6 sont d'une amplitude inférieure aux périodes précédentes et montrent souvent un "retour en arrière" par rapport à la trajectoire globale précédemment décrite. Cette tendance mérite d'être suivie afin de déterminer si les communautés ont atteint un nouvel état d'équilibre où les changements interannuels seraient plus faibles ou s'il s'agit d'un retour progressif en direction de l'état pré-restauration.

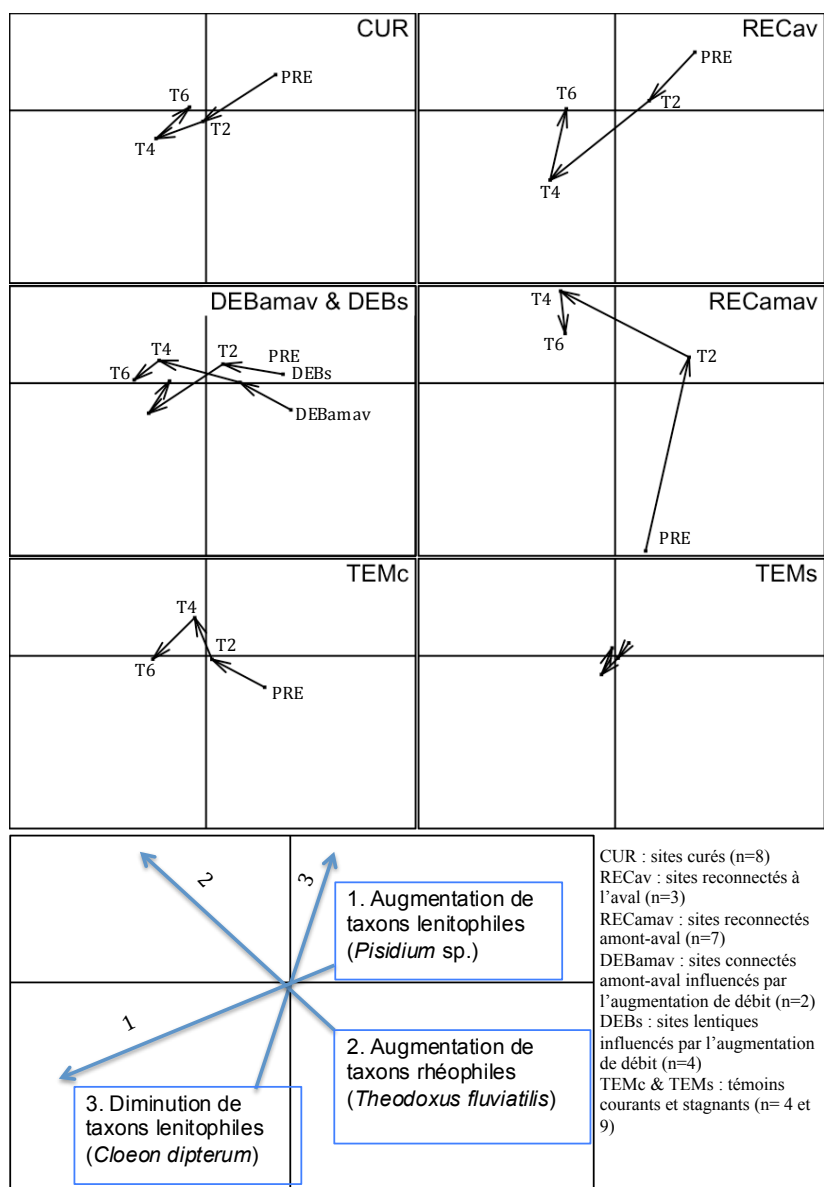


Fig. 12 – Trajectoires temporelles moyennes des communautés d'invertébrés dans les sites regroupés par type de restauration et de connexion au fleuve, avant (PRE) et après restauration (avec T2, T4 et T6 correspondant à 2, 4 et 6 ans après restauration). Les flèches bleues (en bas à gauche) résument les trois principaux types de changements faunistiques.

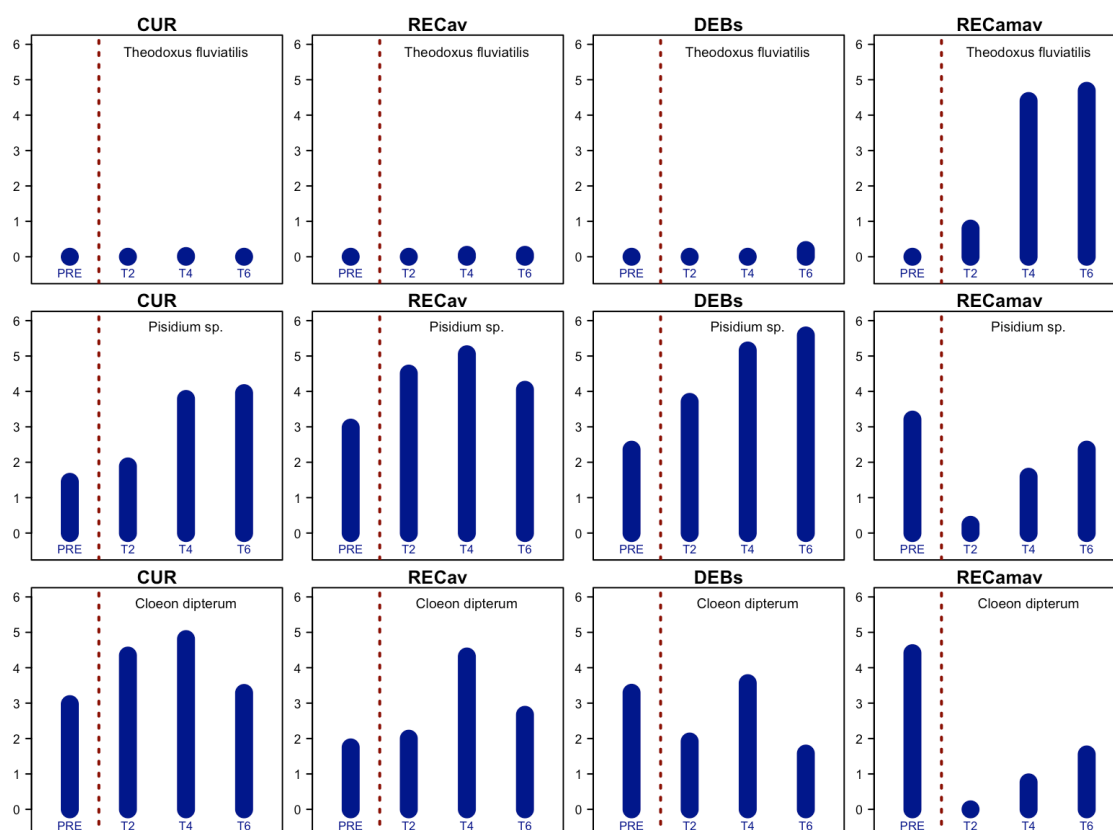


Fig. 13 – Changements temporels du $\log_e$ de la densité moyenne (abondance par 0.25 m^2) de trois taxons emblématiques (*Theodoxus fluviatilis*, *Pisidium sp.*, *Cloeon dipterum*) dans les sites restaurés avant (PRE) et après restauration (avec T2, T4 et T6 correspondant à 2, 4 et 6 ans après restauration). Les sites sont regroupés par type de restauration et de connexion au fleuve (voir Figure 11).

Restauration et diversité des types de lînes

Il est à présent possible d'établir un descriptif de l'évolution éco-hydromorphologique des bras restaurés au regard des actions de restauration entreprises. Les lînes des Luisettes, de Béard, d'En l'Île sur le vieux-Rhône de Belley, puis les lînes des Granges et des Molottes à Brégnier-Cordon constituent de bons exemples de la diversité des modes de restauration et des changements observés (sédimentologie, peuplements de macroinvertébrés benthiques et de poissons). Ces résultats détaillés, présentés dans l'annexe 6, illustrent les liens entre différents contextes de fonctionnement hydro-sédimentaires des lînes restaurées et leurs caractéristiques biologiques, attestant de la diversité des types de lînes après restauration.

4.3 Les traits biologiques pour apporter une interprétation plus fonctionnelle de la restauration des grands cours d'eau.

Les espèces, au-delà de leur identité, présentent des morphologies et des caractéristiques biologiques variées en lien avec l'habitat et jouent chacune un rôle dans le fonctionnement de l'écosystème (ex : dynamique des communautés, filtration de la matière organique, rétention des sédiments). On peut donc regrouper les espèces en fonction de leur morphologie, cycle de vie, physiologie et régime trophique, caractéristiques connues sous le nom de traits biologiques. L'avantage de l'utilisation des traits est qu'elle permet une interprétation mécanistique des relations entre habitat et communautés. On peut supposer que la

morphologie, les modes de locomotion et de respiration ainsi que les régimes trophiques vont être impactés par des modifications d'habitat engendrées par des changements des conditions hydrauliques. Cette approche, qui est complémentaire de l'examen des réponses des communautés aquatiques à la restauration, a été appliquée aux communautés de macroinvertébrés des chenaux principaux (vieux-Rhône) et secondaires, et aux peuplements de poissons des vieux-Rhône dans le cadre du programme de restauration du Rhône.

Par exemple, les augmentations des débits réservés dans les chenaux principaux des vieux-Rhône montrent des modifications variables de la réponse biologique des communautés de macroinvertébrés proportionnelles au degré de modification des débits. L'augmentation de la proportion d'individus de petite taille s'accompagne d'une diminution de la proportion d'individus protégeant leurs œufs, peut-être du fait de conditions plus oxygénées. Les plus fortes vitesses de courant favorisent les individus présentant des dispositifs d'accrochage ("clingers"), mieux adaptés à une augmentation des contraintes hydrauliques de fond. Une augmentation de la proportion de filtreurs passifs se nourissant de la matière organique dans la colonne d'eau parallèlement à une diminution des déchetiqueurs et une augmentation des racleurs-herbivores indique une transition vers des communautés plus caractéristiques des grandes rivières (Fig. 14). Cette approche permet d'émettre des hypothèses de changements de structures des assemblages faunistiques reposant sur des variations de proportions de traits dans les différents biefs du Rhône en s'affranchissant des différences de composition taxonomique. Elle permet par exemple de comparer les changements observés après restauration sur le Haut-Rhône à ceux observés sur le Bas-Rhône, c'est-à-dire dans des contextes hydrologiques, thermiques et biologiques différents.

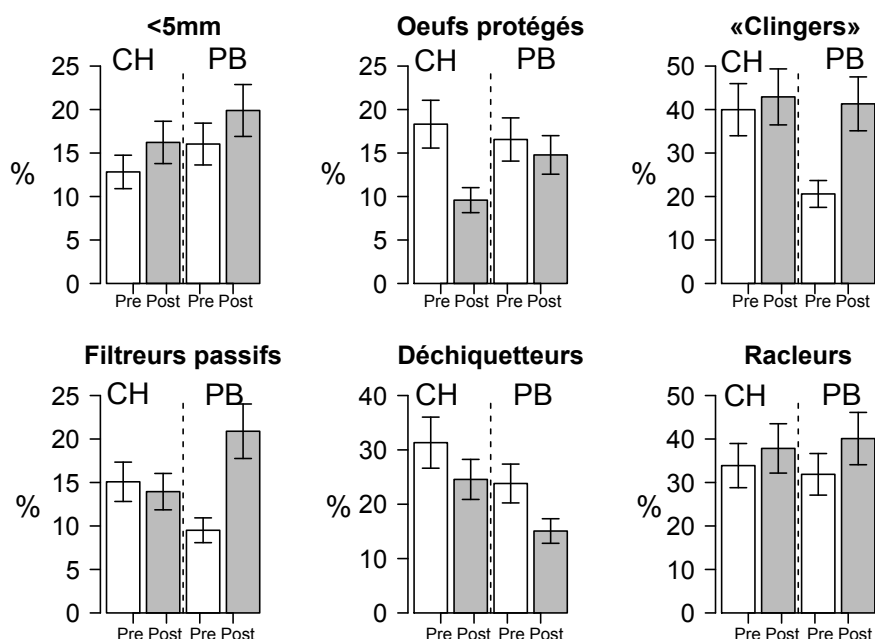


Fig. 14 – Réponse (en % d'individus) de six caractéristiques biologiques de macroinvertébrés benthiques avant (Pre) et après (Post) les augmentations de débit réservé dans les vieux-Rhône de Chautagne (CH) et de Pierre-Bénite (PB).

5 Leçons générales pour les restaurations futures

5.1 Validation de l'approche prédictive

L'originalité principale du suivi scientifique a été de tester des prédictions des changements de densité des taxons (ex : espèces ou groupes d'espèces) de la façon la plus indépendante possible, à partir de modèles construits sur d'autres sites et avant restauration. Par exemple, les modèles utilisés pour prédire l'effet des changements de débits réservés dans le chenal sont semblables à ceux régulièrement utilisés dans d'autres cours d'eau pour les études d'impacts de renouvellement de concessions (ex : estimhab). Ainsi, le test de prédictions sur le Rhône constitue un retour d'expérience plus général de l'utilité des modèles d'habitat physique. Pour de nombreuses espèces de poissons des vieux-Rhône comme pour les invertébrés du chenal et des lônes, des validations des prédictions ont été obtenues (Fig. 15). Les prédictions sont particulièrement précises dans les sites où le changement de débit minimum est fort. En revanche, les conclusions sont plus floues dans les sites où les changements de débit minimum sont inférieurs à un facteur 2.

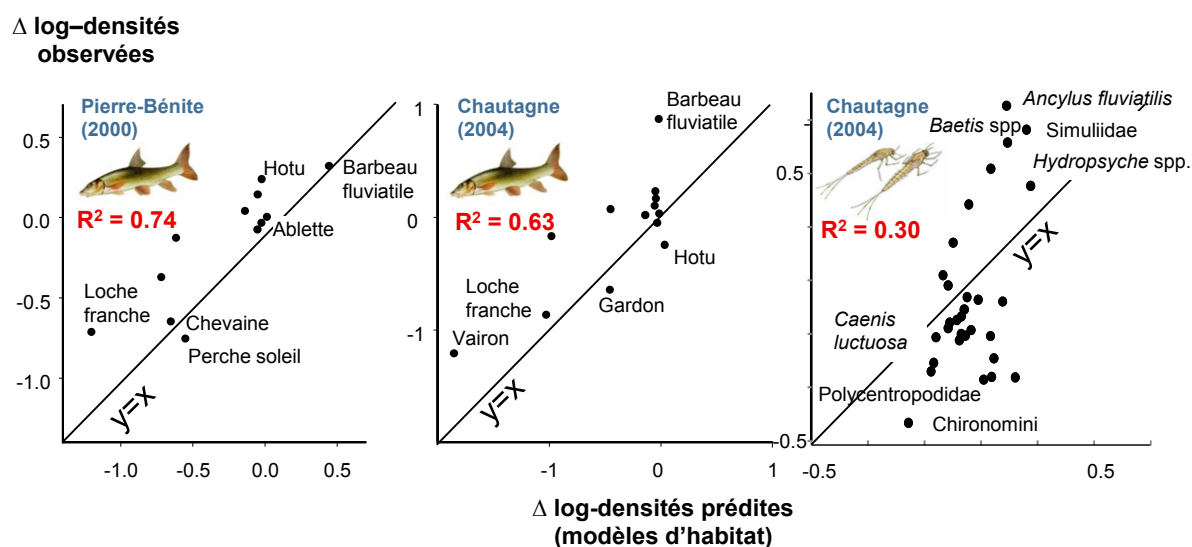


Fig. 15 – Exemples de validation de modèles d'habitat prédisant les changements de densité de poissons (Lamouroux et Olivier, 2014) et de macroinvertébrés (Mérigoux et al., sous presse) dans le chenal principal. Ces tests ont été réalisés sur 4 secteurs restaurés du Rhône et pour un sous-ensemble d'espèces dont les préférences hydrauliques sont connues.

La prédiction des changements de densité après restauration est globalement plus précise dans le chenal principal du fleuve que dans les lônes. Néanmoins, des validations correctes de prédictions ont été obtenues dans les lônes complètement reconnectés au chenal principal. Il est vraisemblable que dans les milieux à courant permanent, les contraintes hydrauliques représentent le facteur dominant déterminant la distribution des espèces et rendant donc la modélisation plus "simple". La figure 16 montre la complexité de la relation densités prédites / densités observées pour les lônes reconnectées. Si l'on peut être relativement confiant concernant la possibilité de prédire correctement les changements pouvant intervenir dans les systèmes où les contraintes hydrauliques sont les plus marquées, la recherche d'autres variables explicatives déterminantes doit être poursuivie pour les systèmes à plus faible

connectivité. Les variables liées à la connectivité verticale (régime thermique et oxygénation), ainsi que la structure de la végétation aquatique semblent être actuellement les meilleurs candidats pour atteindre cet objectif.

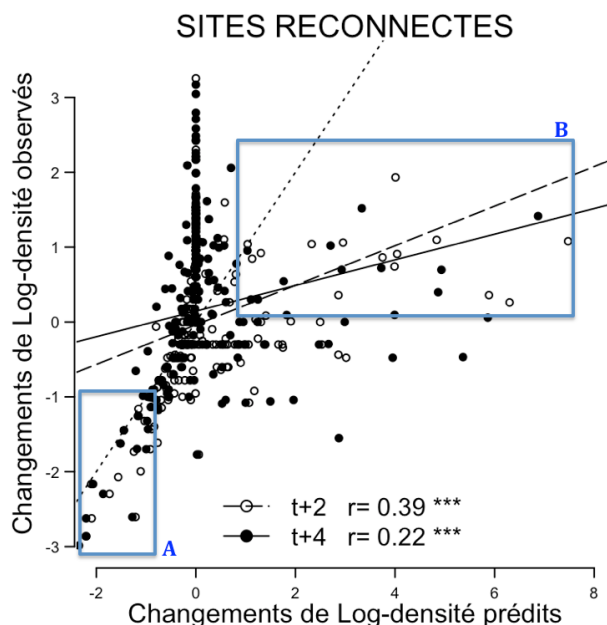


Fig. 16 – Relation entre changements de densité prédits et observés (à T+2 et T+4) pour 54 taxons modélisés dans 8 sites reconnectés (En l'Île, Vachon, Mathan, Ponton aval et Molottes aval). La ligne en pointillés fins est la relation $y=x$. A : sites dans lesquels la diminution de taxons lénitophiles (*Cloeon dipterum*, *Bithynia tentaculata*, *Haitia acuta*, *Coenagrion puella* / *pulchellum*) est bien prédite ; B : sites dans lesquels l'augmentation de la densité de taxons rhéophiles (*Psychomyia pusilla*, *Potamanthus luteus*, *Gammarus pulex* & *fossarum*, les exogènes *Potamopyrgus antipodarum* et *Corbicula fluminea*) observée est encore inférieure aux prédictions.

5.2 Optimisation des suivis de restauration

Comme le suivi des effets de la restauration du Rhône a concerné de nombreuses combinaisons (sites $\times$ espèces $\times$ effort d'échantillonnage), il a constitué une occasion unique de quantifier la capacité d'un protocole de suivi donné à détecter des changements d'abondance des espèces (Vaudor *et al.*, soumis). Les résultats de ces analyses biostatistiques montrent l'importance, au delà du nombre de points d'échantillonnage, du nombre de campagnes pré- et post-restauration pour augmenter la puissance statistique de détection des effets. Par exemple, pour un effort d'échantillonnage comparable à celui du Rhône, la probabilité de détecter des changements de densité importants (facteur 5) d'une espèce donnée est $\sim 55\%$ avec 4 campagnes et $\sim 76\%$ avec 16 campagnes (Fig. 17). Ces estimations dépendent de nombreux facteurs dont la variable biologique d'intérêt (ex : une espèce plus ou moins grégaire, une métrique de communauté). Néanmoins, la conclusion générale est claire : tirer des leçons des opérations de restauration impose de définir des efforts de suivis à plusieurs niveaux, dont des efforts poussés sur certaines opérations de restauration "pilotes" (avec plus de 5 campagnes d'échantillonnage avant et après restauration).

