



HAL
open science

Suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve. Rapport d'avancement 2020.

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Maxence Forcellini, Nicolas Tissot, Jérémie Riquier, Hervé Piégay, Julien Godfroy, Baptiste Marteau, Emmanuel Castella, Hélène Mayor, et al.

► To cite this version:

Jean-Michel Olivier, Nicolas Lamouroux, Maxence Forcellini, Nicolas Tissot, Jérémie Riquier, et al.. Suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône. Un observatoire dynamique de l'état écologique du fleuve. Rapport d'avancement 2020.. [Rapport de recherche] INRAE; Université Lyon 1; CNRS; Université de Genève; Université Lyon 2; Université Lyon 3; ENS de Lyon. 2020. hal-03466715

HAL Id: hal-03466715

<https://hal.science/hal-03466715v1>

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
Rapport d'état d'avancement (2020)
(Avril 2021)



Réalisation des travaux

Partie Poissons chenal et lônes : **Jean-Michel OLIVIER** (UMR CNRS 5023 – Université Lyon 1), **Nicolas LAMOUREUX** (IRSTEA – Lyon), échantillonnage réalisé avec la collaboration de Bertrand LAUNEY, Noéline GARCIA et Camille LEBRUN (UMR CNRS 5023).

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

Partie Géomorphologie (sédimentation et granulométrie) : Nicolas **TISSOT**, Jérémie **RIQUIER**, Hervé **PIEGAY**, Julien GODFROY, Nicolas TISSOT et Baptiste MARTEAU (UMR CNRS 5600 - ENS de Lyon, Universités Jean Monnet Saint-Etienne / Lyon 3). Travail réalisé avec la collaboration de Fanny ARNAUD, Fabien BOUTAULT, Théo BULTEAU, Kristell MICHEL, Christine MOUQUET-NOPPE, Lise VAUDOR.

Partie Invertébrés des lônes : **Emmanuel CASTELLA**, **Hélène MAYOR**, **Pierre MARLE**, (Département F.A. Forel des Sciences de la Terre et de l'Environnement & Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève.).

Partie Rôles des connexions hydrologiques et du débit sur la diversité macrobenthique et l'alimentation des juvéniles de poissons dans les bras secondaires du Haut-Rhône français : Pierre **MARLE** (LEBA - Univ. Genève), Jean-Michel OLIVIER (LEHNA – Univ. Lyon 1), Emmanuel CASTELLA (LEBA – Univ. Genève), Jérémie RIQUIER (Univ. Saint-Etienne), Laurent SIMON (LEHNA – Univ. Lyon 1), Amandine RIGAL (LEHNA – Univ. Lyon 1), Chloé GUICHARNAUD (LEHNA – Univ. Lyon 1), Noéline GARCIA (LEHNA – Univ. Lyon 1), Paul GAUTHIER (LEHNA – Univ. Lyon 1).

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

Résumé

Les effets écologiques de l'augmentation du débit réservé sont évalués à partir des données issues des campagnes d'échantillonnage des communautés de macroinvertébrés benthiques et piscicoles dans les Vieux-Rhône. Concernant les macroinvertébrés benthiques dans les Vieux-Rhône, ce rapport présente le bilan des données acquises en 2020, les principaux enseignements issus du suivi des communautés de macroinvertébrés des chenaux restaurés ainsi que les nouvelles connaissances acquises concernant les préférences hydrauliques des macroinvertébrés. L'acquisition des données n'étant pas achevée (problème de réalisation des campagnes d'échantillonnage en 2020 en raison de la crise du COVID19), ce rapport ne présente pas de nouvelles analyses des réponses des communautés aux augmentations de débit réservé. Un travail de revisite de ces modèles de préférences d'habitats (Forcellini *et al.*, 2020) a été entrepris sur la base d'un jeu de données nettement plus important (2158 prélèvements collectés lors de 91 campagnes d'échantillonnage) que celui utilisé par Méricoux *et al.* (2009) (300 prélèvements collectés lors de 12 campagnes d'échantillonnage) et impliquant des techniques de modélisation plus innovantes (modèles non-linéaires mixtes, Plichard, 2020). Ce travail a permis la construction de courbes de préférences de la variable hydraulique « contraintes au fond » pour 144 taxa (dont 113 présents dans le Rhône) et de courbes de préférences de la variable hydraulique « vitesse » pour 73 taxa (tous présents dans le Rhône). La production de nouvelles courbes de préférences pour les macroinvertébrés et notamment pour les taxons du Bas-Rhône, permettront de refaire un test de validation des prédictions sur l'ensemble des secteurs restaurés du bas-Rhône.

Concernant les peuplements piscicoles des Vieux-Rhône, l'acquisition annuelle de données permet d'intégrer la variabilité inter-annuelle de structure des peuplements (notamment de l'abondance des juvéniles de l'année) dans l'analyse de la réponse de ces communautés aux augmentations de débits réservés. En 2020, le succès de reproduction a été globalement assez moyen dans l'ensemble des Vieux-Rhône, sans doute en raison des variations hydrologiques printanières après un début de printemps chaud avec une hydrologie relativement stable. Dans les 3 Vieux-Rhône du Haut-Rhône (Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon), les données de 2020 confirment les résultats observés les années antérieures. La tendance à l'augmentation de la proportion d'espèces d'eau courante constatée depuis 2017 dans le Vieux-Rhône de Belley semble se confirmer en 2020 avec, dans ce secteur, une contribution importante de la vandoise et des poissons d'âges supérieurs à 0+, ce qui témoigne d'un recrutement avéré au sein des populations. Pour les sites en aval de Lyon, la réponse des communautés (augmentation de la

proportion d'espèces d'eau courante) est marquée à Pierre-Bénite et Baix-le-Logis-Neuf, où les augmentations de débit réservés ont été importantes. Dans le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, bien que l'augmentation de débit ait été également conséquente, le remous imposé par la présence du seuil de Peyraud limite la longueur impactée par des changements hydrauliques (notamment des vitesses de courant) important et la structure du peuplement de poissons ne montre pas de changement depuis l'augmentation de débit réservé. Dans les Vieux-Rhône de Montélimar et de Donzère, ces changements ne sont également pas observés, les valeurs de débit post-restauration étant voisines de valeurs pré-restauration.

Le suivi de la réhabilitation des lônes comporte un volet hydro-morpho-sédimentaire et un volet biologique intégrant le suivi des peuplements de macroinvertébrés benthiques et le suivi des peuplements de poissons.

Le constat d'un manque de connaissances quant à l'ajustement hydromorphologique des bras vifs permanents ou semi-permanents (i.e. connectés de manière permanente ou très fréquemment avec le fleuve et où les graviers/galets sont le substrat dominant le fond du lit) a donné lieu à l'élaboration d'un protocole de suivi dédié. Ce dernier doit permettre de compléter les retours d'expériences et d'améliorer la compréhension des processus en jeu dans l'évolution physique de ces milieux. Le protocole élaboré repose sur une combinaison de nouvelles acquisitions *in situ* et de l'exploitation de données existantes. Ce rapport présente, d'une part, les premiers résultats issus des suivis des galets équipés de transpondeurs RFID (*Radio Frequency Identification*) dans les bras de Fournier, En-l'Île (vieux-Rhône de Belley), Vachon (vieux-Rhône de Brégnier-Cordon) pour le haut-Rhône et Grange-Écrasée, Dames et Banc-Rouge (vieux-Rhône de Donzère-Mondragon) sur le bas-Rhône. D'autre part, le protocole permettant de déterminer la granulométrie du substrat composant le lit des bras par photographies subaquatiques est présenté à partir du site test d'En-l'Île (Anse de Yenne, Vieux-Rhône de Belley). Ce volet, à présent maîtrisé, sera déployé à l'ensemble des bras concernés dès 2021, à savoir : Luisettes, Fournier, Vachon et Mathan pour le Haut-Rhône, ainsi que Platière, Grange-Écrasée, Dames et Banc-Rouge pour le Rhône en aval de Lyon. Enfin, l'approche par bilans sédimentaires pour évaluer les changements morphologiques pré-restauration (ajustements morphologiques « naturels ») et post-restauration (ajustements aux nouvelles géométries créées par la restauration) dans les bras vifs a également été engagée sur Fournier et En-l'Île (Vieux-Rhône de Belley). Les premiers résultats sont prometteurs et mettent en exergue l'importance de la décomposition du signal afin d'identifier les processus à l'origine des changements observés et de mieux comprendre la part relative jouée par chacun.

Dans cette optique, les bilans pourront être complétés par des relevés supplémentaires (e.g. sondage de l'épaisseur des fines en berge), de manière à estimer la part relative des volumes de sédiments fins et grossiers stockés/déstockés.

Concernant les peuplements de macroinvertébrés benthiques (chapitres 7 et 9), ce rapport propose une analyse de l'ensemble des données acquises en 2019 sur 16 lônes du Haut-Rhône (secteurs de Belley et Brégnier-Cordon) concernant leurs peuplements de macroinvertébrés aquatiques. L'analyse des données sur une période de 16 ans pour les suivis les plus longs soutiennent l'idée d'un succès de la restauration menée en 2005-2006. Ce succès est mesurable 1) à la diversification des peuplements à l'échelle inter-lônes du secteur d'étude entier (Belley + Brégnier-Cordon), 2) à l'échelle individuelle des lônes, à l'augmentation de certaines métriques de richesse des peuplements, ces augmentations se poursuivent par ailleurs dans certains sites sur la durée du suivi ; et 3) au maintien de ces changements « positifs » sur la durée actuelle du suivi post-restauration. Cependant une analyse plus fine des données révèle l'existence d'une hétérogénéité des trajectoires temporelles de peuplements à l'intérieur des grandes catégories de lônes (bras secondaires connectés en amont et en aval, lônes connectées en aval uniquement, lônes déconnectées). Cette analyse plus fine peut permettre une meilleure modélisation prédictive des conséquences des actions de restauration et des changements temporels engendrés pour les peuplements. Ces travaux de modélisation (Marle *et al.*, 2021 ; Marle 2021) ont montré que 1) la diversité des invertébrés benthiques est conditionnée par l'élévation des bouchons alluviaux, 2) la reconnexion complète amène à une augmentation directe de la richesse taxonomique ($\times 2.5$ en moyenne) dans le bras secondaire restauré, et 3) une connexion par l'aval au printemps d'une durée d'au moins 25 jours par an pour les chenaux isolés doit être privilégiée.

Concernant les peuplements de poissons, le suivi de 8 lônes du Haut-Rhône depuis leur réhabilitation (2004-2006) confirme le rôle différent pour la faune piscicole des bras secondaires et des lônes de types « parapotamon » (connectées par l'aval), ces 2 types de lônes abritant des assemblages différents. Parmi les lônes fermées à l'amont, certaines (Brotalet, Molottes, Ponton) constituent des sites de nurserie pour les juvéniles de poissons appartenant à des espèces limnophiles, dont les adultes peuvent se reproduire *in situ*, mais également à des espèces dont les adultes se reproduisent dans les bras secondaires ou les Vieux-Rhône. L'évolution de la topographie de ces lônes suite au processus de sédimentation par décantation,

notamment au niveau ces bouchons alluviaux aval, entraîne une modification de leur accessibilité pour les géniteurs ou les très jeunes poissons, pouvant remettre en cause leur fonction de nourricerie pour les juvéniles de poissons (cas de Molottes et Ponton en particulier).

Cette fonction de nourricerie est à mettre en relation avec l'accomplissement de processus écologiques à l'origine de la structuration du réseau trophique dans ces lînes. Une première étude a été réalisée sur les juvéniles de poissons de 3 espèces (ablette, chevaine et pseudorasbora) dans les lînes Molottes et Ponton. L'analyse de la productivité biologique a montré 1) que les cycles planctoniques saisonniers constituent le principal facteur de productivité biologique dans les nurseries piscicoles, 2) que la productivité planctonique, dans les nurseries, s'installe lors de conditions thermiques ($> 14^{\circ}\text{C}$) et hydrologiques (faibles variations de hauteur d'eau) particulières entre mai et fin juillet, et 3) que l'alimentation des juvéniles de poissons devient majoritairement centrée sur le zooplancton (ressource préférée car la plus énergétique) lorsque les densités dépassent plus de 100 individus par litre dans la nurserie (Marle, 2021).

Le suivi des lînes du secteur de Péage-de-Roussillon confirme les résultats acquis antérieurement. Le système « Platière » constitué de plusieurs bras connectés les uns aux autres, est un système au sein duquel la grande diversité d'habitats offre à la faune piscicole une capacité d'accueil importante (19 espèces échantillonnées en 2020), notamment pour certaines classes d'âges d'espèces rhéophiles (hotu et barbeau fluviatile).

Malgré leur réhabilitation récente, les 3 bras reconnectés du secteur de Donzère (Grange écrasée, Dames et Banc Rouge) ont été rapidement colonisés par des espèces et des classes d'âges très caractéristiques des bras secondaires, en particulier les ablettes, hotus, barbeaux fluviatiles et goujons.

Sommaire

1	Introduction	8
2	Cadre physique : restauration et hydrologie.....	12
2.1	Opérations de restauration.....	12
2.2	Hydraulique du chenal.....	17
3	Organisation du suivi	19
4	Les poissons du chenal (Vieux-Rhône)	24
4.1	Objectifs et méthodologie.....	24
4.2	Echantillonnage.....	24
4.3	Résultats des pêches et commentaires.....	25
4.3.1	Vieux-Rhône de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon (annexe 4.1).....	30
4.3.2	Vieux-Rhône de Pierre-Bénite (annexe 4.2).....	45
4.3.3	Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon (annexe 4.3).....	48
4.3.4	Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf (annexe 4.4).....	51
4.3.5	Vieux-Rhône de Montélimar	53
4.3.6	Vieux-Rhône de Donzère.....	57
4.4	Conclusion	59
5	Les peuplements de macroinvertébrés du chenal (Vieux-Rhône).....	62
5.1	Objectifs	62
5.2	Méthodologie.....	63
5.3	Bilan des campagnes d'échantillonnage.....	65
5.4	Rappel des principaux enseignements.....	67
5.5	Prédiction de l'évolution des communautés de macroinvertébrés.....	68
5.5.1	Principe.....	68
5.5.2	Résultats.....	69
5.6	Conclusion et perspectives	72
6	Hydromorphologie des lônes.....	74
6.1	Objectifs et méthodologie.....	74
6.2	Campagne de suivi 2020	76
6.3	Suivi de l'atterrissement et des conditions d'habitat des bras vifs	77
6.3.1	Suivi du transport solide par transpondeurs passifs	79
6.3.1	Caractérisation des patrons granulométriques longitudinaux	86
6.3.2	Bilans sédimentaires dans les bras vifs.....	90
6.4	Conclusions et perspectives pour 2021.	92