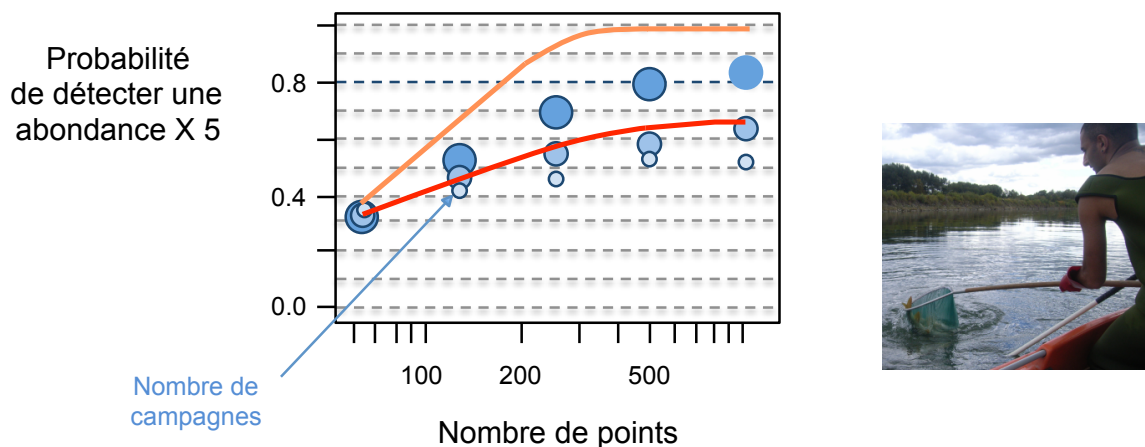


Fig. 17 – Les résultats de Vaudor et al. (soumis) permettent de quantifier *a priori* la probabilité de détecter un changement donné d'abondance (ici $\times 5$) en fonction de l'abondance initiale de l'espèce, de son degré de grégairisme, du nombre de points de pêche et du nombre de campagnes. Dans l'exemple ci-dessus d'une espèce "moyenne", les différents cercles correspondent à l'effet du nombre de campagnes (4, 8 ou 16).

5.3 Définition des attendus de restauration et lien avec l'approche prédictive, identification de "pistes" d'actions pour aider à l'atteinte des objectifs

Les retours d'expériences sont maintenant suffisamment avancés pour guider les nouvelles actions et le choix des lînes sur lesquelles intervenir. Cela peut concerner la définition des nouveaux débits réservés ou encore la sélection de lînes à restaurer, à partir d'un diagnostic *a priori* de la diversité et de la durabilité des types fonctionnels. Les objectifs de la réhabilitation écologique des lînes et de leur reconnexion avec le chenal principal peuvent être divers : augmentation de la diversité d'habitats et de la biodiversité associée, biologie de la conservation ou prise en compte d'usages. Sur le plan scientifique, la phase de définition des attentes en termes de changements écologiques après restauration est une étape importante. Elle doit permettre i) d'orienter les choix techniques méthodologiques en termes de restauration (ampleur des modifications de débit, travaux d'ingénierie dans le cas de la réhabilitation des chenaux et des annexes fluviales, ...) et ii) de formuler clairement des hypothèses relatives aux effets attendus des procédures de restauration sur les milieux (modification de la structure et du fonctionnement physique et éventuellement chimique) et sur les modifications consécutives au sein des biocénoses. Elle permet également de définir les besoins en termes de suivis et *in fine* d'optimiser l'analyse des effets des mesures de restauration. Ces objectifs peuvent être précisés à l'échelle du site restauré ou de l'ensemble d'un secteur.

De façon générale, des améliorations écologiques notables liées à des augmentations de débits réservés sont attendues sur les secteurs où ce débit était encore très bas avant le 1^{er} janvier 2014 (ex : Baix-le-Logis-Neuf, Péage-de-Roussillon) et où se sont maintenues des populations d'espèces de grands fleuves. Les modèles suggèrent un effet non-linéaire de l'augmentation des débits : là où les débits ont été augmentés, obtenir des changements de structures de peuplements d'une amplitude comparable à ceux déjà observés demanderait des augmentations de débits beaucoup plus importantes et peu réalistes pour les gestionnaires. Sur l'ensemble des secteurs, une gestion optimisée des vitesses de montée et de descente des

débâts lors des manœuvres de barrage de dérivation serait à explorer, notamment afin de limiter les impacts négatifs sur les jeunes stades de développement de poissons (ex : piégeage lors des phases d'abaissement), ainsi que les répercussions des éclusées du Haut-Rhône sur les vieux-Rhône à certaines périodes.

Les facteurs physiques contrôlant la diversité fonctionnelle des lônes ont été relativement bien identifiés au cours des précédents suivis. Grâce aux résultats obtenus, il est maintenant possible, pour les annexes fluviales suivies, d'établir un lien entre des paramètres physiques jouant un rôle clef dans l'évolution morpho-sédimentaire des bras restaurés et la composition et la richesse taxonomique des peuplements d'invertébrés aquatiques qui s'y établissent. Il existe donc maintenant un cadre typologique permettant de positionner (avant restauration) les lônes à restaurer afin de s'assurer que les scénarios de restauration envisagés permettent de maximiser cette diversité fonctionnelle sur le tronçon d'intervention. Ainsi, les modèles liant contrôles hydrauliques et sédimentation permettent de positionner telle ou telle lône à restaurer à un niveau approprié dans la typologie, notamment en fonction de la cote de connexion amont qui contrôle les fréquences de débordement. En conséquence, il devient donc possible de mieux définir les objectifs de restauration des annexes fluviales, c'est-à-dire leur position au sein de la typologie actuellement disponible, en déterminant les caractéristiques de connexion amont des lônes à restaurer. À l'heure actuelle, ce travail ne peut pas encore être réalisé « en routine » et nécessite une collaboration avec les équipes de recherche. Cette démarche paraît d'autant plus opportune sur le Rhône médian car la connexion amont des bras est bien souvent régie par une digue basse et non par un bouchon sédimentaire très atterri et boisé. Ces évolutions fonctionnelles n'ont pas encore été entreprises et mériteraient d'être conduites et suivies sur de prochains sites, y compris sur le Haut-Rhône, pour validation.

La restauration des formes est très souvent pérenne car le lit du Rhône est souvent figé du fait du pavage et de l'absence de transport solide. Lorsque les formes fluviales sont mobiles (seuil au droit de l'entrée amont de Ciselande sur Pierre Bénite, seuil naturel au droit de l'extrémité aval de la Malourdie en Chautagne), la connectivité peut être affectée, conduisant à des atterrissements par modification de la ligne d'eau. De fait, les réflexions actuelles concernant les potentialités de redynamisation du lit (recharge sédimentaire, reprise de l'érosion résultant de l'enlèvement des digues basses des casiers Girardon et des tenons) s'intègrent dans une analyse plus globale de la restauration de l'ensemble des annexes fluviales. De telles actions de remobilisation de sédiments peuvent conduire à renforcer la connectivité en relevant localement le niveau d'eau dans le bras actif ou au contraire la réduire, notamment en favorisant la formation d'un bouchon graveleux à l'entrée amont de certains bras reconnectés. Il est ainsi important que le design de futurs bras secondaires prenne en compte un transport solide potentiel et se soucie de minimiser les risques de formation de bouchon amont. Un travail de recherche sur l'analyse de la dynamique locale des processus d'érosion-sédimentation est donc à envisager.

6 Conclusion et poursuite du programme

L'effet de la restauration est clairement identifié malgré une structuration spatio-temporelle forte des peuplements aquatiques révélant l'existence de tendances de long terme

liées à d'autres facteurs, comme l'aménagement progressif du Rhône ou l'évolution climatique récente, et aux dynamiques d'espèces invasives potentiellement favorisées par la restauration. Le travail réalisé a permis de poursuivre le test et le développement de modèles prédictifs des effets de la restauration (construction d'éléments manquants comme les préférences des invertébrés dans le chenal et dans les lônes). Le suivi post-restauration a permis de démontrer l'efficacité de cette approche. Les outils développés et les résultats acquis permettent d'envisager la définition des objectifs des restaurations futures de façon plus pertinente. Par exemple, les avancées notables en termes d'identification et de quantification des variables qui régissent les modalités de connexion hydrologique des bras restaurés et le lien avec les caractéristiques biologiques de ces lônes permettent d'envisager la définition des objectifs écologiques associés à la restauration des anciens bras du fleuve de manière beaucoup plus efficace (diagnostic *a priori* de la diversité et de la durabilité des types fonctionnels) que lors de la première phase de restauration (Pierre-Bénite et Haut-Rhône).

La qualité des résultats obtenus démontre que les efforts importants en termes d'acquisition de données pré et post-restauration, aussi bien d'un point de vue quantitatif (suivis multi-groupes, effort d'échantillonnage, durée) que qualitatif (standardisation de l'échantillonnage, précision au niveau de l'identification des taxons de macroinvertébrés) sont essentiels. Les exemples présentés montrent que différents groupes biologiques ont une capacité variable à refléter les effets de la restauration. En particulier, les poissons ont été utiles pour apprécier des modifications de long terme, tandis que les suivis des peuplements de macroinvertébrés ont été importants pour refléter l'augmentation de la diversité biologique de la plaine alluviale. L'approche prédictive développée pour les poissons et les macroinvertébrés n'a pas pu être mise en œuvre pour les communautés de macrophytes aquatiques en raison d'un effort d'échantillonnage trop faible, tant en ce qui concerne le nombre de lônes suivies que la fréquence d'échantillonnage. Les données collectées sont exploitées pour renseigner le diagnostic écologique mis au point par Amoros, Bornette & Henry (2000) et consultable sur le site web dédié au suivi de la restauration.

La question de l'évaluation de l'importance des interactions entre les espèces exogènes et les espèces natives, composante biologique dont on attend une réaction en lien avec les opérations de restauration, reste ouverte. L'effet "espèces invasives" est notable sur le chenal mais commun à l'ensemble des sites, restaurés ou non. Il est visible mais reste d'amplitude réduite dans les lônes, où l'augmentation des abondances d'espèces invasives ne diminue pas celles des espèces natives (Paillex *et al.*, soumis). Des travaux couplant des approches de terrain et des études expérimentales seraient sans doute bénéfiques pour mieux comprendre ces interactions et les quantifier.

A mi-chemin des opérations de restauration, le retour d'expérience permet de préciser les objectifs de la poursuite du suivi scientifique (dimensionnée actuellement pour 2014-2018):

* *Évaluation de la pérennité des habitats* : la poursuite de l'étude du fonctionnement hydrosédimentaire des lônes est fondamentale pour guider la gestion quantitative de ces milieux, guider le choix des sites à restaurer en maximisant la diversité des types fonctionnels possibles, et évaluer *a priori* la durée de vie de ces milieux. Elle passe par la poursuite de la modélisation statistique des fréquences de connexions et des caractéristiques hydrauliques des lônes restaurées, à des échelles plus fines que celle de la modélisation 1D du fleuve

(collaboration RhonEco – OSR). L'intégration d'objectifs de restauration portant plus sur des aspects dynamiques du fonctionnement hydro-sédimentaire des lînes sera souhaitable.

* *Analyse et prévisibilité des réponses écologiques, poursuite des tests* : les sites ayant permis de mettre en évidence des effets significatifs de la restauration sont essentiellement ceux où les débits réservés ont été fortement augmentés (Pierre-Bénite – Chautagne), et ceux contenant une forte diversité de lînes (Belley – Brégnier-Cordon). La poursuite du suivi devrait renforcer ce retour d'expérience original sur différents sites du Rhône moyen et du Bas-Rhône où le débit a été fortement modifié récemment (ex : Péage-de-Roussillon, Baix-le-Logis-Neuf) et d'autres où il est prévu de restaurer une diversité de lînes (ex : Donzère-Mondragon, Miribel).

* *Dynamiques des réponses / temps de réponse* : quelques éléments sur les dynamiques interannuelles des peuplements de poissons (Daufresne *et al.*, soumis) ont été mis en évidence et notamment le rôle des crues et de la température (ex : la densité annuelle globale est favorisée par des températures printanières élevées). Mais cette question nécessite de séparer les tendances d'évolution des sites, l'effet de la restauration et l'effet des variations environnementales annuelles (chasses, crues, températures). La poursuite du suivi permettra d'approfondir cette problématique, même si cela reste délicat puisque seule environ 0.1% de la surface de chaque vieux-Rhône est échantillonnée chaque année. L'idée est d'identifier des similitudes de formes dans les trajectoires post-restauration des différents sites (structures des peuplements) et de les relier aux variables environnementales annuelles (prévu en 2015-16).

* *Complémentarité lînes-chenal-affluents* : une étude plus précise du fonctionnement écologique des lînes et des dynamiques sur certains sites (Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon, Donzère) permettra de mieux comprendre la complémentarité lînes – chenal. Afin de mieux cerner l'échelle spatiale du fonctionnement des populations et les conséquences possibles sur les effets de la restauration, une étude des flux génétiques entre tronçons du fleuve (vieux-Rhône, retenues, canaux, lînes) et affluents sur 2 aménagements (Donzère-Mondragon et Baix-le-Logis-Neuf) a débuté en 2014 pour 5 espèces de poissons.

Enfin, l'ensemble de ces travaux alliant objectifs écologiques (amélioration de la diversité des types d'annexes fluviales à l'échelle d'un secteur, tant du point de vue hydro-morpho-sédimentaire que de la biodiversité qu'elles abritent) et processus physiques (hydrologie – hydraulique – transport sédimentaire) suggère l'existence de liens forts entre les programmes Rhôneco et l'OSR (Observatoire des sédiments du Rhône).

Références citées dans le texte

- Amoros C., Bornette G. & Henry C.P. (2000) Environmental auditing. A vegetation-based method for ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management*, 25: 211-227.
- Barthélémy C. & Armani G. (Sous presse) A comparison of social processes at three sites of the French Rhône River subjected to ecological restoration. *Freshwater Biology*, doi: 10.1111/fwb.12531.
- Castella E., Beguin O., Besacier-Monbertrand A.-L., Hug Peter D., Lamouroux N., Mayor Siméant H. *et al.* (201x) Testing predictions of changes in aquatic invertebrate communities after the restoration of floodplain connectivity in a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*.
- Carlisle D.M., Wolock D.M & Meador M.R. (2011) Alteration of streamflow magnitudes and potential ecological consequences: a multiregional assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 264–270.
- Daufresne M., Veslot J., Capra H., Carrel G., Poirel A., Olivier J.-M. *et al.* (201x) Fish community dynamics (1985-2010) in multiple reaches of a large river (French Rhône) subjected to various degrees of flow restoration and other environmental changes. *Freshwater Biology*.
- Lamouroux N. & Olivier J.-M. (2014) Testing predictions of changes in fish abundance and community structure after flow restoration in four reaches of a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*, doi:10.1111/fwb.12324.
- Lamouroux N., Gore J.A., Lepori F. & Statzner B. (soumis) The ecological restoration of large rivers needs science-based, predictive tools meeting public expectations: an introduction to the Rhône project. *Freshwater Biology*.
- Mérigoux S., Forcellini M., Dessaix J., Fruget J.-F., Lamouroux N. & Statzner B. (sous presse) Testing predictions of changes in benthic invertebrate abundance and community structure after flow restoration in a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*.
- Olden J.D., Konrad C.P., Melis T.S., Kennard M.J., Freeman M.C., Mims M.C. *et al.* (2014) Are large-scale flow experiments informing the science and management of freshwater ecosystems? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 176–185.
- Paillex A., Castella E., zu Ermgassen P.S.E. & Aldridge D.C. (soumis) Testing predictions of changes in alien and native macroinvertebrate communities and their interaction after the restoration of a large river floodplain (French Rhône). *Freshwater Biology*.
- Riquier J., Piégay H. & Šulc Michalkova M. (2014) Hydromorphological conditions in 18 restored floodplain channels of a large river: linking patterns to processes. *Freshwater Biology*.
- Tockner K. & Stanford J.A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29, 308-330.
- Vaudor L., Lamouroux N., Olivier J.-M. & Forcellini M. (sous presse) How sampling and population characteristics influence the statistical power to detect changes in abundance: an application to large river restoration. *Freshwater Biology*.

Annexes

Annexe 1

Caractéristiques des lônes restaurées

Caractéristiques des lônes restaurées (données CNR, sauf l'estimation de l'alimentation en eau souterraine résultant des données d'enregistrement thermique en continu).

Secteur	Lône	longueur totale (m)	longueur en eau		Surface en eau		Alimentation en eau souterraine après restauration
			avant (m)	après (m)	avant (ha)	après (ha)	
Chautagne	Malourdie	750	300	750	0.1	0.75	+
Chautagne	Brotalet	830	350	790	0.7	2	(+) partie médiane
Belley	Anse de Chanaz	320	180	300	0.2	0.75	0
Belley	Luisettes	2705	2100	2650	1.1	1.5	(+) partie amont
Belley	Moiroud	1080	500	750	0.2	0.5	(+) partie amont
Belley	Béard	700	30	650	0.02	0.4	+
Belley	Orgeval	320	0	80	0	0.1	0
Belley	Fournier	800	550	750	0.7	1.1	(+) partie amont
Belley	Lucey	1295	1295	1295	2	2	0
Belley	Anse de Yenne	650	20	630	0.02	0.7	0
Belley	Virignin	600	600	600	6	6	(+) partie amont
Belley	Chantemerle	950	950	950	2.8	2.2	0
Brégnier-Cordon	Granges	1175	50	550	0.01	0.2	(+)
Brégnier-Cordon	Vachon	875	575	875	6	1.3	0
Brégnier-Cordon	Cerisiers	950	950	950	1.9	1.9	0
Brégnier-Cordon	Mathan	1750	1750	1750	0.08	1.15	0
Brégnier-Cordon	Molottes	1490	300	700	0.2	1.1	(+) partie amont
Brégnier-Cordon	Islon	810	610	810	1.8	2.4	0
Brégnier-Cordon	Sables	950	950	950	6	6	0
Brégnier-Cordon	Marquisat & Colonnes	1300	1100	1300	1.1	1.7	0
Brégnier-Cordon	Ponton	500	400	450	0.2	0.2	(+) partie amont
Pierre-Bénite	Ciselande	1175	~ 0	1025	~ 0	1.8	0
Pierre-Bénite	Jaricot	1500	~ 500	740	?	1.1	++
Pierre-Bénite	Table-Ronde	1800	~ 0	275	~ 0	0.7	0
Péage de Roussillon	Lône du Noyer Sud	360	0	360	0	0,24	0
Péage de Roussillon	Lône de la Sainte	500	120	280	0,06	0,46	0
Montélimar	Lône de la Roussette	1750	900	1500	0,7	1,06	+

Annexe 2

Méthodologie : stratégies et méthodes d'échantillonnage, métriques retenues pour l'estimation des effets des procédures de restauration.

a- Stratégies et méthodes d'échantillonnage

Le but du suivi est **d'exprimer des hypothèses relatives à la réponse des écosystèmes et des communautés aux actions de restauration**. La démarche s'appuie sur le développement de modèles explicatifs et/ou prédictifs pouvant être utilisés comme retour d'expérience pour les actions de restauration futures.

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.

Le suivi s'appuie sur des méthodes d'échantillonnage qui ne font pas l'objet d'une normalisation. Il se décompose en deux phases successives. La première concerne la **description**, au cours de l'année (ou des années) précédant les modifications de débits réservés et les travaux de restauration des lônes, **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 lônes afin de mettre en évidence les **évolutions des composantes écologiques**.