7	Les communautés de macroinvertébrés des annexes du Haut-Rhône (2003-2019). Etat d'avancement 2020.....	95
7.1	Introduction.....	95
7.2	Sites et méthodes.....	95
7.2.1	Sites et dates.....	95
7.2.2	Echantillonnage de la macrofaune	96
7.2.3	Analyse des données et calcul des métriques.....	96
7.3	Résultats.	98
7.3.1	Diversité des assemblages faunistiques et changements post-restauration. .	98
7.3.2	Trajectoires successionales des peuplements dans les lônes restaurées. .	102
7.4	Conclusions.....	107
8	Assemblages de poissons dans les lônes.....	109
8.1	Résultats	112
8.1.1	Haut-Rhône	112
8.1.2	Rhône-Moyen et Bas-Rhône.....	125
8.2	Conclusion	134
9	Rôles des connexions hydrologiques et du débit sur la diversité macrobenthique et l'alimentation des juvéniles de poissons dans les bras secondaires du Haut-Rhône français	135
9.1	Objectif.....	135
9.2	La connectivité hydrologique latérale : une distinction des processus clé dans le fonctionnement hydrologique des lônes	135
9.3	Les jeunes stades piscicoles, des descripteurs potentiels de la fonctionnalité des milieux alluviaux.....	139
10	Conclusion générale.....	145
11	Bibliographie	148
12	Annexes.....	153

1 Introduction

Le programme de restauration du Rhône français, lancé en 1998 et repris dans le plan Rhône (2007-2013 et 2015-2020) comprend trois axes : la modification des débits à l'aval des barrages de dérivation, la restauration d'anciens bras latéraux (lônes) et l'amélioration de la circulation des migrateurs. Le suivi scientifique multidisciplinaire mis en œuvre autour de ce programme comprend la collecte de données (monitoring) et le développement de méthodes d'évaluation des effets de la restauration sur les chenaux et annexes fluviales réhabilités (modèles d'aide à la décision et d'évaluation de la restauration). Il constitue une occasion de tester la capacité prédictive de modèles écologiques permettant de caractériser les liens entre l'habitat physique et les espèces aquatiques. L'aménagement hydroélectrique du Rhône a provoqué des changements physiques et fonctionnels importants, affectant l'ensemble des compartiments du système fluvial en modifiant la mosaïque d'habitats et la connectivité au sein des plaines alluviales rhodaniennes. Le programme de restauration du Rhône n'a pas pour vocation de redonner au fleuve sa dynamique naturelle, ni de restaurer un état antérieur aux aménagements hydroélectriques. **Son ambition est d'améliorer et de diversifier la qualité de l'habitat physique dans la plaine alluviale aménagée par l'augmentation des débits réservés dans les sections court-circuitées et par réhabilitation de certaines annexes fluviales en modifiant les surfaces en eau, les profondeurs et les modalités de connexion au chenal courant.** Cette démarche s'appuie sur les connaissances acquises au cours des quarante dernières années sur le Rhône et les autres grands systèmes fluviaux tempérés d'Europe. L'objectif principal du programme d'accompagnement scientifique développé autour du programme de restauration a été de mettre au point des méthodes d'évaluation des effets des actions de restauration. Ce travail de recherche méthodologique, débuté au milieu des années 90, a abouti à la proposition d'un certain nombre de métriques et d'indicateurs (voir annexe 1 et site web : <http://restaurationrhone.univ-lyon1.fr>) destinés à mesurer l'évolution des paramètres physiques et biologiques de l'écosystème en réponse aux modifications des caractéristiques physiques de l'habitat suite à la restauration du fleuve. Il s'est également focalisé sur le développement de modèles prédictifs permettant de mieux caractériser le lien entre les facteurs d'habitats et la dynamique des peuplements aquatiques (Lamouroux *et al.*, 2015). Cette démarche permet de prédire, au moins en partie, les changements physiques et biologiques (abondances des espèces, biodiversité) induits par les actions de restauration écologique.

Le but du travail réalisé (mise en œuvre du suivi et analyse des données) est d'exprimer des hypothèses relatives à la réponse des écosystèmes et des communautés aux actions de restauration. Le dispositif a vocation à répondre à deux types de besoins :

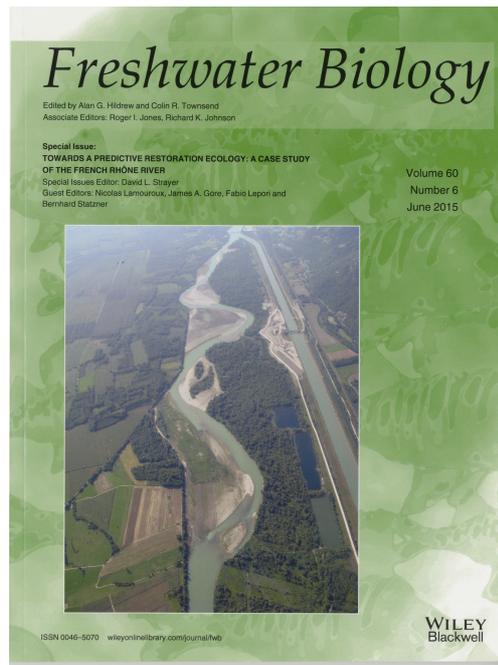
- renseigner un observatoire dont l'objectif est de suivre l'évolution des sites restaurés afin de mesurer si les objectifs de la restauration sont atteints (mesurer des changements),
- fournir des éléments de pilotage en permettant d'intégrer dans les futurs objectifs de restauration les résultats et conclusions obtenus sur les sites déjà restaurés (i.e. mobiliser les enseignements des retours d'expérience).

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

Une première analyse du retour d'expérience des résultats acquis sur le Rhône a donné lieu à la publication d'un numéro spécial de la revue *Freshwater Biology* en juin 2015 (*Towards a predictive restoration ecology : a case study of the French Rhône River*) et à l'édition d'un document de synthèse à destination des acteurs du Rhône et des financeurs du programme.

Il est téléchargeable à l'adresse :

http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/brochure_RhonEco_restoration_ecologique.pdf).



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

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



SOMMAIRE

4
La restauration du fleuve Rhône, l'ambition d'une reconquête environnementale

6
RhônEco : un programme scientifique pluridisciplinaire dédié au renouveau écologique du fleuve

8
Neuf secteurs sous haute surveillance

10
Des espèces d'eau courante favorisées

12
La restauration des lînes et de leur biodiversité

14
Des éclairages majeurs sur le forestierement des lînes

16
Des modèles prédictifs pour préciser les choix de restauration

18
D'un projet de fleuve à un projet de territoire

20
Un programme scientifique plein d'avenir

24
Glossaire et ressources



L Le programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône est né d'une volonté partagée par les élus locaux, les gestionnaires du fleuve et l'Etat de retrouver un fleuve vif et courant. D'une ampleur exceptionnelle à l'échelle internationale, ce programme comporte depuis son origine un programme d'accompagnement scientifique, non moins remarquable, nommé RhônEco. Piloté par des équipes de recherche pluridisciplinaires, RhônEco a permis de produire une connaissance unique sur l'état écologique du fleuve et son évolution suite aux travaux de restauration. Ces enseignements, synthétisés dans ce document, permettent aujourd'hui de mesurer et prioriser l'effet des actions de restauration physique sur les milieux et la biodiversité, et d'orienter les choix de restauration et de gestion futurs.

Le présent rapport dresse un état d'avancement des travaux réalisés dans le cadre du suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône (programme 2019-2023, convention 2020). Il prolonge les activités contractuelles réalisées par la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) avant 2007 concernant l'évolution de l'état physique et biologique des sites. Il concerne l'ensemble des sites et se réfère aux protocoles de suivis définis au démarrage du programme.

2 Cadre physique : restauration et hydrologie

2.1 Opérations de restauration

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

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

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

Les débits réservés ont été relevés (Figure 2.2) et 23 îles ont été réhabilitées :

- Chautagne : Île de la Malourdie et du Brotalet,
- Belley : Anse de Chanaz, Île Moiroud, Île d'Orgeval, Île des Luisettes, Île Béard, Île Fournier, Île de Lucey, Anse de Yenne, Île dans l'Île, Île de Virignin,

- Brégnier-Cordon : Lône des Granges, Lône Vachon, Lône des Cerisiers, Lône de l'Ilon, Lône des Sables, Lône Mattant, Lône des Molottes, Lône du Ponton, Marquisat et Colonnes.

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

- passe à poissons du seuil des Molottes,
- fenêtre à poissons et castors au siphon du Séran,
- diagnostic du fonctionnement de l'écluse à poissons du barrage de Savières,
- diagnostic du fonctionnement de la rivière artificielle du seuil de Yenne,
- passe à poissons en rive gauche sur le Guiers à la confluence,
- passe à poisson du Flon à Yenne,
- passe à poissons du Furans, face à la restitution du Vieux-Rhône de Belley.



Figure 2.1 - Carte du Rhône montant les 9 sites concernés par la restauration, les sites restaurés sont indiqués en rouge, les sites partiellement restaurés (augmentation du débit réservé en janvier 2014 en orange, le site de Baix-le-Logis-Neuf, non inclus initialement dans le programme est mentionné car il présente des potentialités de restauration intéressantes.

Dans les autres secteurs, conformément à la Loi sur L'eau et les Milieux Aquatiques, les débits réservés ont été relevés au 1^{er} janvier 2014 selon les modalités indiquées dans le Tableau 2.1. A Péage-de-Roussillon, le débit réservé présente une modulation saisonnière afin

d'optimiser les gains écologiques et notamment de favoriser les espèces de grèves et l'alimentation phréatique en période printanière (Figure 2.3).

A Péage-de-Roussillon, les travaux de restauration des lônes se sont terminés en 2014 (restauration de 9 lônes et démantèlement de casiers Girardon en rive droite du vieux-Rhône, les travaux de démantèlement des casiers Girardon de l'île des Gravieres ont été réalisés au cours de l'hiver 2016-2017).

La lône de la Roussette à Montélimar a été restaurée.

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

Les travaux sur la lône de Dion et de Malaubert ont été réalisés au cours de l'hiver 2016-2017. Les travaux sur les lône du Banc rouge, des Dames et de la Grange écrasée se sont achevés fin 2018 début 2019. La lône de la Désirade sera restaurée au cours des années à venir.



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

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

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

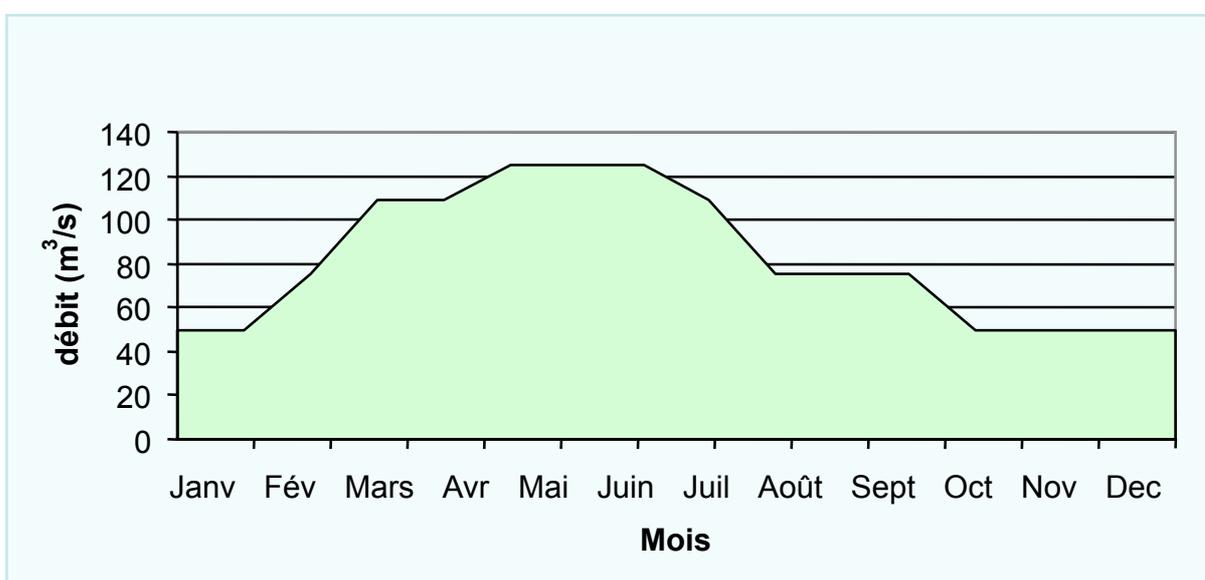


Figure 2.3 - Débit réservé (théorique) à Péage-de-Roussillon depuis le 1^{er} janvier 2014.