Les thèmes du suivi et les protocoles d'échantillonnage associés sont rappelés succinctement ici. Les fréquences d'échantillonnage sont uniformisées entre les sites et adaptées suite au retour d'expérience des suivis antérieurs. 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.

Peuplements de poissons

L'échantillonnage des peuplements piscicoles des Vieux-Rhône est annuel. Les pêches pré-restauration sont réalisées minimum 2 ans avant augmentation des débits réservés.

Les campagnes d'échantillonnage sont réalisées 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) effectuée en bateau. 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 minimum est de 100 E.P.A., il est supérieur (200 points) dans le cas des Vieux-Rhône longs et/ou hétérogènes (Belley, Brégnier-Cordon, Montélimar, Donzère).

Dans les lônes, les campagnes d'échantillonnage sont également réalisées en automne et consistent en 25 E.P.A. dans chaque lône.

Macroinvertébrés benthiques

Les suivis des peuplements d'invertébrés sont effectués tous les deux ans afin d'accélérer le retour d'expérience tout en contrôlant d'éventuelles invasions.

Dans les Vieux-Rhône, à l'échelle locale, les invertébrés et les paramètres hydrauliques sont échantillonnés sur les mêmes points. Les invertébrés sont récoltés avec un cylindre de Hess muni d'un filet de maille de 200µm. Les premiers centimètres de substrat et la faune associée sont collectés sur une surface de 0.05 m². La méthode des hémisphères HFST est utilisée pour mesurer les contraintes hydrauliques locales au fond de la rivière au niveau du point d'échantillonnage de la faune (Statzner, Kohmann & Hildrew, 1991)¹. 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.

Dans les lônes, deux sites d'échantillonnage sont sélectionnés à l'intérieur de chaque lône. Ces sites sont des zones géomorphologiquement homogènes et présentant généralement une unité du point de vue de la végétation aquatique. Ils représentent généralement les deux « pôles » caractéristiques de ces anciens chenaux de type parapotamique : un site amont (abrégé – *am*) représentant les secteurs les moins profonds (voire temporaires), déconnectés du Rhône en débit moyen, et un site aval (abrégé – *av*) représentant les secteurs les plus profonds et généralement connectés au Rhône. Certains sites « nouveaux » (*n*) ont été introduits pour suivre l'évolution de plans d'eau nouvellement créés par la restauration dans des tronçons asséchés. A l'intérieur de chaque site, un tronçon de 30 mètres (selon l'axe amont-aval de la lône) a été choisi pour la réalisation des protocoles de description de l'habitat et d'échantillonnage de la macrofaune aquatique. A l'intérieur de chaque tronçon de 30 m, quatre points de prélèvement sont tirés au hasard à l'aide d'une table permettant le tirage d'une coordonnée longitudinale parallèlement au chenal (position au mètre sur 30 m) et d'une coordonnée transversale perpendiculairement au chenal (parmi 5 possibilités : rive droite, moitié droite, centre, moitié gauche, rive gauche). En chacun des 4 points une description de la structure de l'habitat (profondeur, courant, sédiment, végétation aquatique,

¹ Statzner B., Kohmann F. & Hildrew A.G. (1991) Calibration of FST-hemispheres against bottom shear stress

ombrage) est effectuée selon un protocole standard à l'intérieur d'un quadrat de 50 x 50 cm. A l'intérieur de chacun des 4 points tirés au hasard, la macrofaune aquatique est échantillonnée de la façon la plus exhaustive possible à l'épuisette (ouverture 15 x 12 cm). Le vide de maille est 0.5 mm. La limite de profondeur est d'environ 190 cm (manche de l'épuisette). Les échantillons sont effectués à pied ou en bateau gonflable léger selon l'accessibilité et la profondeur d'eau. Le matériel est fixé à l'alcool. Au laboratoire la fraction grossière des prélèvements est triée à vue sur une cuvette blanche, avec l'aide éventuelle d'une loupe de couturière. La fraction fine est triée sous une loupe binoculaire. Les invertébrés sont déterminés au niveau le plus fin permis par l'ouvrage de Tachet *et al.* (2000)², à l'exception des macrocrustacés, gastéropodes et insectes (autres que diptères et hétéroptères) dont la détermination est poussée à l'espèce dans la mesure du possible. Les Annélides Oligochètes sont exclus des analyses.

Sédimentation dans les lônes

Deux types de mesures sont effectués dans le cadre du suivi de la **sédimentation des lônes** : les relevés des épaisseurs sédimentaires et des hauteurs d'eau d'une part, puis le prélèvement d'échantillons de sédiments fins. Des mesures ponctuelles de la hauteur d'eau et de l'épaisseur d'alluvions fines déposées (fraction fine < 2 mm) sont réalisées à l'aide d'une perche graduée en métal d'une longueur de 2.50 mètres. Une tarière pédologique est utilisée pour les mesures à des profondeurs supérieures. Les points sondés sont distribués tous les 10 mètres de linéaire, le long de l'axe médian des bras. La distance parcourue entre deux sondages est mesurée. Les valeurs ponctuelles d'épaisseur de la lame d'eau et de la couche de sédiments fins retenues pour chaque point de sondage sont issues d'une moyenne de trois à cinq mesures réalisées sur une surface d'environ 2500 cm², de manière à prendre en compte la variabilité microtopographique locale.

En parallèle des mesures bathymétriques et des prélèvements d'alluvions fines sont effectués. Pour rendre compte de la distribution granulométrique des sédiments fins à l'intérieur des bras, cinq échantillonnages équi-répartis sont prélevés longitudinalement dans l'axe du chenal. A l'échelle d'un bras, les prélèvements sont dans la mesure du possible localisés sur les mêmes zones d'une campagne à l'autre. Seules les particules fines sont prélevées (< 2mm). Les échantillonnages sont effectués à l'aide d'une benne d'Eckmann sur une surface maximale d'environ 2500 cm². Cet outil permet d'effectuer un prélèvement volumétrique des dépôts superficiels sur les premiers centimètres du fond du lit. Pour chaque prélèvement, environ 20 grammes de matière sont prélevés en surface du volume échantillonné. Les analyses granulométriques sont réalisées en laboratoire à partir d'un granulomètre Laser. La distribution statistique des particules (% en nombre) pour chaque classe de taille et l'ensemble des fractiles (*e.g.* D16, D25, D50, D75, D84, D99,...) est ainsi obtenue. La mesure du taux de matière organique n'est pas incorporée dans l'analyse des

² Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2006) Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. 2nd corrected CNRS editions, Paris.

prélèvements granulométriques. Par conséquent les processus allogènes et autogènes de la sédimentation ne peuvent pas être distingués. Néanmoins, étant donné qu'aucun des bras étudiés ne se trouve totalement isolé du fleuve, nous supposons que les processus allogènes sont largement dominants.

Végétation aquatique dans les lônes

Les relevés de végétation dans les lônes sont effectués à la fin de la saison de végétation, c'est-à-dire au début de l'automne (août-septembre), sur des transects de 2 m de large s'étendant d'une rive à l'autre, perpendiculairement à l'axe d'écoulement longitudinal de la lône. Sur chaque lône, ces transects sont régulièrement espacés de l'aval vers l'amont sur toute l'étendue du chenal en eau. Sur chaque transect, l'abondance (% de recouvrement) et la sociabilité de chaque espèce sont estimées visuellement à l'aide du double indice de BRAUN-BLANQUET. Sont également mesurées la largeur en eau, la profondeur au centre du transect et la granulométrie du substrat exprimée par le pourcentage de recouvrement (mêmes classes que pour la végétation) de chaque classe granulométrique (galets et graviers, sables, limons, vases, sédiments tourbeux) estimée visuellement sur la surface du transect.

Les étapes de la mise en œuvre du diagnostic floristique sont les suivantes :

- Les espèces dominantes de chacune des zones floristiques des lônes sont recherchées dans les tables des exigences écologiques des espèces (Bornette *et al.* 1996³, Amoros, Bornette & Henry, 2000)⁴.
- Ces critères d'exigences, utilisés comme métriques, permettent de définir les types fonctionnels et d'estimer la durée de vie des chenaux ainsi que leurs potentialités de restauration.
- L'évolution de l'abondance relative des hélophytes dans le peuplement (plantes ripariales, ou tolérantes aux exondations) contribue également à évaluer le degré de permanence des eaux (élément pris en compte dans l'estimation de la durée de vie).

Des informations complémentaires sont également nécessaires pour l'établissement d'un diagnostic pertinent (hauteur d'eau, nature du substrat...). Le substrat dominant dans la partie la plus profonde des transects informe sur les vitesses atteintes en temps de crue, les substrats grossiers témoignent de vitesses élevées capables d'éliminer les sédiments fins.

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

³ Bornette G., Amoros C., Henry C. & Chiarello E. (1996). Diagnostic des potentialités évolutives des zones humides fluviales du Rhône. Rapport final de la première phase: Méthode de diagnostic fonctionnel. Rapport à la Compagnie Nationale du Rhône et à l'Agence de l'Eau. 50 p. + tables et exemples de cartographie.

⁴ Amoros C., Bornette G. & Henry C.P. (2000). Environmental auditing. A vegetation-based method for ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management*, 25: 211-227.

tableau suivant présente une synthèse des lînes suivies et des thématiques concernées pour chaque lîne. Le détail des campagnes d'échantillonnage est disponible dans l'annexe 3.

Zones géographiques		Thematiques			
Secteurs	Types de milieu	Poissons	Invertebres	Vegetation	Sedimentation
Chautagne	Chenal	X	X		
	Lone de la Malourdie	X			X
	Lone du Brotalet	X			X
Belley	Chenal	X	X		
	Lone des Luisettes	X	X	X	X
	Lone Moiroud	X	X	X	X
	Lone Beard	X	X	X	X
	Lone Fournier	X	X	X	X
	Anse de Yenne	X	X		X
	Lone de Lucey		X		X
Bregnier-Cordon	Chenal	X	X		
	Lone de Chantemerle	X	X	X	X
	Lone des Granges	X	X	X	X
	Lone Vachon	X	X		X
	Lone des Cerisiers	X			X
	Lone des Molottes	X	X	X	X
	Lone Mattant	X	X		X
	Lone du Ponton	X	X	X	X
	Lone de la Plaine		X		X
Canal de Miribel	Chenal	X	X		
Pierre-Benite	Chenal	X	X		
	Lone de la Table Ronde			X	X
	Lone de Ciselande			X	X
	Lone de Jaricot			X	X
Peage de Roussillon	Chenal	X	X		
	Lone de la Platiere	X	X	X	X
	Lone Noye Nord	X	X	X	
	Lone Noye Sud	X			X
	Ilon	X	X	X	X
	Lone de la Boussarde	X	X	X	
	Casiers Arcoules			X	X
	Lone de la Sainte	X	X	X	X
Montelimar	Chenal	X	X		
	Lone de la Barcasse			X	
	Lone dela Roussette	X	X	X	X
Donzere-Mondragon	Chenal	X	X		
	Lone Grange ecrasee	X	X	X	X
	Lone de Malatras		X	X	
	Lone du Carre	X	X	X	X
	Lone de la Republique		X	X	X
	Lone Malaubert	X	X	X	X
	Lone du Bayard	X	X	X	X
	Lone de Caderousse	X	X	X	X
	Lone des Joncs	X	X	X	X

Récapitulatif des sites (Vieux-Rhône et lînes suivis entre 2003 et 2013) et des thématiques prises en compte dans le suivi actuel du programme de restauration du Rhône. Les quatre secteurs en bleu sont les secteurs déjà restaurés. A Péage-de-Roussillon, les travaux de restauration de la lîne du Noyer Sud ont été réalisés durant l'hiver 2011-2012, Les travaux de la lîne de la Sainte ont été achevés au printemps 2013. A Montélimar, les travaux dans la lîne de la Roussette ont débuté fin 2011 et été achevés dans l'hiver 2012-2013. A Donzère, le choix des lînes pour l'établissement de l'état initial a été effectué au printemps 2009 et sera revu quand le choix des lînes candidates à la restauration aura été arrêté.

b- Métriques retenues pour l'estimation des effets des procédures de restauration

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 : spirin, BLN : Blageon, LOF : loche franche, CHA : chabot, OBR : ombre commun, ABL : ablette, HOT : hotu, TOX : toxostome, VAN : vandoise.

Ces indicateurs résultent des travaux réalisés avant restauration (Lamouroux *et al.*, 1999)⁵. 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 lentiques	Abondance relative des espèces limnophiles

Ces indicateurs ont été développés dans le présent programme avec les données collectées avant restauration. L'analyse des effets de l'augmentation des débits minimums dans les Vieux-Rhône nécessite de connaître et de quantifier les préférences hydrauliques des taxons présents. Les campagnes pré-restauration dans les secteurs du Haut-Rhône dans le chenal et dans les lônes (Mérigoux *et al.*, 2009)⁶, ainsi que les données de la littérature (Tachet *et al.*, 2010 ; Dolédec *et al.*, 2007⁷) ont permis de coder les préférences hydrauliques de tous les taxons rencontrés dans les échantillons du chenal et des lônes en 7 catégories (Tableau ci-dessous).

⁵ 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.

⁶ 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, 1343–1356.

⁷ Dolédec S., Lamouroux N., Fuchs U. & Mérigoux S. (2007) Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. *Freshwater Biology*, 52, 145–164.

- Les taxons **limnophiles** de la catégorie **1** sont inféodés à des milieux lenticques et sont par exemple les Trichoptères du genre *Agraylea* ou les Coléoptères de la famille des Hydraenidae.
- Les taxons 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 taxons **rhéophiles** sont soit inféodés à des contraintes hydrauliques fortes : e.g. *Hydropsyche modesta*, *Potamanthus luteus* ou les diptères Orthoclaadiinae (catégorie **4**), soit très fortes : e.g. *Theodoxus fluviatilis*, *Ancylus fluviatilis*, *Baetis vardarensis*, *Elmis* spp. ou *Hydropsyche siltalai* (catégorie **5**).
- Les taxons **ubiquistes** ne présentent pas de préférences hydrauliques comme par exemple *Dendrocoelum lacteum*, *Athripsodes albifrons* et *Gammarus fossarum* (catégorie **6**).
- Enfin la catégorie **7 (indéterminés)** regroupe tous les taxons pour lesquels aucune information n'est disponible.

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 modèle d'habitat statistique FSTress (Lamouroux, 1997)⁸, 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 ≥ 8 soit une force minimum exercée au fond du cours d'eau supérieure à 3.93 10⁻¹ N.m⁻²). **Ces taxons devraient être favorisés par les augmentations de débits dans le chenal principal et dans les lônes courantes.**

⁸ Lamouroux N. 1997. Thèse de doctorat, Université Lyon 1, Villeurbanne, France. Hydraulique statistique et prédiction de caractéristiques du peuplement piscicole : modèles pour l'écosystème fluvial.

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 $1.66 \cdot 10^{-1} \text{N.m}^{-2}$). **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 :

(1) qu'une **augmentation des débits induira une augmentation des densités des taxons rhéophiles** tels que par exemple *Ancylus fluviatilis*, *Dreissena polymorpha*, *Baetis vardonensis* et *Hydropsyche contubernalis*

(2) 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*

(3) 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

Géomorphologie des lônes

Les deux questions posées dans le programme sont :

- Quelle est la durée de vie d'une lône restaurée ? Observe-t-on 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 dépendent de l'écoulement et des caractéristiques granulométriques du lit. L'objectif est 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, les espèces dominantes de la zone humide à une date donnée sont mises en relation avec leurs exigences écologiques (Amoros *et al.*, 2000). Les exigences considérées sont la tolérance des espèces à la charge des eaux en phosphates et ammoniacale, 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 joue 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** qui influence le fonctionnement de la zone humide, et augmente généralement la durée de vie des annexes fluviales. Ces eaux contribuent, par leurs caractères sténothermes et froids, au maintien de températures fraîches, limitant ainsi la production végétale et notamment la prolifération algale. En fonction de la capacité hydraulique de la lône, ces apports d'eaux souterraines réduisent l'accumulation de matière organique et favorise donc la durée de vie de l'annexe fluviale.

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 mono-spécifiques, 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.

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
Caractéristiques biologiques et écologiques des taxons	Densité moyenne (en nombre d'individus / m ²) des espèces exogènes par site
	% 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.*, 1975⁹ ; Krebs, 1999¹⁰). 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, 1996¹¹) par J. Oksanen et B. O'Hara. La

⁹ Heck K.L., Van Belle Jr. G., & Simberloff D. (1975). Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*, 56: 1459-1461.

¹⁰ Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman, Inc. 620p.

¹¹ Ihaka R. & Gentleman R. (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5 : 299-314.

fonction calcule une richesse raréfiée pour un nombre d'individus donné à partir de la formule de Hurlbert (1971)¹² 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)¹³ 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 broyeur* 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.

¹² Hurlbert S.H. (1971). The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecological Monographs*, 54 : 187–211.

¹³ Merritt R. W., Cummins K. W., Berg M. B., Novak J. A., Higgins M. J., Wessell K. J. & Lessard J. L. (2002). Development and application of a macroinvertebrate functional groups approach in the bioassessment of remnant oxbows in the Caloosahatchee River, Southwest Florida. *Journal of the North American Benthological Society*, 21:290-310

(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)¹⁴ (groupes trophiques), Merritt & Cummins (1996)¹⁵ (relation au substrat), De Crespin De Billy & Usseglio-Polatera (2002)¹⁶ (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.

¹⁴ Colling M. (1996). Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna - Inf.-Ber. bayer. Landesamt Wasserwirtsch. 543 pp. München.

¹⁵ Merritt R.W. & Cummins K. W. (1996). Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa. pp. 74 – 97.

¹⁶ De Crespin De Billy V. & Usseglio-Polatera P. (2002). Traits of brown trout prey in relation to habitat characteristics and benthic invertebrate communities. *Journal of Fish Biology*, 60: 687–714.

Les valeurs de la plupart de ces métriques sont consultables sur l'interface cartographique du site web : <http://restaurationrhone.univ-lyon1.fr>

Annexe 3

Calendriers des suivis passés et futurs (prévisionnel)

Annexe 3.1 Suivis pré- et post-restauration (prévision 2014-2018) des peuplements de poissons dans les chenaux court-circuités et dans les lînes. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 3.2 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 3.3 Suivis hydro-morpho-sédimentaires pré- et post-restauration dans les lînes. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 3.4 Suivis pré- et post-restauration de la végétation aquatique dans les lînes. Les cases sur fond orange représentent les campagnes d'échantillonnage pré-restauration, les cases sur fond vert les campagnes post-restauration.

Annexe 3.5 Suivis pré- et post-restauration des peuplements de macroinvertébrés benthiques des lînes 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 3.6 Bilan des données disponibles pré- et post-restauration dans les Vieux-Rhône et les lînes, sont indiquées les périodes d'échantillonnage et le nombre de campagnes réalisées (1 campagne d'échantillonnage = une station à une date donnée).