2.2 Hydraulique du chenal

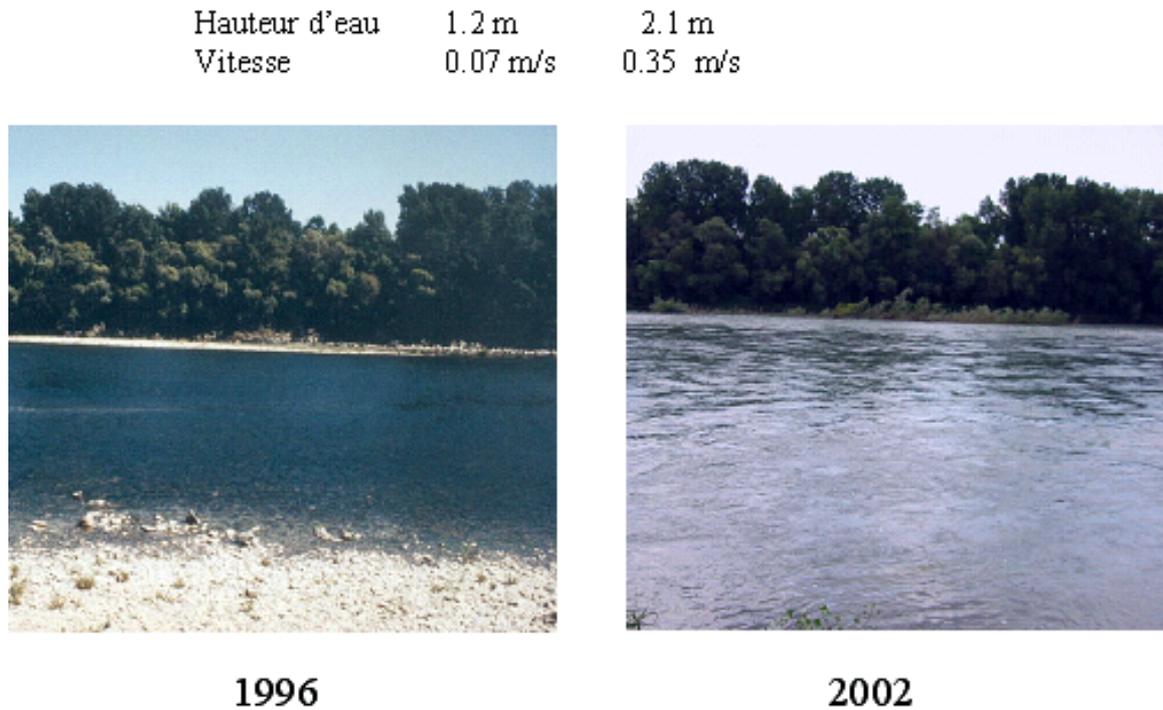


Figure 2.5 - Le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite au débit minimum avant et après augmentation.

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

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

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

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

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

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

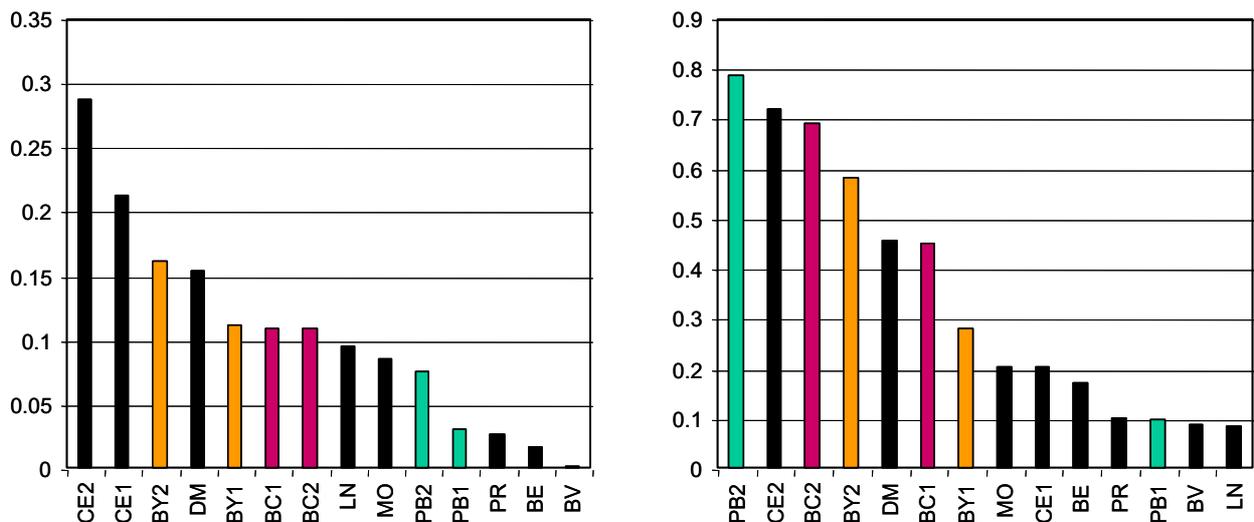


Figure 2.6 - Valeurs de FR50 (indice morphologique, à gauche) et REM (indice de débit, à droite) sur les différents Vieux-Rhône du Bas-Rhône et du Haut-Rhône (LN, BV et BE correspondent à d'autres sites du bas Rhône : Logis-Neuf, Bourg-Lès-Valence et Beauchastel). Les codes de type 'CE1' et 'CE2' réfèrent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

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

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

3 Organisation du suivi

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

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

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

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

Sur l'ensemble des sites le suivi des lînes comporte quatre thématiques : le suivi de la sédimentation, le suivi de la végétation aquatique, le suivi de la faune macro-invertébrée et le

suivi des communautés piscicoles. Toutes les lônes restaurées ne font pas l'objet d'un suivi, le Tableau 3.1 suivant répertorie les lônes suivies et des thématiques concernées pour chaque lône.

Comme en 2019, le financement du suivi des assemblages de poissons dans les 8 lônes du Haut-Rhône a été pris en charge par le Syndicat du Haut-Rhône.

Le détail des plannings d'échantillonnage et les cartes des secteurs sont disponibles en annexe 3.

Tableau 3.1 (page suivante) - Récapitulatif des sites (Vieux-Rhône et lônes suivis entre 2003 et 2020) et des thématiques prises en compte dans le suivi actuel du programme de restauration du Rhône. Les débits réservés ont été augmenté dans l'ensemble des secteurs à l'exception du Canal de Miribel. Dans le secteur du Canal de Miribel, un suivi a débuté en 2013 dans six annexes fluviales. A Péage-de-Roussillon, les travaux de restauration de la lône du noyer sud ont été réalisés durant l'hiver 2011-2012, les travaux de la lône de la Sainte ont été achevés au printemps 2013, la lône de la Boussarde a été réhabilitée en 2014. A Montélimar, les travaux dans la lône de la Roussette ont débuté fin 2011 et ont été achevés dans l'hiver 2012-2013. A Donzère, le choix initial des lônes pour l'établissement de l'état pré-restauration a été effectué au printemps 2009, pour les thématiques sédimentation et macroinvertébrés, l'échantillonnage a débuté en 2009, l'échantillonnage des poissons a été réalisé annuellement depuis 2010. L'échantillonnage de la végétation a été réalisé en 2009 et 2012. En 2014, la CNR a communiqué les lônes pour lesquelles une réflexion sur leur réhabilitation potentielle était engagée. Le suivi de certaines lônes (marquées d'un « * ») a donc été suspendu et celui des lônes Lascombe, Dames, Dion, Banc Rouge et Désirade a été entrepris dès 2014. Le suivi des communautés de macroinvertébrés benthiques et piscicoles dans le Canal de Miribel a été suspendu à partir de 2019, la valeur du débit réservé n'étant pas destinée à être modifiée.

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

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

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

Sur le plan pratique, la démarche a pour objectifs :

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

Dans le cadre du programme RhônEco, l'étude de la complémentarité de certaines lônes (notamment celles possédant une capacité d'accueil importante pour certaines espèces de poissons et notamment pour les juvéniles) et des chenaux courants est en cours (travail de Thèse d'Anaëlle Bouloy commencé en automne 2020).

L'enjeu opérationnel est de contribuer à **hiérarchiser l'effet potentiel des futurs leviers de la restauration du fleuve** (réhabilitation des confluences, rétablissement de la connectivité transversale et longitudinale, amélioration de l'habitat dans les canaux et retenues, ...).

4 Les poissons du chenal (Vieux-Rhône)

4.1 Objectifs et méthodologie

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

Dans chacun des Vieux-Rhône suivis, une campagne d'échantillonnage est réalisée en automne. Une campagne correspond à une pêche électrique de 100 à 200 points d'échantillonnage ponctuels d'abondance – EPA - (Nelva *et al.*, 1979) (ou 30 ambiances de quelques dizaines de mètres carrés) réalisée en grande partie en bateau et quelquefois à pied. Les points de pêche sont répartis sur une ou plusieurs stations dans les Vieux-Rhône en privilégiant la partie non-influencée hydrauliquement. Le nombre de points d'échantillonnage est supérieur (200 points) dans le cas des Vieux-Rhône longs et/ou hétérogènes. La méthode d'échantillonnage implique de surprendre le poisson dans son habitat. Les poissons échantillonnés sont identifiés et mesurés individuellement.

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

4.2 Echantillonnage

Les échantillonnages de 2020 ont été réalisés de fin août à fin septembre (Tableau 4.1). Cent à 200 points de pêches (EPA) ont été effectués dans les Vieux-Rhône.

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

Stations	Dates
Vieux-Rhône de Chautagne	25-26/08/2020
Vieux-Rhône de Belley	08-09/09/2020
Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon	27-28/08/2020
Vieux-Rhône de Pierre-Bénite	21/09/2020
Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon	01/09/2020
Vieux-Rhône de Baix-le-Logis-Neuf	22/09/2020
Vieux-Rhône de Montélimar	23/09/2020
Vieux-Rhône de Donzère	24/09/2020

4.3 Résultats des pêches et commentaires

Trente espèces ont été dénombrées dans les échantillons collectés dans les Vieux-Rhône en 2020 (Tableau 4.2). La lote et la truite fario n'ont pas été capturées en 2020.

Le nombre d'espèces échantillonnées dans les Vieux-Rhône varie de 14 (dans le Vieux-Rhône de Baix-le-Logis-Neuf) à 23 (Belley) (Tableau 4.3).

Les quatre espèces les plus abondantes dans les échantillons en 2020 ont été : le chevaine (19,2%), le barbeau fluviatile (17,2%), le gardon (16,4%) et l'ablette (8,5%). Il existe des différences importantes entre les grands secteurs du fleuve (Haut-Rhône, Rhône-Moyen et Bas-Rhône). Dans les Vieux-Rhône du Haut-Rhône, le barbeau fluviatile (31%), le chevaine (25%), la vandoise (9%), le goujon (8%), l'ablette (6%), le vairon et le spirilin (4%) ont été les espèces les plus abondantes en 2020.

Dans le secteur de Pierre-Bénite, seules 16 espèces ont été échantillonnées et la proportion de gardons a été très importante (38%), les 2 autres espèces les plus abondantes ont été l'ablette (17%) et le chevaine (14%).

Dans le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon, la proportion de gardons a été également particulièrement élevée (42%), les abondances relatives des autres espèces sont plus faibles : chevaine et ablette 11%, bouvière 8%, pseudorasbora et goujon (6%) brème bordelière, loche franche et hotu (4%). Dans le Vieux-Rhône Baix-le-Logis-Neuf, les effectifs échantillonnés en 2020 ont été les plus faibles depuis 2010 ; 5 espèces ont eu des abondances relatives supérieures à 10% : le goujon (32%), l'ablette (15%), le hotu (13%), le chevaine (10%) et le vairon (10%).

Dans le Vieux-Rhône de Montélimar, les effectifs échantillonnés en 2020 ont été les plus faibles depuis 2006. Seules 3 espèces ont une abondance relative supérieure à 10% : le goujon (30%) ; le chevine (14%) et l'ablette (13%).

Dans le Vieux-Rhône de Donzère, les effectifs échantillonnés en 2020 ont été du même ordre de grandeur qu'en 2019. Les 4 espèces les plus abondantes ont été le hotu (25%), le chevine (23%), le gardon (10%) et l'ablette (9%).

Huit espèces ont été échantillonnées dans les 8 Vieux-Rhône : l'ablette, le barbeau fluviatile, le chevine, le gardon, le goujon, le hotu, la loche franche et le spirin (Figure 4.1).

Le silure a été échantillonné dans tous les Vieux-Rhône sauf à Baix-le-Logis-Neuf.

Le carassin argenté, la carpe commune, la bouvière et le pseudorasbora n'ont été échantillonnés qu'en aval de Lyon.

Le chabot a été trouvé dans les Vieux-Rhône de Belley, Brégnier-Cordon et Pierre-Bénite.

L'ombre commun n'a été échantillonné que dans les Vieux-Rhône de Chautagne et de Belley.

Le brochet et l'épinoche n'ont été capturés que dans les Vieux-Rhône de Belley et de Brégnier-Cordon.

La vandoise, bien que rencontrée dans 5 des 8 Vieux-Rhône, n'est présente avec des effectifs importants que dans les Vieux-Rhône de Belley et de Brégnier-Cordon.

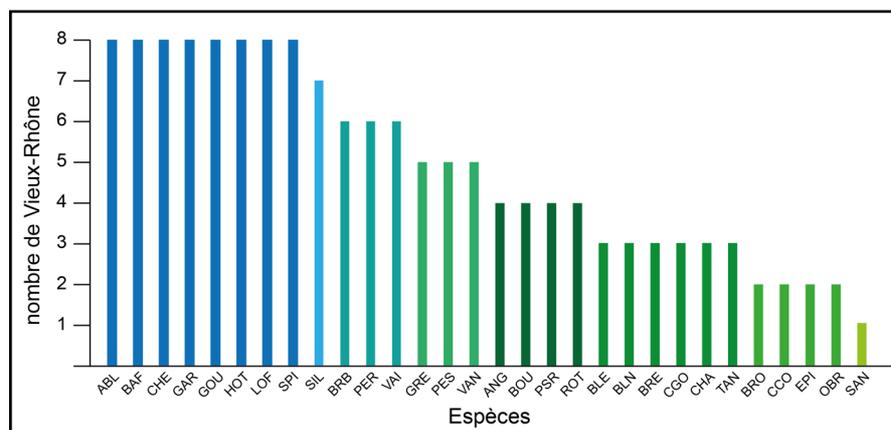


Figure 4.1 – Occurrence des 30 espèces échantillonnées dans les Vieux-Rhône en 2020.

Au sein de chaque Vieux-Rhône, le nombre d'espèces dont l'abondance relative excède 10% varie entre 2 (Chautagne) et 4 (Belley) (Tableau 4.4).

Tableau 4.2 - Liste des 32 espèces de poissons échantillonnées dans le cadre du suivi en 2020 (vieux-Rhône et lônes) et codes associés. Les espèces échantillonnées dans les Vieux-Rhône (Prés. VR 2020) sont identifiées. L'appartenance des espèces aux guildes de reproduction « phytophile » (P) et « litho-phytophile » (L-P) est indiquée (Balon, 1975).