Annexe 3.1

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					
	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					
	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					
	lône Fournier										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					
	Lône des Granges										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		X					
	Lône de jaricot																	X		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	X
	Lône de la Boussarde																			X		X	X	X	X
	Lône de La Sainte																			X	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					
	Lône des Joncs																X	X	X	X					
	Lône de Caderousse																X	X	X	X					
	Lône de la Grange Ecrasée																X	X	X	X		X		X	
	Lône du Bayard																X	X	X	X					
	Dames																					X		X	
	Dion																					X		X	
	Banc Rouge																					X		X	
	Désirade																					X		X	

Annexes 3.2

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 3.3

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 Ilon						Avt T				Avt T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Noyer Nord						Avt T				Avt T		Avt T		Apr T		Apr T	
	Noyer Sud										Apr T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Casier d'Arcoules						Avt T				Avt T		Apr T		Apr T		Apr T	
	Platière amont						Avt 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
	Jones								Avt T		Avt T		Avt T					
	Carré								Avt T		Avt T		Avt T					
	République								Avt T									

Annexe 3.4

Secteur	Lône	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Belley	Lône Béard					X		X		X			X	
	Lône Fournier (Vétrier)					X		X		X			X	
	Lône des Luisettes (Ile Tournier)					X		X		X			X	
	Lône de Moiroud (Ile Tournier)					X		X		X			X	
Brégnier-Cordon	Lône de Chantemerle						X		X		X			X
	Petite Lône aval de Chantemerle						X		X		X			X
	Lône des Granges Nord (Cordon)						X		X		X			X
	Lône des Granges Sud								X		X			X
	Lône des Molottes (Iles des Molottes)						X		X		X			X
	Lône Ponton (Grand Brotteau (Brangues))						X		X		X			X
Pierre-Bénite	Lône de Ciselande (Vernaïson)	X	X	X	X	X		X			X			X
	Lône de Jaricot (Vernaïson)	X	X	X	X	X		X			X			X
	Lône de la Table Ronde	X	X	X	X	X		X			X			X
Péage-de-Roussillon	Casiers amont Lône de la Platière (Limony ; rive gauche)								X				X	
	Casiers d'Arcoules (rive droite)								X				X	
	Lône de la Boussarde									X			X	
	Lône de l'Ilon (les Nappes)								X				X	
	Lône du Noyé (bras nord)								X				X	
	Lône de la Sainte (Saint Rambert d'Albon)								X				X	
Montélimar	Lône de la Barcasse									X			X	
	Lône de la Roussette									X				
Donzère-Mondragon	Lône de Malaubert									X			X	
	Bras secondaire de la lône de Malaubert									X			X	
	Lône du Carré									X			X	
	Lône de Malatras									X			X	
	Lône des Joncs									X			X	
	Lône de Caderousse									X			X	
	Lône de la Grange Ecrasée									X			X	
	Bras secondaire de la lône de la Grange Ecrasée									X			X	
	Lône de la République									X			X	
	Lône du Bayard									X			X	

Annexe 3.5

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 3.5 (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					*5				*		*			*		
	Noyé Nord											*		*	*		
	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 3.6

Secteur Vieux-Rhône	Echantillonnage des poissons [nombre de campagnes]		Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques [nombre de campagnes]	
	Avant	Après	Avant	Après
Chautagne	1985-2004 [33]	2004-2013 [10]	1997-2002 [7]	2006-2013 [14]
Belley	1985-2004 [20]	2005-2013 [9]	2002 [2]	2007-2013 [10]
Brégnier-Cordon	1985-2005 [28]	2006-20013 [8]	2002 [2]	2009-2013 [8]
Canal de Miribel	1995 - 2007-2013 [8]	-	2002 - 2010 -2011 [6]	-
Pierre-Bénite	1995-1999 [7]	2001-2013 [13]	1995-1999 [8]	2001-2012 [12]
Péage-de-Roussillon	1985-2010 [113]	-	2007-2012 [8]	-
Baix-le-Logis-Neuf	2010-2013[4]	-	2011-2013 [6]	-
Montélimar	2007-2013 [5]	-	2008-2012 [6]	-
Donzère-Mondragon	2008-2013 [8]	-	2009-2012 [6]	-

Annexe 3.6 (suite)

Secteur	Lône	Echantillonnage des sédiments [nombre de campagnes]		Echantillonnage des macrophytes [nombre de campagnes]		Echantillonnage des macroinvertébrés [nombre de campagnes]		Echantillonnage des poissons [nombre de campagnes]	
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Chautagne	Malourdie		2004-2013 [7]					2003 [1]	2004-2013 [10]
Chautagne	Brotalet		2004-2013 [7]					2003 [1]	2004-2013 [10]
Belley	Anse de Chanaz								
Belley	Luisettes	2004 [1]	2006-2013 [6]	2003 [1]	2007-2012 [3]	2003-2004 [2]	2007-2013 [5]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Belley	Moiroud	2004 [1]	2006-2013 [6]	2003 [1]	2007-2012 [3]	2003-2004 [2]	2007-2013 [5]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Belley	Fournier	2004 [1]	2006-2013 [6]	2003 [1]	2007-2012 [3]	2003-2004 [2]	2007-2013 [5]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Belley	Béard	2004 [1]	2006-2013 [6]	2003 [1]	2007-2012 [3]	2003-2004 [2]	2005-2013 [6]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Belley	Orgeval								
Belley	Lucey	2004 [1]	2006-2013 [6]			2003-2004 [2]	2007-2013 [5]		
Belley	Anse de Yenne	2004 [1]	2006-2013 [6]			2003-2004 [2]	2005-2013 [6]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Belley	Virignin								
Belley	Chantemerle		2004-2013 [6]		2004-2013 [4]	2004 [2]	2007-2013 [5]	2004 [1]	2005-2013 [9]
Brégnier-Cordon	Granges	2004 [1]	2006-2013 [5]	2004 [1]	2008-2013 [3]	2004-2005 [2]	2008-2012 [3]	2004-2005 [2]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Vachon	2004 [1]	2006-2013 [5]	2004 [1]	2008-2013 [3]	2003[2]	2008-2012 [3]	2004-2005 [2]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Cerisiers	2004 [1]	2006-2013 [5]			2003-2004 [2]		2004-2005 [2]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Mathan	2004 [1]	2006-2013 [4]			2003-2004 [2]		2005 [1]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Molottes	2004 [1]	2006-2013 [5]	2004 [1]	2008-2013 [3]	2004-2005 [2]	2008-2012 [3]	2005 [1]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Ponton	2004 [1]	2006-2013 [5]	2004 [1]	2008-2013 [3]	2004-2005 [2]	2008-2012 [3]	2005 [1]	2006-2013 [8]
Brégnier-Cordon	Islon								
Brégnier-Cordon	Sables								
Brégnier-Cordon	Marquisat & Colonne								
Pierre-Bénite	Ciselande		2003-2013 [6]	1999 [1]	2000-2013 [7]				2011-2013 [2]
Pierre-Bénite	Jaricot		2003-2013 [5]	1999 [1]	2000-2013 [7]				2011-2013 [2]
Pierre-Bénite	Table-Ronde		2003-2013 [6]	1999 [1]	2000-2013 [7]				2011-2013 [2]
Péage de Roussillon	Platière amont		2007-2013 [3]	2008-2012 [2]		2007-2013 [3]		2007-2013 [7]	
Péage de Roussillon	Lône du Noyer Nord		2011-2013 [2]		2008-2012 [2]		2007-2013 [2]		2007-2013 [7]
Péage de Roussillon	Lône du Noyer Sud		2013[1]						2012-2013 [2]
Péage de Roussillon	Lône de l'Illon	2007-2011 [2]		2008-2012 [2]		2007-2013 [3]		2007-2013 [7]	
Péage de Roussillon	Lône de la Boussarde	2007-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2013 [1]	
Péage de Roussillon	Lône de la Sainte	2009-2013 [3]		2008-2012 [2]		2009-2011 [2]	2013 [1]		2013 [1]
Péage de Roussillon	Lône de la Sainte	2007-2011 [2]	2013[1]	2008-2012 [2]		2009-2011 [2]	2013 [1]		2013 [1]
Montélimar	Lône de la Roussette	2009-2011 [2]	2013[1]	2009-2012 [2]				2008-2011 [3]	2013 [1]
Donzère	Bayard	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2010-2013 [1]	
Donzère	Caderousse	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2010-2013 [1]	
Donzère	Malaubert	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2010-2013 [1]	
Donzère	Grange écrasée	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [2]		2010-2013 [1]	
Donzère	Malatras		2009-2013 [3]	2009-2012 [2]		2009-2013 [2]			
Donzère	Jones	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2010-2013 [1]	
Donzère	Carré	2009-2013 [3]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]		2010-2013 [1]	
Donzère	République	2009 [1]		2009-2012 [2]		2009-2013 [3]			

Annexe 4

Abondances relatives des différentes espèces de poissons

Abondances relatives des différentes espèces de poissons dans l'Ardèche, l'Ain, les Vieux-Rhône de Chautagne (CE), Belley (BY), Brégnier-Cordon (BC), Miribel (MI), Pierre-Bénite (PB), Péage de Roussillon (PR), Baix-le-Logis-Neuf (LN), Montélimar (MO et Donzère-Mondragon (DM).

Compte-tenu des périodes d'échantillonnage relativement longues avant restauration dans certains Vieux-Rhône, deux périodes peuvent être distinguées avant restauration (*a* et *b*), *les données post-restauration sont identifiées par « c »*. Pour chaque secteur, les périodes prises en compte sont : CE_a (1985-1995), CE_b (1996-2003), CE_c (à partir de 2004), BY_a (1985-1997), BY_b (2003-2004), BY_c (à partir de 2005), BC_a (1985-1997), BC_b (2003-2005), BC_c (à partir de 2006), MI_a (1995), MI_b (2007-2013), PB-b (1995-1999), PB_c (à partir de 2000), PR-a (1985-2006), PR_b (à partir de 2007).

Pour chaque site et chaque période, la proportion d'espèces d'eaux vives (barbeau fluviatile, spirilin, blageon, loche franche, chabot) et d'espèces d'eaux courantes (ablette, barbeau fluviatile, hotu, toxostome, vandoise, marquée en rouge dans le tableau) est indiquée. L'effort d'échantillonnage (en nombre de points de pêches effectués) est également disponible pour chaque site et chaque période.

Secteur/periode	AIN	ARD	CE_a	CE_b	CE_c	BY_a	BY_b	BY_c	BC_a	BC_b	BC_c	MI_a	MI_b	PB_b	PB_c	PR_a	PR_b	LN	MO	DM
nbpoint	110	1035	510	593	1001	401	375	1801	1295	414	1600	50	700	171	599	860	840	343	1309	1007
ABL	0,6	4,9	1,6	1,8	7,3	10,0	13,7	4,2	17,2	2,9	7,7	1,3	1,8	7,5	34,9	17,1	23,6	9,2	29,3	25,0
ANG		0,2	0,0		0,1		0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	0,8	0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,7	1,8	1,1
APR		0,0																		
BAF	4,7	7,7	6,8	4,5	13,2	15,1	8,6	17,8	3,3	9,7	15,0	13,0	14,5	6,1	5,0	0,4	1,0	2,9	7,7	12,5
BBG																0,0				
BLE					0,1	0,0	0,0	0,2			0,7		0,0	0,1	0,0		0,0			
BLN	4,9	7,3	0,3	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,8	0,3	1,0		0,2					0,1		0,0
BOU		0,0	0,1	0,2		0,6	0,5	1,2	1,2	1,3	0,4		0,0	0,5	0,1	3,0	11,3	3,1	0,7	0,7
BRB		0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,2	1,0	1,8	0,7		0,2	2,2	5,1	8,1	1,1	1,2	10,9	1,4
BRE	0,1			0,4	0,1	0,2	0,7	0,3	0,1	0,3	0,1		0,0	0,0		0,6	0,5	0,1	0,2	0,0
BRO	0,7		0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4		0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
CGO		0,1		0,0				0,0			0,0			0,0	0,1	0,0	0,8	0,3	0,3	0,2
CCO		0,0									0,0			0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
CHA	0,7						0,1	0,6		0,2	0,8	2,1	0,4	1,3	0,4		0,0	0,1	0,1	0,1
CHE	13,6	10,4	22,5	20,3	24,6	20,6	16,6	22,8	20,2	36,3	26,5	13,4	6,8	26,0	15,8	6,8	11,1	11,0	18,7	17,8
EPI			0,1	1,3	0,7	0,2	0,5	1,3	0,2	0,8	0,4		0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0
GAR	2,2	0,6	4,0	26,0	7,9	14,4	2,6	12,0	14,3	3,9	6,9	0,8	0,2	20,8	15,7	43,3	22,1	5,2	5,3	3,0
GOU	0,6	22,3	8,3	3,9	7,4	3,9	18,5	11,7	12,1	13,3	9,3	0,8	1,2	10,1	6,0	7,6	6,4	9,9	5,7	5,6
GRE	0,1		0,5	0,3	0,7	0,3	2,6	0,7	0,4	0,7	0,5		0,0	0,5	0,4	0,1	0,3	0,0	0,3	0,0
HOT	2,0	2,1	14,9	2,1	1,7	11,6	8,9	2,5	10,6	6,2	2,2	55,2	5,9	0,8	3,6	3,6	2,7	5,7	7,2	15,9
IDE														0,0			0,0			
LOF	13,1	2,4	4,7	14,2	7,9	2,2	3,1	3,1	0,3	1,3	2,4		3,8	12,9	2,1	0,4	4,7	9,1	5,0	9,0
LOT	0,0		0,0			0,1	0,1	0,3	0,1											
LPP								0,0			0,0								0,0	
OBR			0,4	0,6	0,4	0,1	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0									
PCH	0,0	0,0							0,0	0,0	0,2			0,1	0,1	0,4	0,5			0,0
PER	2,0	0,1	1,6	0,4	0,8	0,8	1,1	1,1	2,3	3,0	3,9		0,3	0,4	1,5	0,4	1,5	0,2	1,2	0,2
PES	0,6	0,4	0,2	0,2	0,8		0,3	0,2	1,4	0,8	1,9		0,1	6,1	1,8	5,8	5,0		0,3	0,1
PSR	0,1				0,1		0,0	0,0	0,0		0,2		0,3	0,8	0,1	0,7	5,1	4,2	1,3	1,7
ROT				0,1				0,0	0,1		0,0			0,5	0,2	0,7	1,3		0,1	
SAN					0,0			0,1	0,0		0,0			0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	
SIL					0,0						0,0		1,1	0,5	0,5	0,0	0,4	0,2	0,4	0,4
SPI	5,7	28,1	4,6	1,1	2,9	4,9	2,0	6,4	3,2	8,4	8,9	7,1	34,8	1,3	4,8		0,0	0,5	2,9	3,0
TAN	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,6	0,3	0,2	0,4	0,6		0,0	0,5	0,2	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1
TOX		0,5							0,1					0,0					0,0	
TRF	1,7	0,0	0,7	0,2	0,2	0,5	0,9	1,0	0,3	0,8	0,2			0,0						
VAI	44,1	12,7	21,1	21,2	21,9	1,8	3,9	4,3	0,8	2,5	6,3	5,0	28,0	0,0	0,5		0,0	35,6	0,2	2,1
VAN	2,5	0,2	7,5	1,1	0,8	12,0	13,1	6,0	9,1	4,3	2,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	0,0			
Eff. Tot.	3690	23618	6366	11666	10910	5063	3532	10710	10454	2013	8814	239	13602	4640	8985	17960	14949	3000	6814	7236
Nb Esp	22	23	23	24	26	23	27	31	29	25	33	11	26	31	28	26	30	25	28	26
EV	29,2	45,5	16,4	19,8	24,1	22,5	13,8	28,0	7,7	20,0	28,1	22,2	53,7	21,6	12,2	0,7	5,5	12,7	15,8	24,6
EC	9,8	15,3	31,1	10,1	23,4	48,8	45,1	31,4	40,3	23,1	27,4	69,9	22,4	14,7	44,0	19,7	28,4	17,8	44,3	53,4

Liste des espèces de poissons et codes utilisés

Famille	Nom commun	Nom latin	Code
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
Lotidés	lote	<i>Lota lota</i> (Linné, 1758)	LOT
Cyprinidés	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)	GAR
	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
	Tanche	<i>Tinca tinca</i> (L., 1758)	TAN
	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L., 1766)	VAI
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758)	ABL
	Spiralin	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	SPI
	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i> (L., 1758)	BRB
	Brème commune	<i>Abramis brama</i> (L., 1758)	BRE
	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
	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i> (L., 1758)	BAF
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i> (L., 1758)	CCO
	Carassin argenté	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	CGO
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	Achigan à grande bouche	<i>Micropterus salmoides</i> (Lacépède, 1802)	BBG
	Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i> (L., 1758)	PES
Percidés	Apron	<i>Zingel asper</i> (L., 1758)	APR
	Perche fluviatile	<i>Perca fluviatilis</i> (L., 1758)	PER
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i> (L., 1758)	GRE
	Sandre	<i>Stizostedion lucioperca</i> (L., 1758)	SAN
Cottidés	Chabot	<i>Cottus gobio</i> (Linné, 1758)	CHA

Annexe 5

Liste des taxons de macroinvertébrés et Analyse en Composante Principale (ACP)

Liste des 122 taxons retenus pour l'ACP sur les macroinvertébrés du chenal et projection des scores des taxa dans le plan 1x3 de l'ACP (afin de faciliter la lecture, les taxons ayant un score sur les axes 1 et 3 inférieur à 0.3 ne sont pas représentés).

AALB	Athripsodes albifrons	HEME	Hemerodromiinae
AAQU	Asellus aquaticus	HEPT	Heptageniidae
AFLU	Ancylus fluviatilis	HESP	Heptagenia spp.
AMSP	Amphinemura spp.	HEXO	Hydropsyche exocellata
ASEL	Asellidae	HINC	Hydropsyche incognita
ATSP	Athripsodes spp.	HINV	Hypania invalida
AVIT	Antocha vitripennis	HMOD	Hydropsyche modesta
BAET	Baetidae	HSIL	Hydropsyche siltalai
BASP	Baetis spp.	HSTA	Helobdella stagnalis
BFUS	Baetis fuscatus	HSUL	Heptagenia sulphurea
BRHO	Baetis rhodani	HYSP	Hydropsyche spp.
BTEN	Bithynia tentaculata	JIST	Jaera istri
BVAR	Baetis vardarensis	LEPT	Leptoceridae
CALM	Caenis luctuosa-macrura	LESP	Leuctra spp.
CASP	Caenis spp.	LEUC	Leuctridae
CCSP	Chelicorophium curvispinum-sowinskyi	LISP	Limnius spp.
CCUR	Chelicorophium curvispinum	LYMN	Lymnaeidae
CDIS	Ceraclea dissimilis	MAZU	Mystacides azurea
CERA	Ceratopogoninae	MISP	Micronecta spp.
CESP	Ceraclea spp.	OESP	Oecetis spp.
CFLU	Corbicula fluminea	ORTH	Orthoclaadiinae
CHEL	Chelicorophium spp.	OUSP	Oulimnius spp.
CHSP	Chironomini	OVIL	Orectochilus villosus
CLEP	Cheumatopsyche lepida	PACU	Physella acuta
CLIN	Clinocerinae	PANT	Potamopyrgus antipodarum
CLUC	Caenis luctuosa	PBIF	Procloeon bifidum
CMAC	Caenis macrura	PFLA	Polycentropus flavomaculatus
CORI	Corixidae	PGEO	Piscicola geometra
CRIV	Caenis rivulorum	PHYS	Physidae
CSOW	Chelicorophium sowinskyi	PISP	Pisidium spp.
CSPL	Calopteryx splendens	PLAN	Planorbidae
CTRI	Cyrnus trimaculatus	PLUT	Potamanthus luteus
DLAC	Dendrocoelum lacteum	PMER	Proasellus meridianus
DPOL	Dreissena polymorpha	POLY	Polycentropodidae
DRSP	Dryops spp.	PONT	Polycelis nigra-tenuis
DTIG	Dugesia tigrina	POSP	Polycentropus spp.
DUPL	Dugesia polychroa-lugubris	PPUS	Psychomyia pusilla
DVIL	Dikerogammarus villosus	PSYC	Psychomyiidae
ECSP	Ecdyonurus spp.	RABL	Radix balthica-labiata
ELSP	Elmis spp.	RASP	Radix spp.
EOCT	Erpobdella octoculata	RAUR	Radix auricularia
ERSP	Erpobdella spp.	RHPS	Rhithrogena spp.
ESSP	Esolus spp.	RHSP	Rhyacophila s. stricto spp.
ETEN	Ecnomus tenellus	RHYA	Rhyacophilidae
EVIR	Ephoron virgo	RISP	Riolus spp.
FFRA	Ferrissia fragilis	RSEM	Rhithrogena semicolorata
GALB	Gyraulus albus	SIGN	Serratella ignita
GAPO	Gammaridae-Pontogammaridae	SIMU	Simuliidae
GASP	Gammarus spp.	SNIG	Silo nigricornis
GBOL	Glossosoma boltoni	SPHA	Sphaeriidae
GCOM	Glossiphonia complanata	SPUN	Setodes punctatus
GFOS	Gammarus fossarum	TABA	Tabanidae
GLSP	Glossosoma spp.	TANY	Tanypodinae
GOER	Goeridae	TASP	Tanytarsini
GPAR	Gyraulus parvus	TFLU	Theodoxus fluviatilis
GPIL	Goera pilosa	TIPA	Tipula sp.
GPUL	Gammarus pulex	TIPU	Tipulidae
GTIG	Gammarus tigrinus	TMAJ	Torleya major
HASP	Haliphus spp.	VASP	Valvata spp.
HCON	Hydropsyche contubernalis	VCRI	Valvata cristata
HDSP	Hydroptila spp.	VPIS	Valvata piscinalis



Position des taxons de macroinvertébrés sur le plan factoriel F1-F3 de l'ACP

Annexe 6

Restauration et diversité des types de lônes

Il est à présent possible d'établir un descriptif de l'évolution éco-hydromorphologique des bras restaurés au regard des actions de restauration entreprises. Les lônes des Luisettes, de Béard, d'En l'Île sur le Vieux-Rhône de Belley, puis les lônes des Granges et des Molottes à Brégnier-Cordon constituent de bons exemples de la diversité des modes de restauration et des changements observés (sédimentologie, peuplements de macroinvertébrés benthiques et de poissons).