Famille	Nom commun	Nom latin	Code	Prés. VR 2020	Guilde repro.
Blenniidés					
	Blennie fluviatile	<i>Salaria fluviatilis</i> (Asso, 1801)	BLE	*	
Salmonidés					
	Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i> (Linné, 1758)	OBR	*	
Esocidés					
	Brochet	<i>Esox lucius</i> (Linné, 1758)	BRO	*	P
Leuciscidae					
	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)	GAR	*	L-P
	Blageon	<i>Leuciscus souffia</i> (Risso, 1827)	BLN	*	
	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i> (L., 1758)	VAN	*	
	Chevaine	<i>Squalius cephalus</i> (L., 1758)	CHE	*	
	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758)	ROT	*	P
	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L., 1766)	VAI	*	
	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758)	ABL	*	L-P
	Spirin	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	SPI	*	
	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i> (L., 1758)	BRB	*	P
	Brème commune	<i>Abramis brama</i> (L., 1758)	BRE	*	L-P
	Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i> (L., 1758)	HOT	*	
Tincidae					
	Tanche	<i>Tinca tinca</i> (L., 1758)	TAN	*	P
Acheilognathidae					
	Bouvière	<i>Rhodeus sericeus</i> (Bloch, 1785)	BOU	*	
Gobionidae					
	Goujon	<i>Gobio gobio</i> (L., 1758)	GOU	*	
	Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i> (Chlegel, 1842)	PSR	*	
Cyprinidés					
	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i> (L., 1758)	BAF	*	
	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i> (L., 1758)	CCO	*	P
	Carassius argenté	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	CGO	*	L-P
Balitoridés					
	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i> (L., 1758)	LOF	*	
	Loche d'étang	<i>Misgurnus fossilis</i> (L., 1758)	LOE		P
Siluridés					
	Silure glane	<i>Silurus glanis</i> (Linné, 1758)	SIL	*	L-P
Ictaluridés					
	Poisson-chat	<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	PCH		
Anguillidés					
	Anguille	<i>Anguilla anguilla</i> (L., 1758)	ANG	*	
Gastérostéidés					
	Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (L., 1766)	EPI	*	
Centrachidés					
	Perche-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i> (L., 1758)	PES	*	
Percidés					
	Perche fluviatile	<i>Perca fluviatilis</i> (L., 1758)	PER	*	P
	Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i> (L., 1758)	GRE	*	L-P
	Sandre	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	SAN	*	P
Cottidés					
	Chabot	<i>Cottus gobio</i> (Linné, 1758)	CHA	*	

Tableau 4.3 - Effectifs échantillonnés dans les Vieux-Rhône en 2020 (pêches réalisées en fin d'été-début d'automne) ; le nombre de points d'échantillonnage – E.P.A. –, le nombre d'espèces présentes – Nb esp. –, l'abondance relative des espèces « d'eau courante » (%age EC, espèces surlignées en bleu, proportion d'individus appartenant aux espèces suivantes : ablette, barbeau fluviatile, hotu, ombre commun, toxostome, vandoise) et « d'espèces d'eau vive » (proportion d'individus appartenant aux espèces suivantes : barbeau fluviatile, blageon, chabot, loche franche, spirilin) sont renseignés pour chaque secteur. La dernière colonne renseigne sur le nombre de Vieux-Rhône dans lesquels une espèce a été échantillonnée.

Espèces\Sites	Chautagne	Belley	Brégnier-Cordon	Pierre-Bénite	Péage-de-Roussillon	Baix Le-Logis-Neuf	Montélimar	Donzère	Total	Occurrence
ABL	136	116	62	56	319	17	32	64	802	8
ANG	0	0	1	0	0	1	4	6	12	4
BAF	641	563	346	23	14	1	14	11	1613	8
BLE	4	9	14	0	0	0	0	0	27	3
BLN	7	0	8	0	0	0	0	1	16	3
BOU	0	0	0	2	243	0	7	4	256	4
BRB	0	0	37	13	126	1	13	13	203	6
BRE	1	0	27	0	23	0	0	0	51	3
BRO	0	2	1	0	0	0	0	0	3	2
CGO	0	0	0	0	12	0	1	10	23	3
CCO	0	0	0	0	3	0	0	1	4	2
CHA	0	2	6	1	0	0	0	0	9	3
CHE	448	475	301	44	329	11	36	165	1809	8
EPI	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2
GAR	11	63	1	121	1258	9	8	73	1544	8
GOU	93	208	80	1	168	36	75	22	683	8
GRE	0	0	2	0	3	2	1	2	10	5
HOT	13	7	87	10	115	15	12	178	437	8
LOF	49	52	46	6	125	1	6	54	339	8
OBR	2	18	0	0	0	0	0	0	20	2
PER	16	26	35	2	9	0	1	0	89	6
PES	23	0	50	27	53	1	0	0	154	5
PSR	0	0	0	0	189	3	25	50	267	4
ROT	1	2	0	0	10	0	2	0	15	4
SAN	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
SIL	11	31	22	2	12	0	1	3	82	7
SPI	26	135	25	3	3	5	14	19	230	8
TAN	0	11	3	0	2	0	0	0	16	3
VAI	151	8	34	9	0	11	0	30	243	6
VAN	7	241	192	1	5	0	0	0	446	5
Total	1640	1971	1381	321	3021	114	252	706	9406	
Nb Sp	18	20	23	16	21	14	17	18		
Nb EPA	100	200	200	101	100	75	130	151		
%age EC	48,72%	47,95%	49,75%	28,04%	15,00%	28,95%	23,02%	35,84%		
%age EV	44,09%	38,15%	31,21%	10,28%	4,70%	6,14%	13,49%	12,04%		

Tableau 4.4 – Proportions des espèces dont l’abondance relative dépasse 2% (calcul par tronçon court-circuité) dans les 9 Vieux-Rhône échantillonnés en 2020. Les valeurs supérieures à 10% sont surlignées en bleu.

Chautagne		Belley		Brégnier		Pierre-Bénite		Péage		Baix		Montélimar		Donzère	
Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age	Esp	%age
BAF	39,09	BAF	28,56	BAF	25,05	GAR	37,69	GAR	41,64	GOU	31,58	GOU	29,76	HOT	25,21
CHE	27,32	CHE	24,10	CHE	21,80	ABL	17,45	CHE	10,89	ABL	14,91	CHE	14,29	CHE	23,37
VAI	9,21	VAN	12,23	VAN	13,90	CHE	13,71	ABL	10,56	HOT	13,16	ABL	12,70	GAR	10,34
ABL	8,29	GOU	10,55	HOT	6,30	PES	8,41	BOU	8,04	CHE	9,65	PSR	9,92	ABL	9,07
GOU	5,67%	SPI	6,85	GOU	5,79	BAF	7,17	PSR	6,26	VAI	9,65	BAF	5,56	LOF	7,65
LOF	2,99%	ABL	5,89	ABL	4,49	BRB	4,05	GOU	5,56	GAR	7,89	SPI	5,56	PSR	7,08
		GAR	3,20	PES	3,62	HOT	3,12	BRB	4,17	SPI	4,39	BRB	5,16	VAI	4,25
		LOF	2,64	LOF	3,33	VAI	2,80	LOF	4,1	PSR	2,63	HOT	4,76	GOU	3,12
				BRB	2,68			HOT	3,81%			GAR	3,17	SPI	2,69
				PER	2,53							BOU	2,78		
				VAI	2,46							LOF	2,38		

4.3.1 Vieux-Rhône de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon (annexe 4.1)

Les résultats des pêches effectuées dans le Vieux-Rhône de **Chautagne en 2020** sont dans la continuité de ceux des pêches des années antérieures (Figure 4.2). Depuis l'augmentation des débits réservés, les effectifs de trois espèces représentent la majorité des poissons échantillonnés, le barbeau fluviatile, le chevaine et le vairon (Figure 4.3a) et les juvéniles de l'année représentent généralement une forte proportion des effectifs (en moyenne 65%) (Figure 4.3b et Figure 4.4). En 2020, la proportion de juvéniles de l'année (73%) a été un peu supérieure à la moyenne (2004-2020) avec des valeurs importantes pour l'ablette (97%), le barbeau fluviatile (84%) et le chevaine (80%) et un pourcentage de poissons de l'année relativement modéré pour le goujon (43%) et faible pour le vairon (23%).