Avant travaux (Fig. 6) les lônes des Luisettes, d'En l'Île et des Granges se trouvaient perchées au-dessus du chenal actif. Elles ne contenaient que quelques zones en eau résiduelles et leur fond était essentiellement constitué de matériaux grossiers. Les lônes de Béard et des Molottes étaient quant à elles totalement isolées du fleuve. L'essentiel du linéaire de Béard était recouvert de dépôt limoneux et parfois sableux. La lône des Molottes se trouvait dans un état de comblement avancé par les sédiments fins.

Le volume aquatique habitable de l'ensemble de ces bras a été augmenté par approfondissement, parfois associé à un allongement et un élargissement du lit mouillé. À l'exception de la lône des Molottes, toutes ont bénéficié de l'augmentation du débit réservé aux barrages de Lavours (Belley) ou de Champagnieux (Brégnier-Cordon). La lône des Luisettes n'a subi aucune action supplémentaire autre que l'excavation réalisée sur sa partie amont. La lône d'En l'Île a été totalement reconnectée à l'amont et à l'aval. Les lônes des Granges et des Molottes ont été reconnectées à l'aval, la connexion aval de la lône de Béard est très restreinte.

Lône des Luisettes (Belley)

La lône des Luisettes est connectée par l'amont au Rhône pour un débit estimé à $229 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Les relevés hydromorphologiques ont démontré que cette lône présente une très bonne capacité d'auto-curage (en 2013 : érosion quasi totale des dépôts de fines accumulées préalablement). Les contraintes hydrauliques en crue sont importantes, notamment à l'amont de la zone en eau permanente. Un engravement progressif de cette dernière est observée et est potentiellement imputable à la progradation du bouchon amont constitué de matériaux grossiers (~ 62 m entre 2006 et 2013).

Illustration montrant l'avancée du bouchon amont de la lône des Luisettes sur deux années. La flèche noire indique la localisation de la prise de vue de 2011 sur le cliché de 2013.



L'amont restauré de cette lône montre peu de changements des communautés benthiques au cours du temps (Fig. A6-1). La richesse totale de la communauté indigène demeure moyenne à faible, une conséquence probable des contraintes hydrauliques importantes et fréquentes, mais potentiellement aussi de conditions d'oxygénation défavorables (valeurs non publiées de l'ordre de 3 mg.l⁻¹ mesurées de façon répétées en 2008-2009). Les espèces exogènes sont en progression et constituent environ 10% des effectifs.

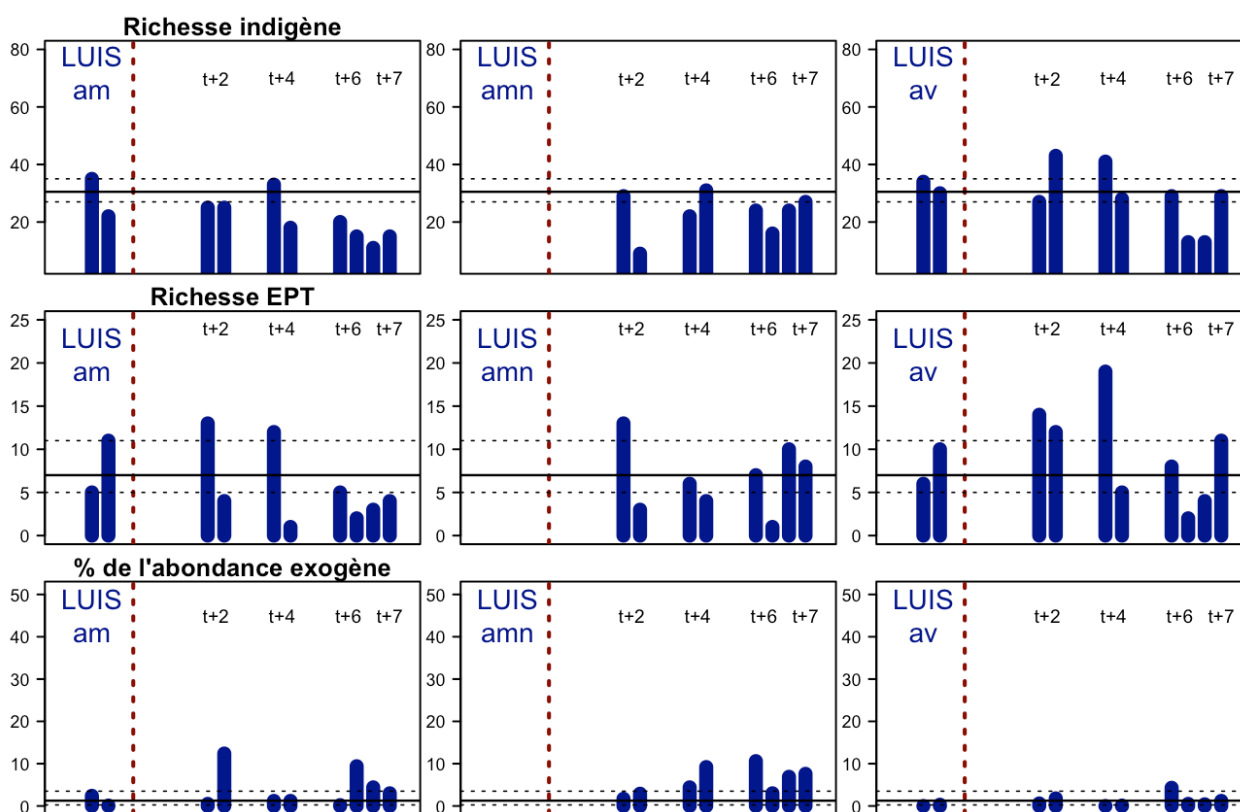


Figure A6-1. Lône des Luisettes. De haut en bas : richesse totale en taxons indigènes, en insectes EPT et proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes. Droite verticale pointillée : restauration. Droites horizontales : médiane et intervalle interquartile (Q25-Q75) des valeurs pré-restauration pour les lônes du secteur de Belley. Pré-restauration : VII-2003 & IV-2004 ; t+2 : IV & VII-2007 ; t+4 : IV & VII-2009 ; t+6 : IV & VII-2011 ; t+7 : IV & VII-2012.

La valeur moyenne des effectifs de poissons échantillonnés après restauration est de 74 (pour un effort d'échantillonnage de 25 points par an), les espèces dominantes sont l'**épinoche**, le **gardon** et la **bouvière**. Ces effectifs très bas témoignent de la faible capacité d'accueil de la lône des Luisettes pour les poissons, spécialement pour les juvéniles de l'année qui représentent en moyenne 57% des effectifs capturés. Le diagnostic écologique basé sur les peuplements de macrophytes indique un milieu mésotrophe avec des apports en eau souterraine importants, notamment dans la partie amont de la lône.

Lône d'En l'Île (Belley)

Sur En l'Île, chenal secondaire actif, la sédimentation fine est très peu significative et le peu de dépôts mesurés épisodiquement s'avère facilement mobilisable lors des crues. Ce dynamisme est également bien illustré par les modifications de géométrie observées sur ce bras courant (élargissement important par érosion latérale).

Cette lône est l'exemple du rétablissement, par la reconnexion complète, de communautés benthiques riches en éléments lotiques typiques (richesse en insectes EPT de l'ordre de 10 à 15 taxons, Fig. A6-2). Les espèces exogènes sont en forte progression (10% à 20% des effectifs).

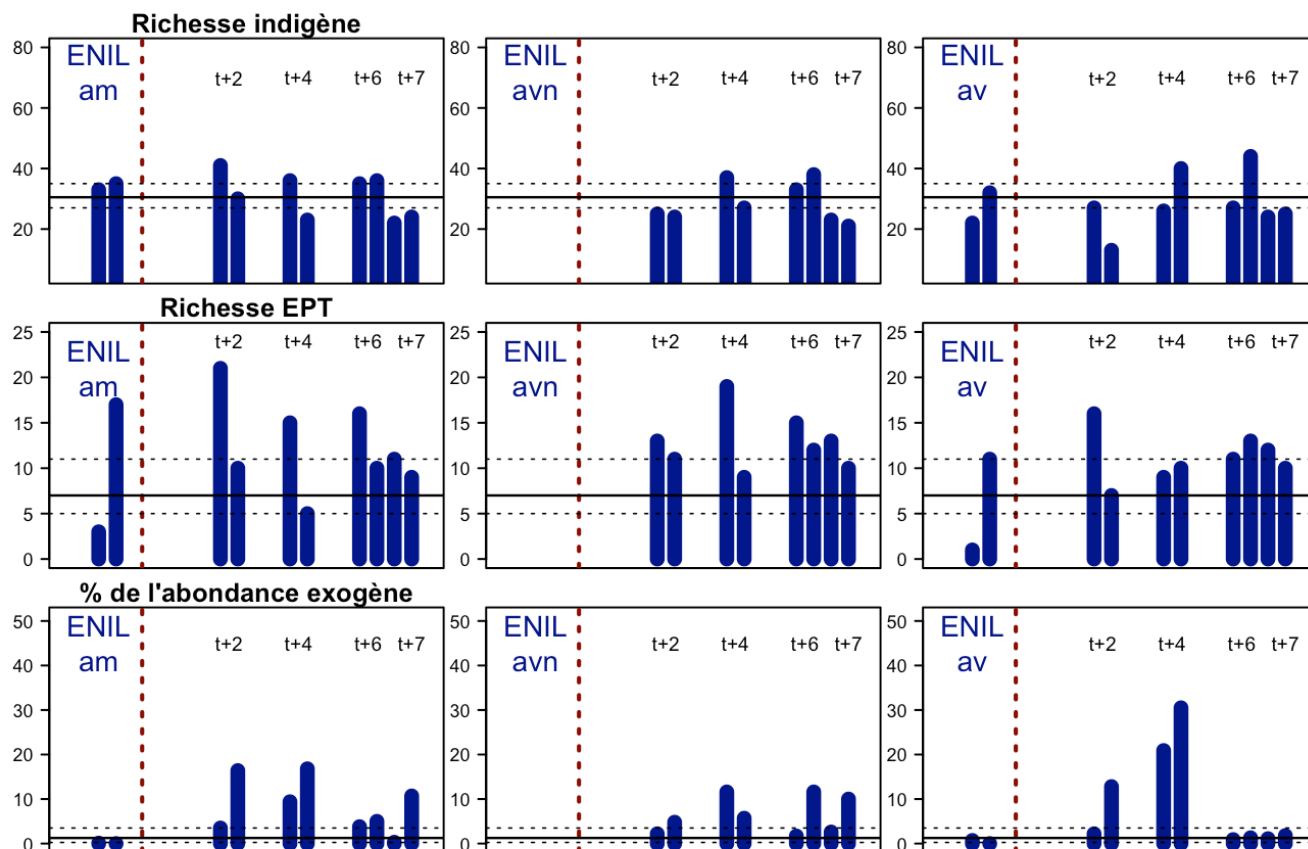


Figure A6-2. Lône d'En l'Île. De haut en bas : richesse totale en taxons indigènes, en insectes EPT et proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes. Droite verticale pointillée : restauration. Droites horizontales : médiane et intervalle interquartile (Q25-Q75) des valeurs pré-restauration pour les lônes du secteur de Belley. Pré-restauration : VII-2003 & IV-2004 ; t+2 : III & VII-2007 ; t+4 : III & VII-2009 ; t+6 : IV & VII-2011 ; t+7 : IV & VII-2012.

La valeur moyenne des effectifs de poissons échantillonnés après restauration est de 148 individus (pour un effort d'échantillonnage de 25 points par an), la proportion moyenne de juvéniles de l'année est de 61%. La reconnexion complète de la lône a mis à disposition des poissons différents types d'habitats et 26 espèces (dont la **truite fario**) ont été échantillonnées dans cette lône entre 2005 et 2013. Cette lône abrite la plupart des espèces de cyprinidés du secteur, en particulier le **chevaine**, le **gardon**, le **goujon**, le **barbeau**, la **vandoise**, le **vairon** et la **tanche**.

Lône des Granges (Brégner-Cordon)

La lône des Granges est connectée à l'amont au Rhône pour un débit estimé à $539 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Elle possède un fond essentiellement graveleux. En 2013, 36.6% du fond de ce bras est recouvert par les sédiments fins (13.8% en 2006, 6.9% en 2007, 30.7% en 2009, 41.6% en 2011). La sédimentation fine est faible (0.98 cm/an en moyenne de 2006 à 2013) et s'organise longitudinalement dans deux zones de dépôts préférentielles. Elle dispose d'une bonne capacité d'auto-entretien lors du passage des crues débordantes amont.

Cette lône est l'exemple d'un enrichissement notable des communautés benthiques suite à la restauration dans un contexte globalement stagnant. Ainsi, la richesse en taxons indigènes double dans la station avale, et celle des insectes EPT dépasse largement la référence pré-restauration pour le secteur de Brégner-Cordon (Fig. A6-3). Cette situation est très stable depuis la restauration et ne s'accompagne pas de l'expansion des taxons exogènes.

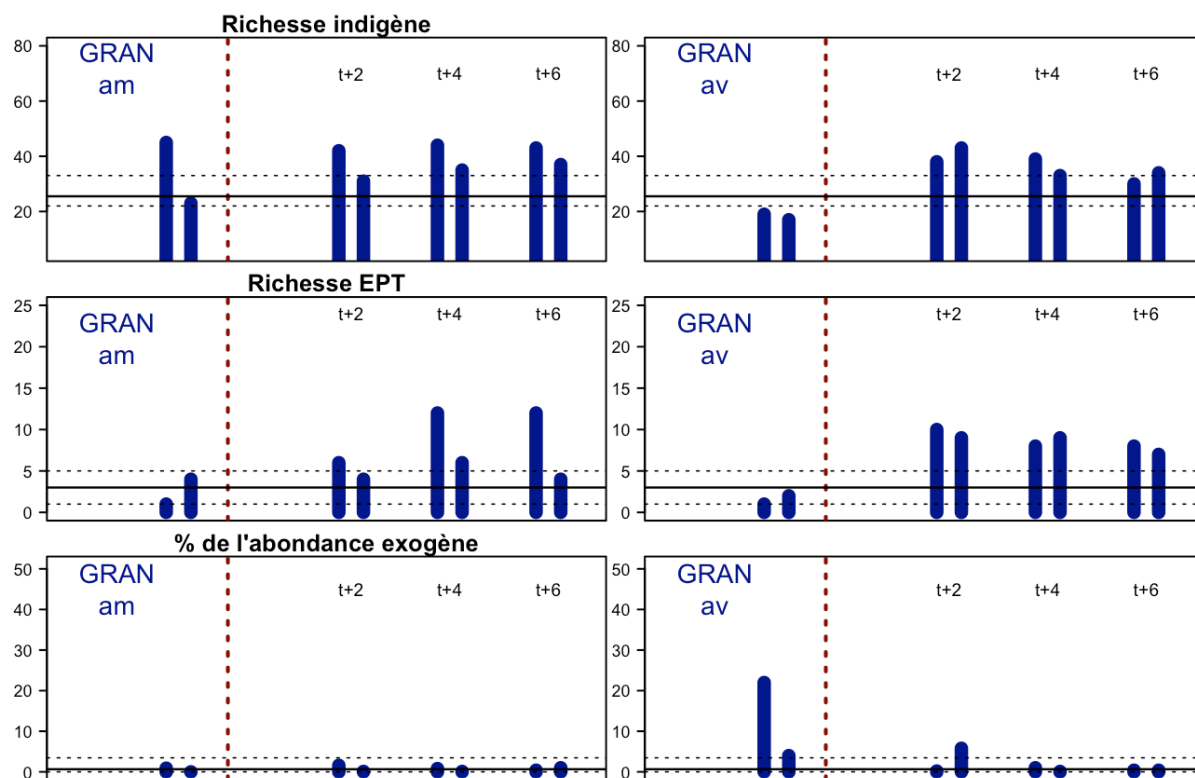


Figure A6-3. Lône des Granges. De haut en bas : richesse totale en taxons indigènes, en insectes EPT et proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes. Droite verticale pointillée: restauration. Droites horizontales : médiane et intervalle interquartile (Q25-Q75) des valeurs pré-restauration pour les lônes du secteur de Brégner-Cordon. Pré-restauration : IV & VII-2004 ; t+2 : IV & VII-2008 ; t+4 : III & VII-2010 ; t+6 : IV & VII-2012.

La proportion moyenne de juvéniles de l'année entre 2006 et 2013 est de 87.5% des poissons capturés. La variabilité interannuelle des effectifs de poissons échantillonnés est importante (5 à 200 individus) et l'épinoche est l'espèce dominante. Le diagnostic fonctionnel basé sur la végétation aquatique décrit une évolution d'un milieu mésotrophe après restauration vers un milieu eutrophe à partir de 2010.

Lône de Béard (Belley)

La lône de Béard est connectée par l'amont au Sérán pour un débit de $982\,539\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ dans le Vieux-Rhône. Ce bras possède un bon potentiel d'auto-curage, mais il est très rarement connecté (Fig. A6-4). En 2013, 88.9% du linéaire était recouvert par les fines. A l'échelle du bras, la vitesse de comblement par les fines n'est pas très élevée (2.6 cm/an en moyenne sur la période 2005-2013). L'essentiel des dépôts se réalise sur deux sections préférentielles : à l'amont du cinquième plan d'eau (depuis l'amont) et surtout au niveau de la dernière mouille dans la partie aval de la lône.

Le long de la lône de Béard les communautés benthiques traduisent la succession de conditions variées (Fig. A6-4), probablement liées aux conditions de mise en connexion. A l'amont (station BEAR_{am} recreusée mais peu fréquemment connectée au fleuve), les communautés sont pauvres avec des pics saisonniers d'espèces exogènes (le mollusque *Gyraulus parvus*). Par contre à l'aval, la dernière mouille (station BEAR_{avn}) est un autre exemple de milieu stagnant créé par creusement ayant développé une communauté riche (souvent plus de 40 taxons indigènes) peu marquée par les espèces exogènes. L'extrémité aval de la lône, ouverte sur le Rhône mais non recreusée, est l'un des "hot-spot" de diversité du secteur de Belley (souvent plus de 15 insectes EPT), elle a probablement bénéficié de l'augmentation du débit réservé dans le chenal.

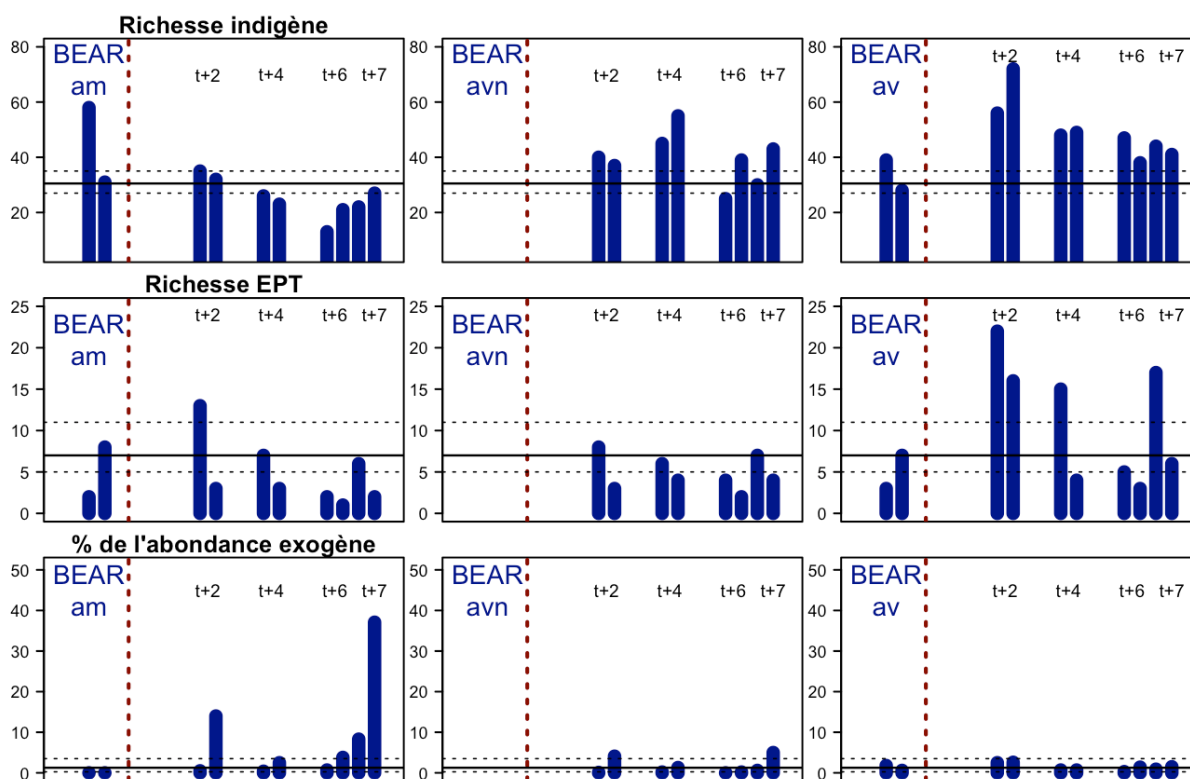


Figure A6-4. Lône de Béard. De haut en bas : richesse totale en taxons indigènes, en insectes EPT et proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes. Droite verticale pointillée: restauration. Droites horizontales : médiane et intervalle interquartile (Q25-Q75) des valeurs pré-restauration pour les lônes du secteur de Belley. Pré-restauration : VII-2003 & IV-2004 ; t+2 : IV & VII-2007 ; t+4 : IV & VII-2009 ; t+6 : IV & VII-2011 ; t+7 : IV & VII-2012.

La lône de Béard ne constitue pas un milieu attractif pour les poissons : seulement 34 individus en moyenne capturés sur la période 2005-2013 (178 poissons ont été capturés la première année après restauration). La faible profondeur associée à une alimentation phréatique importante et une forte densité de végétation aquatique rendent cette lône inhospitalière pour les poissons.

Lône des Molottes (Brégnier-Cordon)

La lône des Molottes est un exemple typique de fonctionnement en décantation (figure A6-5). Elle fait partie des bras possédant une durée de vie du stade aquatique limitée par la conjonction d'un alluvionnement intense (12.5 cm/an en moyenne sur la période 2006-2011) et d'une capacité d'auto-entretien très faible (figure A6-5). Le bras est très sensible au retour d'eau et sa propension à décanter a été exacerbée par le curage du fond.

Avant restauration, la partie aval du thalweg était en eau peu profonde, voir temporaire. Après reconnexion, les communautés indigènes traduisent un enrichissement notable et soutenu au cours du suivi (Fig. A6-5). Cet enrichissement s'accompagne toutefois d'une explosion des espèces exogènes lénitophiles comme les mollusques *Gyraulus parvus* et *Haitia acuta* (qui représentaient jusqu'à 50% de l'abondance au printemps 2012). A l'amont du thalweg, des mouilles isolées, non touchées par la restauration, constituent des témoins stagnants (MOLO am). Elles témoignent de la stabilité des richesses et du maintien d'une très faible proportion d'espèces exogènes.

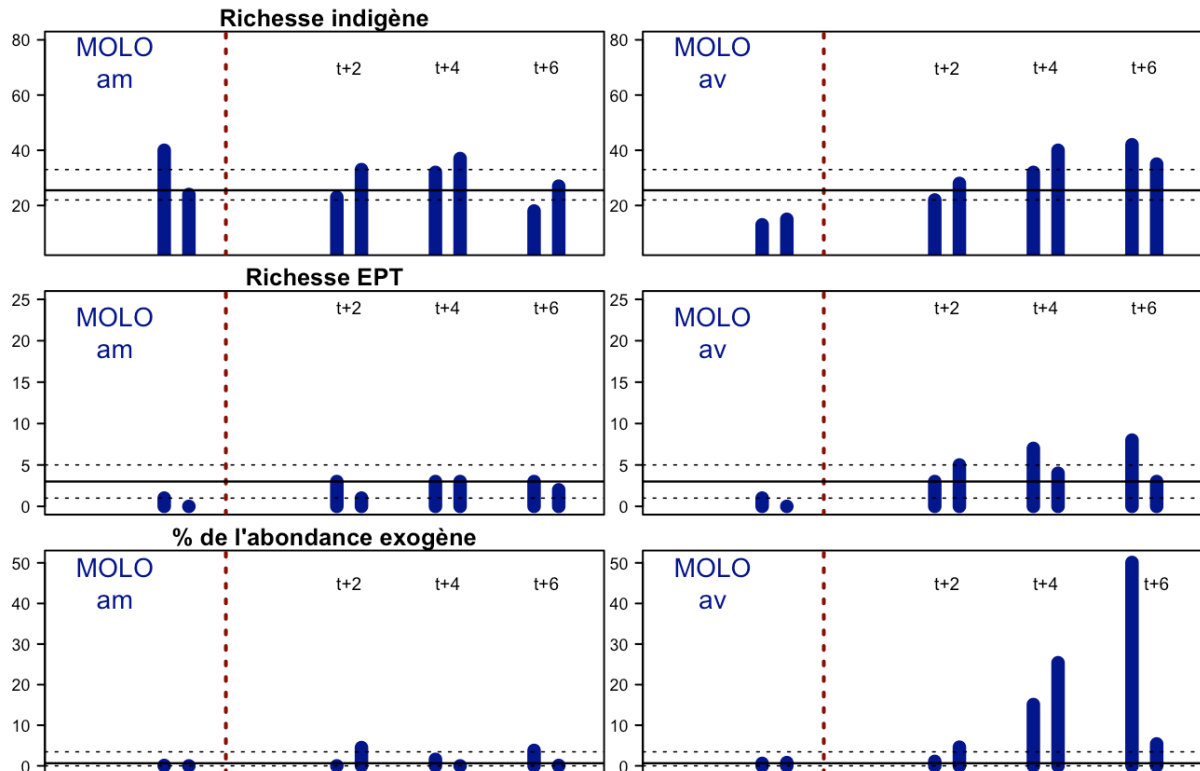


Figure A6-5. Lône des Molottes. De haut en bas : richesse totale en taxons indigènes, en insectes EPT et proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes. Droite verticale pointillée: restauration. Droites horizontales :

médiane et intervalle interquartile (Q25-Q75) des valeurs pré-restauration pour les lônes du secteur de Brégnier-Cordon. Pré-restauration : VII-2004 & IV-2005 ; t +2 : IV & VII-2008 ; t+4 : III & VII-2010 ; t+6 : IV & VII-2012

Cette lône constitue une zone de reproduction et de croissance importante pour les poissons. La valeur moyenne des effectifs de poissons échantillonnés entre 2006 et 2013 est de 530 (amplitude : 68 individus en 2006 et 1772 en 2013), 82% des poissons capturés (moyenne interannuelle) sont des juvéniles de l'année. Vingt-deux espèces ont été échantillonnées entre 2006 et 2013, les espèces les plus abondantes sont le **chevaine**, la **bouvière**, l'**ablette**, la **brème bordelière** et le **goujon**. Cette lône abrite également la majorité des espèces phytophiles (qui déposent leurs œufs sur la végétation aquatique) : le **brochet**, la **tanche**, le **rotengle** et la **perche commune**. Le diagnostic fonctionnel basé sur la végétation aquatique décrit cette lône comme un milieu hyper-eutrophe. Néanmoins, les très fortes abondances de poissons en fin d'été semblent témoigner du fait que les conditions d'oxygénation de l'eau restent satisfaisantes.

Annexe 7
Fiches synthétiques par site

Secteur de Chautagne

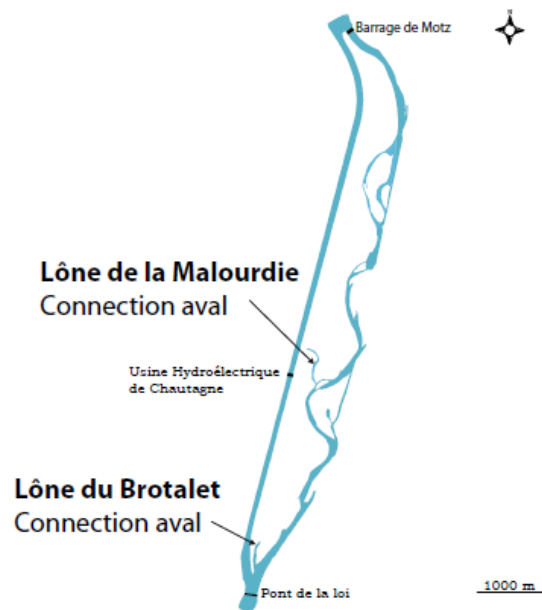
Le Vieux-Rhône

Section court-circuitée de 8.9 km de long dont ~ 7 courants, comportant 2 seuils franchissables (PK 143.030 et 143.650), alimentée par le barrage de Motz et ne recevant aucun affluent.



Avant

Après



La restauration

Premier secteur restauré du Haut-Rhône, caractérisé par des vitesses fortes qui ont doublé après restauration.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2004 (m3/s)	10					20					10	
<i>Vitesse (m/s)</i>	<i>0.35</i>											
Débit minimum >2004 (m3/s)	50				70				50			
<i>Vitesse (m/s)</i>	<i>0.74</i>											

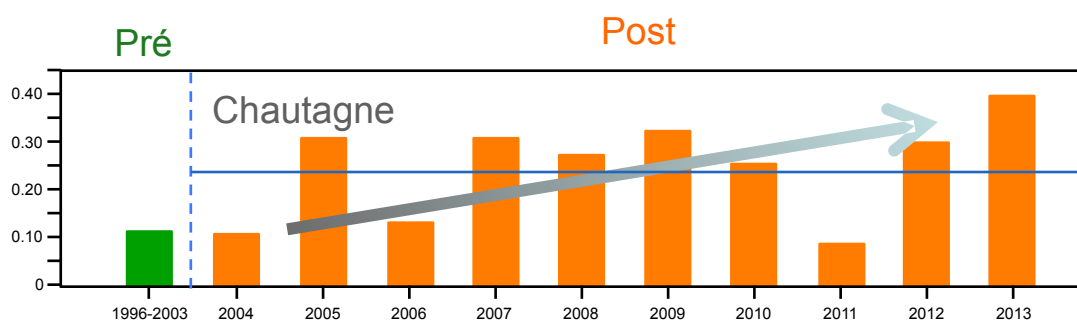
Deux lônes ont été réhabilitées : la lône de la Malourdie (alimentée en partie par le contre-canal de rive gauche de l'aménagement et en partie par le sous-écoulement) et la lône du Brotalet (située à l'extrémité aval du Vieux-Rhône et principalement alimentée par d'intenses retours d'eaux

résultant de la proximité du canal de restitution). La partie amont est partiellement alimentée par le sous-écoulement et la turbidité y est généralement plus faible que dans la zone aval plus influencée par le remous de l'aménagement hydroélectrique.

Secteur tressé typique avant l'aménagement, le secteur de Chautagne ne comportait que peu de lônes potentiellement réhabilitables. La lône de Malourdie a été recreusée et reconnectée au Rhône court-circuité par l'aval, la lône de Brotalet a été élargie, approfondie, et sa longueur a été augmentée en creusant le banc de galets à l'amont.

Effets de la restauration

Augmentation de débit réservé : Le Vieux-Rhône de Chautagne a fait l'objet d'un suivi hydrobiologique depuis la mise en service de l'aménagement hydroélectrique. L'évolution progressive du peuplement de poissons suite à la mise en débit réservé du Vieux-Rhône a conduit à un basculement de la structure du peuplement marqué par une raréfaction du hotu et de la vandoise et une augmentation marquée des densités de loches franches et de vairons. Le barbeau et le chevaine ont maintenu des populations importantes. Les populations de truite fario et d'ombre commun ont subsisté mais avec de faibles densités. Le Vieux-Rhône de Chautagne abrite également des espèces plus limnophiles comme la brème commune, la carpe, le goujon, le brochet et la tanche. Suite à l'augmentation des débits réservés, les modifications de structure de peuplement attendues (augmentation des proportions d'espèces "d'eau courante" : barbeaux fluviatiles, ombres communs, ablettes, hotus, et vandoises) sont progressivement observées avec une variabilité interannuelle importante. Néanmoins, certaines populations d'espèces caractéristiques du Haut-Rhône (hotu et vandoise en particulier) n'ont pas encore montré d'amélioration notable de leur état depuis 2004. Les proportions d'ablettes sont variables d'une année à l'autre mais l'espèce est bien implantée. Ceci met en évidence une abondance très faible de géniteurs de ces espèces dans le Vieux-Rhône. La modification du débit réservé semble avoir eu une influence favorable sur les populations d'ombre commun et de truite fario.



Evolution de la proportion d'espèces d'eaux courantes dans le Vieux-Rhône de Chautagne sur la période 1996-2003 (état pré-restauration) et après 2004 (augmentation des débits réservés). La ligne horizontale représente la valeur de la moyenne sur la période post-restauration.

Globalement, après modification du débit réservé, et en accord avec les attentes, l'abondance moyenne par prélèvement de certains taxons rhéophiles augmente considérablement après rehaussement du débit réservé. Par exemple, les abondances des mollusques *Ancylus fluviatilis* et *Theodoxus fluviatilis*, des éphéméroptères *Heptagenia* spp. et *Baetis* spp. ont plus que doublées après restauration. Inversement, l'abondance moyenne par prélèvement de certains taxons limnophiles diminue considérablement après rehaussement du débit réservé. Par exemple, les abondances du mollusque Planorbidae, des trichoptères Polycentropodidae ou *Mystacides azurea* ont été au moins divisé par 2 après restauration. Contrairement à ce qui est observé pour les poissons, les résultats montrent qu'il n'existe qu'une corrélation faible entre les variations de valeurs d'habitat prédites pour les macroinvertébrés et les variations des densités observées sur le terrain avant et après restauration dans le secteur de Chautagne. Cependant, lorsqu'on ajoute des données long terme avant restauration (1997-2002), les prédictions expliquent alors 27% des changements observés après restauration. De même, les prédictions expliquent un pourcentage plus fort lorsqu'on considère les observations sur du plus long terme après restauration (jusqu'à 36% des changements de densités observés 5 ans après restauration).

Réhabilitation des lônes : Les deux lônes réhabilitées ont des caractéristiques physico-chimiques et biologiques différentes en raison de la nature de leur alimentation en eau. La lône de la Malourdie reste fraîche tout au long de l'année, les eaux sont très claires, elle abrite peu d'espèces de macrophytes, les fonds sont majoritairement limoneux. Elle offre peu d'habitats favorables pour les poissons et en particulier pour la reproduction et le développement des jeunes stades. Les principales espèces trouvées dans cette lône sont l'épinoche et la loche franche. Les densités sont généralement très faibles. La connexion aval permet aux poissons de grande taille de pénétrer temporairement dans la lône (brochet). Un bouchon alluvial, où domine une matrice sableuse, s'est rapidement mis en place à la suite des travaux. Ce bras enregistre une vitesse de comblement rapide. Les dépôts se structurent de manière uniforme et homogène sur le fond, soulignant clairement que la lône fonctionne comme un « décanteur » (piège à sédiment). Le bouchon amont graveleux situé à l'arrivée du contre-canal dans la lône tend à s'exhausser et à prograder vers l'aval (~19 m de 2004 à 2012), ce qui indique que les écoulements peuvent être relativement compétents lorsque le bras est connecté par l'amont.

Après travaux, une végétation aquatique abondante s'est développée sur la lône de Brotalet, surtout dans sa partie amont où les dépôts de sédiments fins sont les plus importants. Cette caractéristique, associée à une profondeur relativement importante (souvent supérieur à 1 m), confère à ce milieu une capacité d'accueil importante pour la faune piscicole, notamment pour les espèces lénitophiles (tanche, rotengle, bouvière...). Néanmoins, elle montre des signes de comblement et est progressivement colonisée par des algues filamenteuses. La sédimentation tend à s'homogénéiser au cours du temps le long de la zone en eau permanente, même si des processus érosifs permettant un auto-curage du bras ont été observés entre 2006 et 2007. Les contraintes hydrauliques fortes lors des événements débordant amont ne semblent actuellement pas en mesure de contrecarrer la tendance à l'accumulation de fines imputable à la forte sensibilité du bras aux

retours d'eau en provenance du Rhône. Le banc de galets situé à l'amont de la zone en eau permanente tend à progresser dans cette dernière (~14 m de 2005 à 2012).

Potentiel d'évolution du site : pistes

Les vitesses sont déjà très élevées dans le chenal et les simulations d'augmentation de débit, comme sur la plupart des chenaux déjà restaurés, montrent qu'il ne faut pas attendre de gains d'habitat important pour de nouvelles augmentations raisonnables des débits minimum. En revanche, les observations réalisées depuis 2004 montrent que les crues ont encore un effet morphogène dans le Vieux-Rhône de Chautagne. La création de nouveaux bras courants, auto-entrenus si possibles (ex : étude hydraulique du potentiel d'épis obliques – déflecteurs), pourraient apporter des capacités d'accueil nouvelles pour certaines espèces, notamment pour les jeunes poissons (les lînes actuelles ne jouent pas ce rôle, cf. annexe 2) et les invertébrés rhéophiles potentiellement présents (cf. annexe 3). Au cours des trois dernières années, on observe une colonisation progressive des zones courantes par la renoncule aquatique qui occupe aujourd'hui des surfaces importantes sur les zones de reproduction des espèces de poissons rhéophiles. L'absence de connectivité longitudinale et de connexion avec des affluents est un frein notable à la recolonisation de ce secteur par des géniteurs de hotu et de vandoise. Un rétablissement des connexions avec les autres secteurs du Haut-Rhône serait probablement très bénéfique.

Comme dans les autres Vieux-Rhône, une gestion optimisée des vitesses de montée et de descente des débits lors des manœuvres de barrage de dérivation (Barrage de Motz) serait fortement conseillée. Il semble également que les éclusées du Haut-Rhône se déversent dans le Vieux-Rhône à certaines périodes, perturbations supplémentaires qui pourraient être caractérisées.

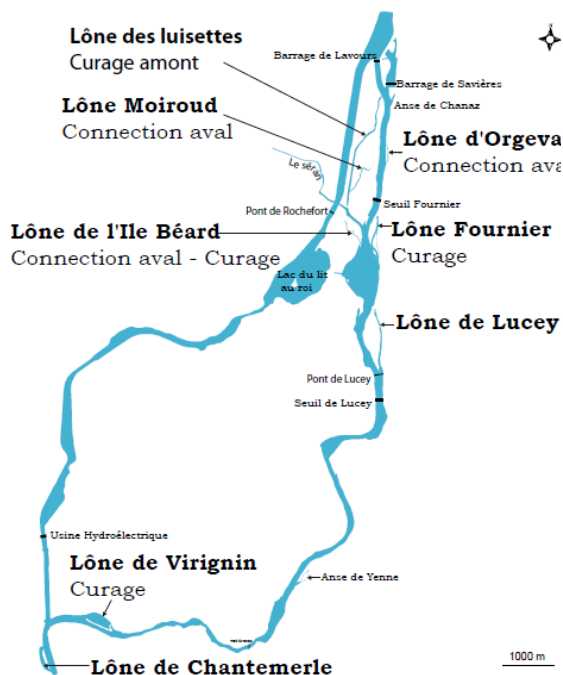
Secteur de Belley

Le Vieux Rhône

Section court-circuitée de 17.2 km de long dont ~12 courants, comportant 3 seuils (Fournier PK 129, Lucey PK 125.275, Yenne PK 117.900), alimenté par le barrage de Lavours et le Canal de Savières (connexion avec le Lac du Bourget) et recevant le Sérán.



Lône Béard



La restauration

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	
Débit minimum <2005 (m3/s)	25		28			20			28		25		
Vitesse (m/s)	0.25												
Débit minimum >2005 (m3/s)	60	90	100	90	80			60					
Vitesse (m/s)	0.44												

Neuf lônes ont été réhabilitées : l'Anse de Chanaz, la lône des Luisettes, la lône Moiroud, la lône Béard, la lône d'Orgeval, la lône Fournier, la lône de Lucey, l'Anse de Yenne (ou lône d'En l'Île), la lône de Virignin. L'objectif général à l'échelle du secteur était d'augmenter la diversité d'habitats au sein de la plaine alluviale en recréant différents types d'annexes fluviales. Le projet consistait à augmenter la surface en eau et à reconnecter les annexes au chenal courant, soit par les extrémités amont et aval, soit par l'aval uniquement. Pour certaines, le creusement du lit avait pour objectif d'augmenter l'alimentation par la nappe alluviale (Luisettes amont, Béard, Fournier). Pour

d'autres, il s'agissait de recréer des chenaux secondaires plus ou moins courants (Lucey, Anse de Yenne). Dans l'ensemble, la suppression des bouchons alluviaux, l'amélioration des modalités de connexion au Vieux-Rhône et le re-creusement, par terrassement ou dragages, a pour but général d'augmenter les capacités d'accueil pour le frai des poissons (notamment brochet) et des amphibiens, et de fournir des refuges aux organismes en période de crue.

Effets de la restauration

Augmentation de débit réservé : avant augmentation des débits réservés, le Vieux-Rhône de Belley présentait déjà une diversité d'habitats importante et abritait la plupart des espèces de poissons du Haut-Rhône. Les espèces typiques étaient bien représentées (cyprinidés rhéophiles, truite fario, ombre commun, lote, blennie fluviatile...) et trouvaient dans ce secteur les habitats nécessaires à l'accomplissement de leur cycle vital. Par ailleurs, les changements hydrauliques observés à Belley sont plus faibles que ceux observés à Chautagne ou Pierre-Bénite. En conséquence, la modification des débits réservés en juillet 2005 n'a pas induit de changements majeurs dans la structure du peuplement en place. Les changements de compositions de peuplement de macroinvertébrés attendus après modification des débits réservés ne sont pas encore significatifs 4 ans après restauration (prédiction des modèles). Cependant, les tendances observées montrent que les taxons potentiellement favorisés par les augmentations de débits augmentent, phénomène renforcé par le retour d'espèces qui avaient disparues du secteur (plécoptères, certaines éphémères plates), alors que les proportions de taxons limnophiles (préférant les vitesses de courant faibles) diminuent. Ces tendances devraient s'affirmer sur le long terme.

Réhabilitation des lones : les bras présentant continuellement ou fréquemment des écoulements vifs (Lucey, Anse de Yenne, Luisettes, Fournier) sont régulièrement entretenus par les crues, cependant leur géométrie (ou celle du chenal principal) n'est pas toujours fixe. La plupart de ces chenaux enregistrent ainsi une diminution de la hauteur d'eau moyenne indépendante du comblement par les sédiments fins. Les bras secondaires courants comme l'Anse de Yenne ont abrité immédiatement après restauration des espèces rhéophiles (truite par exemple) mais le ralentissement de l'écoulement consécutif au réajustement géomorphologique qui a suivi a plutôt conduit à une colonisation par des espèces moins liées aux forts courants (chevaine, vandoise, goujon). Dans les autres annexes, les processus de dépôt-érosion dépendent essentiellement de la fréquence et de l'intensité des crues et des retours d'eau. Ces lones enregistrent également des processus de rajeunissement. On notera que sur la lône de Béard la connexion aval permanente de la lône avec le Séran est à présent très limitée et la déconnexion proche. Les matériaux grossiers constituant le bouchon alluvial amont de la lône des Luisettes tend également à prograder dans la zone aquatique permanente (~62 m de 2006 à 2013). L'analyse des peuplements (végétation aquatique, macroinvertébrés et poissons) met en évidence une diversité de types de fonctionnement à la fois en relation avec l'importance (relative) de l'alimentation phréatique et du degré de connectivité avec le Vieux-Rhône (augmentation de la richesse en Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères avec le degré de connectivité). Comme dans le Vieux Rhône, les espèces non-

indigènes sont en augmentation après restauration, mais certaines lînes préservent des densités assez faibles de ces espèces et constituent à ce titre des systèmes remarquables (Luisettes, Moiroud). Les lînes connectées par l'aval au Vieux-Rhône, ne constituent pas, à Belley, des sites privilégiés pour la reproduction et le grossissement des juvéniles des espèces du Vieux-Rhône, soit parce qu'elles sont partiellement alimentées par des eaux phréatiques froides (Luisettes, Béard, Fournier) soit parce que l'accès est difficile (Moiroud, Luisettes). Tous les indicateurs utilisés mettent en évidence un état post-restauration transitoire.

Potentiel d'évolution du site : pistes

Le régime de débits réservés du site peut être considéré comme satisfaisant compte-tenu de la qualité des habitats aquatiques du Vieux-Rhône. Les indicateurs utilisés pour mesurer les effets des modifications de débits sur les peuplements de macroinvertébrés et de poissons montrent une tendance d'évolution dans le sens des attentes pour les macroinvertébrés et une situation plus stable en ce qui concerne le peuplement de poissons pour lesquels les modifications, s'il doit y en avoir, ne seront appréciables que sur le long terme. Les données acquises sur les lînes restaurées montrent que la réhabilitation des annexes lenticues (non connectées en permanence à l'amont) a concerné des milieux essentiellement mésotrophes à méso-eutrophes, en général peu utilisés par les poissons. Une réflexion pourrait être menée pour réhabiliter des annexes avec des caractéristiques physico-chimiques différentes (moins d'alimentation phréatique, température estivale plus élevée...) et mieux connectées par l'aval au Vieux-Rhône. Certains sites peu connectés et à évolution sédimentaire rapide (Béard aval) représentent des « hot-spot » de diversité concernant les végétaux et les invertébrés, une réflexion sur leur pérennité devra être menée (nouveau curage, création de sites similaires dans d'autres thalweg ?). L'aménagement de ce secteur tressé a conduit progressivement à la disparition de la plupart des chenaux secondaires courants peu profonds, propices aux classes d'âges intermédiaires de plusieurs espèces de poissons rhéophiles. La réhabilitation de tels bras, sans augmentation de débit supplémentaire, pourrait également être une piste de restauration de l'habitat aquatique. Cette réflexion devrait être conduite dans le cadre de la réflexion sur la gestion des bancs afin de favoriser leur remise en mouvement et un meilleur transit sédimentaire.

Une réflexion pourrait être menée sur une éventuelle amélioration de la qualité des habitats entraînée par une modification des caractéristiques des seuils artificiels du chenal non équipés à ce jour. Enfin, comme dans les autres Vieux-Rhône, une gestion optimisée des vitesses de montée et de descente des débits lors des manœuvres de barrage de dérivation (Barrage de Lavours) serait fortement conseillée.

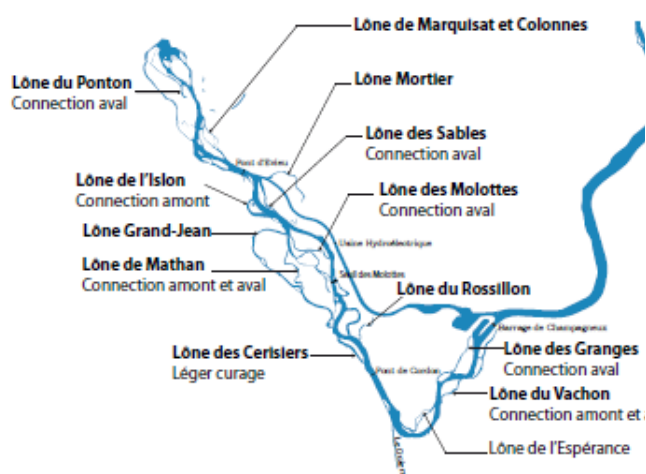
Secteur de Brégnier-Cordon

Le Vieux Rhône

Section court-circuitée de 11.4 km de long dont ~8 courants, comportant 1 seuil équipé d'une passe à poissons (seuil des Molottes PK 94.850), alimenté par le barrage de Champagneux et recevant le Guiers (affluent de rive gauche, confluence équipée d'une passe à poissons).



Lône du Ponton



La restauration

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2006 (m3/s)	80		100			150			100		80	
Vitesse (m/s)	0.39											
Débit minimum >2006 (m3/s)	80		100			150			100		80	
Vitesse (m/s)	0.39											

* à partir de juillet 2006 le débit minimum à l'aval du barrage de Champagneux est passé de 25 m³/s à 65 m³/s

Neuf lônes ont été réhabilitées en 2005-2006 : la lône des Granges, la lône du Vachon, la lône des Cerisiers (qui reçoit la Bièvre), la lône Mattant (ou Mathan), la lône des Molottes, la lône de l'Ision, la lône des Sables, la lône Marquisat et Colonnes, la lône du Ponton. L'objectif général à l'échelle du site était d'augmenter la diversité d'habitats au sein de la plaine alluviale en recréant différents types d'annexes fluviales et d'améliorer la connexion avec la Bièvre au niveau de la lône des Cerisiers. Dans la plupart des cas, le projet consistait à augmenter la surface en eau et à

reconnecter les annexes au chenal courant, soit par les extrémités amont et aval (Vachon, Mattant, Islon), soit par l'aval uniquement.

Dans l'ensemble, la suppression des bouchons alluviaux, l'amélioration des modalités de connexion au Vieux-Rhône ou au Rhône et le re-creusement, par terrassement ou dragages, a pour but général d'augmenter les capacités d'accueil pour le frai des poissons (notamment brochet) et des amphibiens, et de fournir des refuges aux organismes en période de crue.

Effets de la restauration

Augmentation de débit réservé : L'augmentation du débit réservé est très partielle puisqu'elle ne concerne que l'amont du Vieux-Rhône et que la situation hydrologique de cette section est peu différente de la situation avant 2006. Les effets potentiels de cette augmentation de débit réservé sont donc peu perceptibles.

Réhabilitation des lones : Le nombre important de lones réhabilitées et la diversité des modalités de connexion au chenal courant permettent de disposer d'un gradient de connectivité latérale inégalé pour l'ensemble du Rhône. Aucun dépôt de sédiments fins n'est enregistré dans les chenaux secondaires courants (Vachon, Mattant) mais leur géométrie n'est toujours pas ajustée. Les espèces que l'on y observe (macroinvertébrés – éphéméroptères, plécoptères, trichoptères – et poissons) sont principalement des espèces rhéophiles attendues après la reconnexion complète des lones, ces milieux sont riches en invertébrés et complémentaires au chenal principal. La lône des Granges présente un bon potentiel d'auto-entretien. Seule la partie aval, où l'on observe l'essentiel des stocks sédimentaires, est connectée de manière permanente avec le Vieux-Rhône en débit réservé. Comme à Belley, il s'agit d'un exemple de maintien à un faible niveau des espèces exogènes après restauration. Les lones de Molottes et du Ponton connectées par l'aval sont le siège d'une sédimentation fine importante. Une augmentation significative des dépôts de sédiments fins entre 2011 et 2013 a été enregistrée dans la lône du Ponton, ce qui laisse présager une forte contribution des chasses de 2012 à son comblement. Les dépôts se structurent de manière uniforme et homogène sur le fond, soulignant clairement que ces lones fonctionnent comme des « décanteurs » (pièges à sédiment). Sur Cerisiers, l'essentiel de la sédimentation post-travaux est observé sur la section restaurée du site, au droit de la confluence avec la Bièvre, soulignant que les effets des travaux ne seront ici que peu durables. Certaines annexes possèdent des caractéristiques de température et de production primaire (milieux généralement eutrophes) qui en font des sites très favorables pour la reproduction des poissons et la croissance des jeunes stades de développement (Molottes et Ponton notamment). L'évolution post-restauration montre que les processus de sédimentation ne sont pas stables dans le temps et que les processus de colonisation par les espèces des milieux restaurés se poursuivent.

Il convient de rappeler que le secteur de Brégnier-Cordon est remarquable car de nombreuses lînes hébergent l'espèce patrimoniale *Anisus vorticulus* (10 lînes répertoriées depuis 2000). Aucune d'entre elles n'a été influencée par la restauration.

Potentiel d'évolution du site : pistes

Le régime de débits réservés est peu modifié par rapport à la situation antérieure et offrirait peu de gains d'habitat pour des augmentations raisonnables du débit. Les résultats acquis depuis 2006 mettent surtout en évidence la variabilité interannuelle de structure de peuplement et en particulier des succès de reproduction des différentes espèces. Les populations des espèces d'eau courante (ablette, barbeau, hotu, vandoise) semblent fonctionner correctement. On notera que l'ombre commun est quasi-absent des échantillonnages réalisés, il y a pourtant une bonne capacité d'accueil dans le Vieux-Rhône pour cette espèce.

La réhabilitation des lînes, associée à la présence de lînes non-restaurées dans ce secteur offre une diversité d'habitats importante au sein de la plaine alluviale et un contexte unique pour suivre les fluctuations naturelles des communautés alluviales et donc évaluer de façon comparative les changements dans les milieux restaurés. Les suivis réalisés montrent que les milieux réhabilités évoluent progressivement depuis 2006. Les processus de sédimentation sont variables en fonction des degrés de connectivité. La colonisation des annexes restaurées par des espèces invasives (élodée de Nutall par exemple) est probablement un phénomène à surveiller en raison des densités importantes constatées certaines années. De tels développements ont probablement des conséquences importantes sur le fonctionnement écologique global de ces annexes. La question du rôle des espèces exogènes dans le fonctionnement des communautés d'invertébrés aquatiques (dans le chenal et les annexes) est également une problématique sur laquelle il faudra engager des recherches.

Le secteur de Brégnier-Cordon, en raison de ses caractéristiques géomorphologiques et de son régime de débits réservés a toujours été considéré comme un secteur privilégié d'un point de vue écologique. Le programme de restauration a remis en connexion des milieux qui s'étaient atterris depuis la mise en service du barrage. Une des voies à explorer consiste à évaluer les bénéfices potentiels de la poursuite de la réhabilitation de nouvelles lînes tout en laissant évoluer les lînes actuellement restaurées.

Comme dans les autres Vieux-Rhône, une gestion optimisée des vitesses de montée et de descente des débits lors des manœuvres de barrage de dérivation (Barrage de Champagnieux) serait fortement conseillée.

Secteur de Pierre-Bénite

Le Vieux Rhône

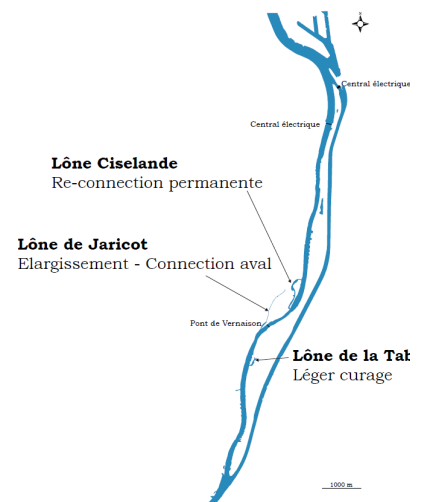
Section court-circuitée de 10 km de long dont ~5 courants, située juste à l'aval de Lyon en zone urbanisée. Seulement deux radiers marqués sont présents dans le chenal, dont un qui a été récemment réactivé à l'aval de la lône de Ciselande.



avant



après



La restauration

Premier secteur restauré en 2000, Pierre-Bénite a vu son débit minimum multiplié par 10.

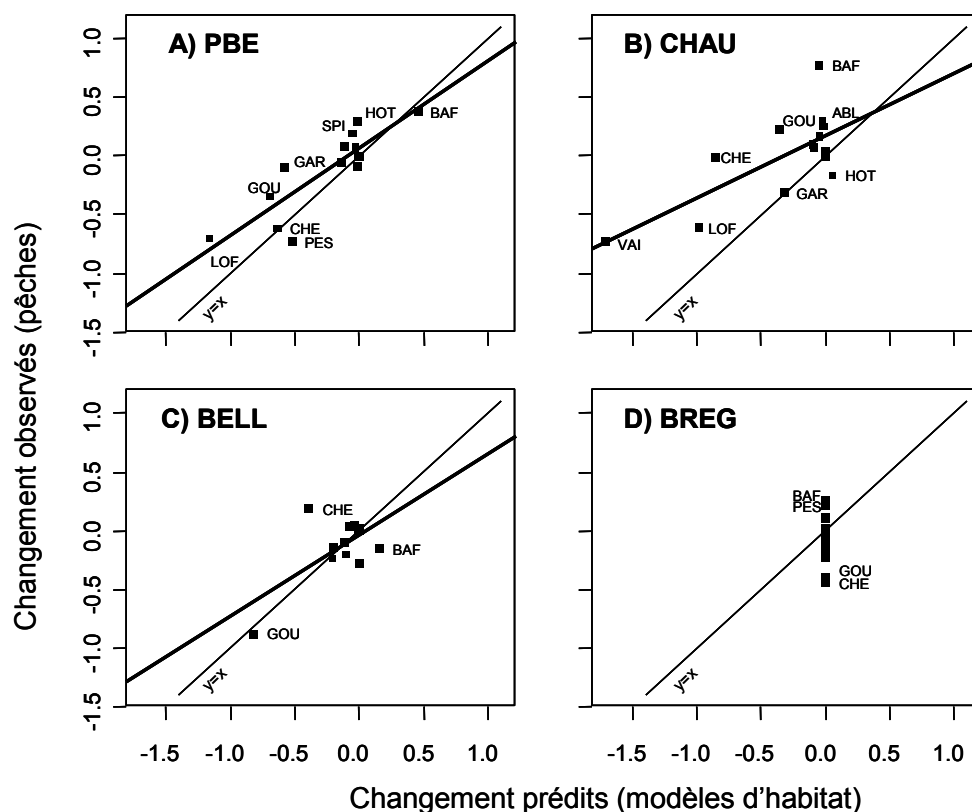
	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2000 (m3/s)	10					20				10		
Vitesse (m/s)	0.08					0.12				0.08		
Débit minimum >2000 (m3/s)						100						
Vitesse (m/s)						0.36						

Trois lônes ont été restaurés en 1999, avec pour principal objectif de favoriser une diversité de fonctionnement inter- et intra-lônes. Une a été reconnectée au fleuve en permanence (Ciselande), une élargie pour le passage des crues et reconnectée à l'aval (Jaricot) et une troisième curée (Table ronde). La lône de Jaricot a la particularité de se jeter dans le bassin de joutes de Vernaison.

Effets de la restauration

Augmentation de débit réservé : le chenal de Pierre-Bénite est le site le plus démonstratif des effets de l'augmentation des débits. Suite au changement notable des vitesses, la proportion des

poissons et des invertébrés typiques des eaux courantes a suivi (ex : proportions de barbeau fluviatile, hotu, ablette et vandoise passée de 15% à 42%). Le peuplement se rapproche ainsi des images avant aménagement, en accord fort avec les prédictions puisque 75% des changements de densités des principaux taxons de poissons et d'invertébrés ont pu être prédits avec succès. Le déclin de la vandoise a peut-être été freiné, mais les augmentations de température auront probablement l'effet inverse. Globalement, et en accord avec les attentes, l'abondance moyenne des macroinvertébrés par prélèvement de certains taxons rhéophiles augmente considérablement après rehaussement du débit réservé. Par exemple, les abondances des mollusques *Ancylus fluviatilis*, des éphéméroptères *Heptagenia sulphurea* et *Baetis* spp. ont plus que doublé après restauration. Inversement, l'abondance moyenne par prélèvement de certains taxons limnophiles diminue considérablement après rehaussement du débit réservé. Par exemple, les abondances des mollusques *Bithynia tentaculata*, *Gyraulus albus* et *Radix balthica-labiata* ou des trichoptères *Ecnomus tenellus* ou *Mystacides azurea* ont été au moins divisé par 2 après restauration.



Changements prédits et observés d'un indice de densité des espèces de poissons, à Pierre-Bénite (A) et sur les 3 sites restaurés du Haut-Rhone : Chautagne (B), Belley (C) et Bregnier-Cordon (D)

La réhabilitation des lînes : Les relevés sédimentaires et relevés de végétation dans les lînes de Pierre-Bénite reflètent que les opérations de restauration ont permis d'accroître la diversité de fonctionnement de ces milieux. Ainsi Ciselande est resté depuis la restauration un bras courant avec des espèces typiques de ces milieux et une richesse spécifique satisfaisante du fait de l'hétérogénéité de ses habitats. La richesse a également augmenté dans la lîne de Jaricot avec des espèces typiques des apports phréatiques, mais a diminué dans Table Ronde qui est dominé par des espèces typiques de milieux eutrophes et stagnants. Néanmoins, la pérennité des opérations de

restauration pose question sur Ciselande compte tenu de l'évolution de la géométrie du lit du Rhône au droit de son entrée. Table ronde fonctionne en décanteur et enregistre une vitesse de comblement élevée. Un bouchon alluvial à matrice sableuse dominante, s'est rapidement mis en place au niveau de l'embouchure aval à la suite des travaux. Cette déconnexion du chenal principal s'accompagne d'une diminution de la diversité végétale. La sédimentation s'est ralentie au cours du temps et la dynamique de cette lône est bien celle qui avait été envisagée au départ. Concernant Ciselande, la ligne d'eau du Vieux-Rhône au droit du site s'est abaissée d'une cinquantaine de cm entre 2002 et 2011 (données CNR), suite à l'érosion du seuil naturel situé au droit de l'extrémité aval du bras, entraînant une réduction consécutive du niveau d'eau dans le bras qui n'est plus alimenté aujourd'hui en débit réservé. La question de la pérennité de ces reconnections est ainsi posée lorsque le chenal actif principal est potentiellement mobile. Tout comme Ciselande, Jaricot enregistre des processus de rajeunissement. Les dépôts sont plus importants à l'aval qu'à l'amont où la lône est plus courante en période de connexion amont et moins soumise à sédimentation lors des reflux aval car l'alimentation en eau souterraine (filtrat fluvial et nappe de versant) en limite la puissance. Cependant un autre point négatif non-anticipé est à noter concernant les développements végétaux dans le bassin de joutes qui demandent également un entretien régulier. Ils sont liés à la clarté des eaux drainées, chargées en nutriments même si les problèmes de pollutions ne sont que ponctuels sur le site.

La complémentarité chenal-lônes n'est pas évidente. Il semble néanmoins que les lônes fournissent quelques zones de croissance supplémentaires pour les espèces d'eau courante et le poisson-chat.

Potentiel d'évolution du site : pistes

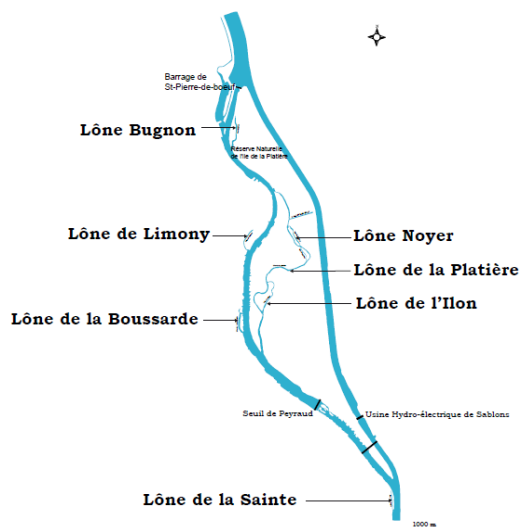
Les simulations d'augmentation de débit, comme sur la plupart des chenaux déjà restaurés, montrent qu'il ne faut pas attendre de gains d'habitat important pour de nouvelles augmentations raisonnables des débits minimum. A Pierre-Bénite, la population de vandoise en déclin ne justifie pas d'effort supplémentaire, sa régression étant probablement liée à la température.

Pérenniser ou améliorer la diversité des lônes, en tant que zones de croissance des poissons et habitats de végétation typique des eaux courantes, demandera sans doute de réfléchir à une solution permettant de maintenir durablement des niveaux d'eau et un débit d'alimentation acceptable dans la lône de Ciselande. Par ailleurs, une recharge sédimentaire dans ce secteur pourrait être judicieuse pour remonter le niveau de la ligne d'eau et répondre positivement à d'autres enjeux de revalorisation de l'habitat benthique sachant que ce site est fortement pavé. Une éventuelle modification de l'entrée de la lône de Jaricot, où des processus de rajeunissement sont observés, a été évoquée il y a quelques années mais ne semble pas *a priori* adaptée pour améliorer la situation hydraulique du bassin de joutes et de l'aval de la lône.

Secteur de Péage-de-Roussillon

Le Vieux Rhône

Section court-circuitée de 12 km de long, comportant 1 seuil (Peyraud) et recevant le Limony. L'amont du Vieux-Rhône est courant sur 2.5 km, une courte zone courante existe immédiatement en aval du seuil de Peyraud.



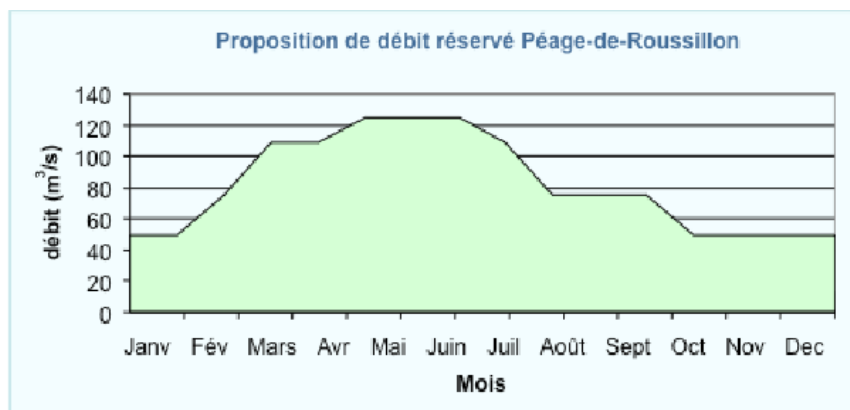
La restauration

Augmentation du débit réservé au 1^{er} janvier 2014. Restauration débutée en 2012, poursuivie en 2014.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2012 (m3/s)	10		20				10					
Vitesse (m/s)	0.07		0.11				0.07					
Module/20 (m3/s)						53						
Vitesse (m/s)						0.23						
Module/10 (m3/s)						105						
Vitesse (m/s)						0.40						

Les enjeux liés à la modification du régime de débits réservés dépassent celui de la préservation des milieux aquatiques superficiels : des enjeux sur la forêt alluviale ont été mis en avant ainsi que des enjeux sur les groupements amphibies d'hélophytes et de bas de grève. Le secteur est soumis à plusieurs impacts dont des pompages importants dans la nappe alluviale (entre 130 000 et 170 000 m³/j) et un réchauffement de l'eau induit par le fonctionnement du CNPE de

Saint-Alban/Saint-Maurice l'Exil. Pour ces raisons le régime de débit réservé mis en place à partir du 1^{er} janvier 2104 est le suivant :



Le site de Péage-de-Roussillon est dans le périmètre de la Réserve Naturelle de l'île de la Platière. La lône de la Platière (restauration en 1977, 1985) et les lônes connexes ont déjà fait l'objet de procédures de réhabilitation (lône du Noyer Nord, aval de la lône de l'Ilon en 2004). En 2012, la lône du Noyer Sud, totalement atterrie et perchée, a été recreusée et reconnectée. La lône de la Sainte a été réhabilitée début 2013. Au printemps 2014, la cote de connexion amont de la lône de la Platière contrôlée par une digue longitudinale submersible a été abaissée afin d'augmenter la fréquence de connexion de la lône ($Q \sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$, passage d'une fréquence de connexion d'environ 16 j/an à 30-40 j/an). La lône de l'Ilon, à l'extrémité aval de la Platière, a été restaurée en 2014. Des mares à alimentation phréatique reliées par un chenal d'écoulement ont été créées sur un linéaire de 470 m. D'autres lônes (Boussarde, Bugnon, Limony) feront probablement l'objet de travaux prochainement.

Le Vieux-Rhône est bordé de casiers Girardon, un des enjeux du secteur est la remobilisation des sédiments stockés dans ces casiers via une déstructuration partielle des ouvrages.

Effets de la restauration

Les premières campagnes d'échantillonnage post-restauration ont débuté en 2012 sur la lône du Noyer sud et en 2013 sur la lône de la Sainte.

Potentiel d'évolution du site : pistes

La modification du régime de débits réservés du site peut être considérée comme un enjeu fort. Suite aux nombreux travaux d'acquisition de connaissances sur le site (Réserve Naturelle de l'île de la Platière), une définition précise des enjeux a pu être établie. Le peuplement de poissons du Vieux-Rhône a perdu les espèces les plus exigeantes (truite, vandoise...) mais conserve une

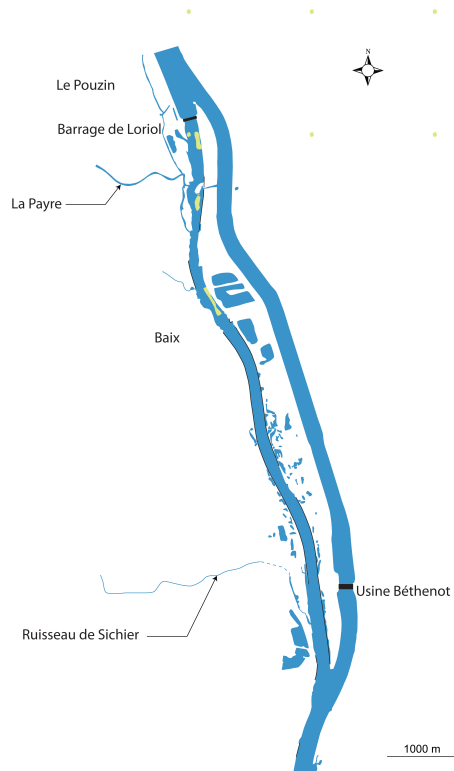
richesse spécifique importante (23-25 espèces) et surtout des densités très importantes. La connexion avec le système de bras de la Platière offre aux poissons la possibilité d'utiliser une large gamme d'habitats. Les principales espèces d'eau courante sont l'ablette, le barbeau et le hotu. Ainsi, malgré la courte longueur courante du Vieux-Rhône, la modification des débits réservés devrait apporter des modifications hydrauliques notables tout en mettant à disposition de ces espèces des surfaces d'habitats favorables plus importantes.

La réhabilitation des annexes devrait augmenter la connectivité latérale entre les milieux et constituer à termes un ensemble d'habitats complémentaires intéressant.

Secteur de Baix-le-Logis-Neuf

Le Vieux Rhône

Section court-circuitée courte de ~8 km de long dont ~2.5 courants, comportant plusieurs radiers dans le chenal. Reçoit la Payre en rive droite.



La restauration

Augmentation du débit réservé au 1^{er} janvier 2014.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2014 (m3/s)	10			20						10		
Vitesse (m/s)	0.12			0.20						0.12		
Module/20 (m3/s)	73											
Vitesse (m/s)	0.48											

Effets de la restauration

En cours.

Potentiel d'évolution du site : pistes

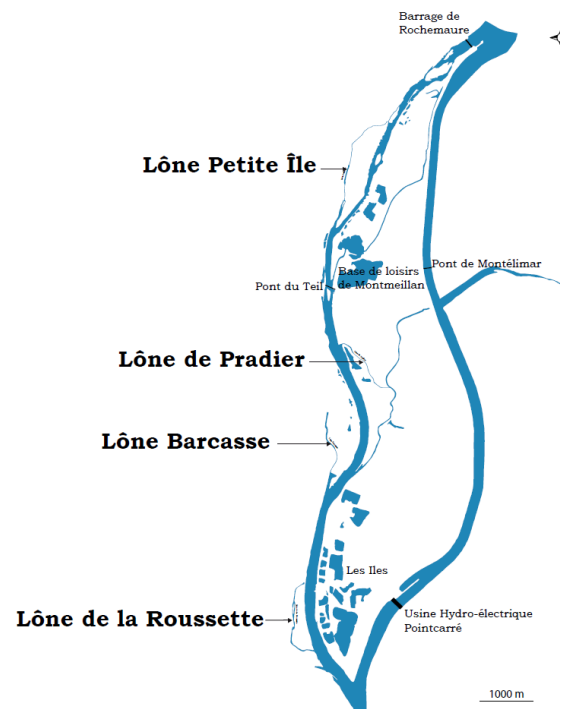
Les simulations d'augmentation de débit dans le chenal suggèrent un fort potentiel d'évolution des habitats, malgré la faible longueur du Vieux Rhône. Au vu des faibles débits actuels, un important contraste hydraulique est attendu après restauration des débits, de l'ordre de celui observé à Pierre-Bénite. Les peuplements de poissons, actuellement plutôt caractéristiques de petits cours d'eau (vairon, loche franche) devraient évoluer en faveur des espèces de grands fleuves qui sont présentes dans le site.

Les lînes du secteur n'ont pas été étudiées par notre groupe. Les connexions avec les contre-canaux et affluents jouent probablement un rôle intéressant sur les assemblages du site.

Secteur de Montélimar

Le Vieux Rhône

Section court-circuitée de ~13 km de long dont ~7 courants, comportant de nombreux radiers dans le chenal, avec une diversité de lônes relativement faible. Reçoit le Roubion en rive gauche.



La restauration

Augmentation du débit réservé au 1^{er} janvier 2014. La lône de la Roussette a été restaurée en 2012-2013.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2014 (m ³ /s)	15 à 60 suivant le débit du Rhône											
Vitesse (m/s)	0.14 à 0.35											
Module/20 (m ³ /s)	75											
Vitesse (m/s)	0.40											

Effets de la restauration

En cours.

Potentiel d'évolution du site : pistes

Les simulations d'augmentation de débit suggèrent qu'il faut s'attendre à des gains d'habitat moindres à Montélimar qu'à Donzère ou à Baix-le-Logis-Neuf, du fait de la morphologie moins originale du site, du niveau de débit actuel et des peuplements en place. En particulier, le secteur présente les densités et la richesse taxonomique en macroinvertébrés les plus faibles parmi les secteurs du Bas-Rhône avant restauration. On dénombre un total de 11 espèces exogènes faisant partie du cortège faunistique, certaines de ces espèces sont très bien implantées.

Néanmoins la longueur du site est un atout ; les zones courantes et peu profondes sont propices aux juvéniles des espèces de poissons d'eau courante (hotu, ablette) et les habitats plus profonds et courants abritent une population de hotus intéressante, qu'une augmentation de débit devrait favoriser.

Les études avant-restauration à Montélimar ne suggèrent pas de fort potentiel biologique des lônes du secteur. La Roussette néanmoins, qui avant restauration se trouvait totalement atterrie à l'amont et partiellement en eau à l'aval, constituait avant travaux une lône pauvre en poissons mais possédant quelques taxons de macroinvertébrés rhéophiles sur la partie aval. Ce potentiel biologique pourra être favorisé par la restauration et le passage des crues. Les travaux s'étant échelonnés de l'hiver 2011 à l'hiver 2013, les effets de ces interventions restent à confirmer.

La complémentarité lône-chenal apparaît donc faible et à potentiel faible sur le secteur, où il faudra peut-être rechercher ailleurs le potentiel d'une diversité d'habitats latéraux connectés (casiers et affluent).

Secteur de Donzère-Mondragon

Le Vieux Rhône

La plus longue section court-circuitée du Rhône, avec ~29 kms de long dont ~19 courants, comportant de nombreux radiers marqués dans le chenal et une diversité de lônes importante. Elle reçoit l'Ardèche en rive droite.



La restauration

Augmentation du débit réservé au 1^{er} janvier 2014. Les travaux d'évaluation des potentialités de ce secteur devraient déboucher sur un choix des première lônes à restaurer fin 2014.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Débit minimum <2014 (m3/s)						60						
Vitesse (m/s)						0.44						
Module/20 (m3/s)						75						
Vitesse (m/s)						0.50						

Effets de la restauration

En cours.

Potentiel d'évolution du site : pistes

Le Vieux Rhône de Donzère est un Vieux Rhône à fort potentiel, très original du point de vue morphologique et biologique. Sa partie courante est longue et possède plus de radiers que les autres sites du bas Rhône. Les peuplements de poissons du site sont également les plus originaux du bas Rhône (fortes proportions d'espèces d'eau vive et d'eau courante, présence récente et fort potentiel pour les migrateurs, apron signalé). C'est également à Donzère que les modèles d'habitat indiquent des forts gains pour les augmentations de débit. C'est donc un site pour lequel il y a encore à attendre d'augmentations de débit.

Les nombreuses lônes du secteur offrent un potentiel varié. La restauration de milieux lotiques pourrait recréer des zones de croissances des poissons rhéophiles et limiter le développement de macrophytes invasives. Elle devrait être néanmoins ciblée pour conserver des zones typiques des milieux stagnants qui renforcent la diversité du site. Par exemple, l'amont de la lône de Malaubert est remarquable par un riche assemblage de Coléoptères de milieux stagnants ; l'aval de la lône des joncs est un milieu aquatique temporaire possédant deux espèces de gastéropodes uniques et caractéristiques de milieux pouvant s'exonder.

Le secteur est peut-être le moins figé du bas Rhône, notamment autour de la confluence avec l'Ardèche, et ceci pourrait être encore favorisé en jouant sur les contraintes latérales (casiers Girardon, enrochements) et/ou en influant sur le travail des crues par épis. Une réflexion globale sur les possibilités de réhabilitation de la confluence avec l'Ardèche serait intéressante.