Ni la truite, ni l'ombre commun n'ont été échantillonnés.

Tableau 4.5 – Proportions des cinq espèces les plus abondantes dans le Vieux-Rhône de Chautagne de 2017 à 2020.

2017		2018		2019		2020	
Espèces	% age						
CHE	45%	CHE	42%	CHE	29%	BAF	39%
VAI	21%	BAF	27%	BAF	25%	CHE	27%
BAF	17%	VAI	16%	GOU	12%	VAI	9%
GOU	6%	ABL	5%	LOF	10%	ABL	8%
LOF	5%	LOF	3%	VAI	10%	GOU	6%

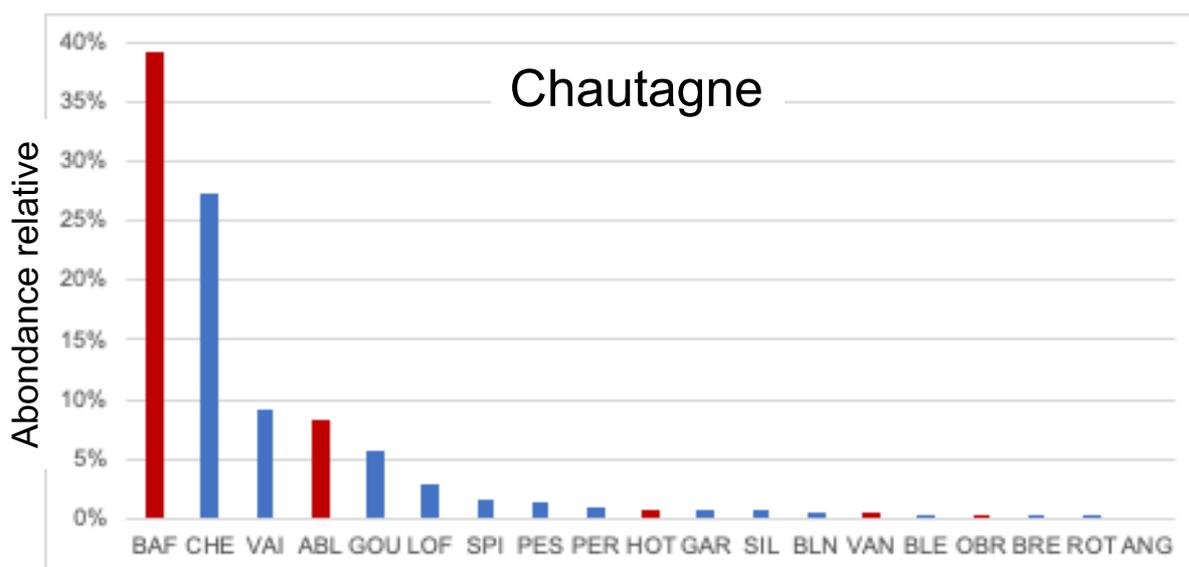


Figure 4.2 - Abondances relatives des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Chautagne. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

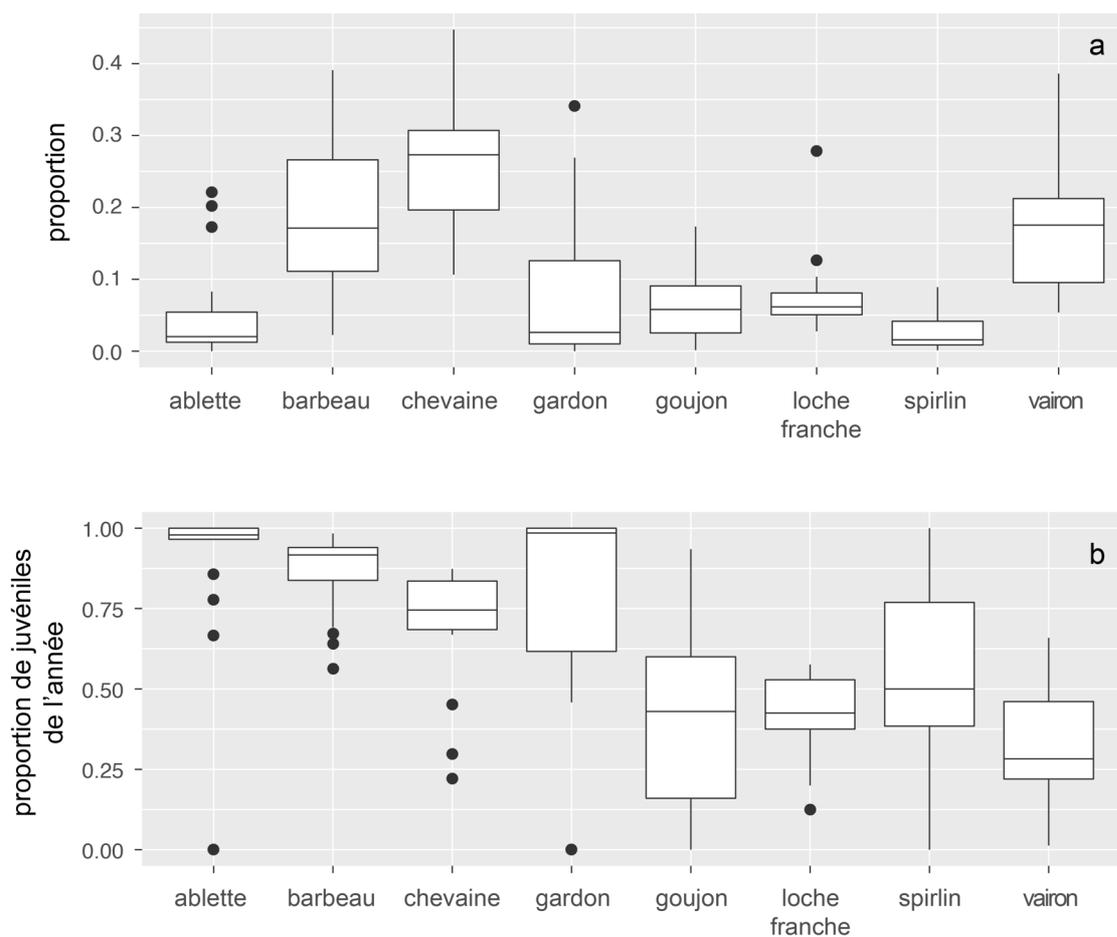


Figure 4.3 – a : Box-plots des abondances relatives des 8 espèces les plus abondantes dans le Vieux-Rhône de Chautagne de 2004 à 2020, b : proportions de juvéniles de l'année pour les mêmes espèces et au cours de la même période.

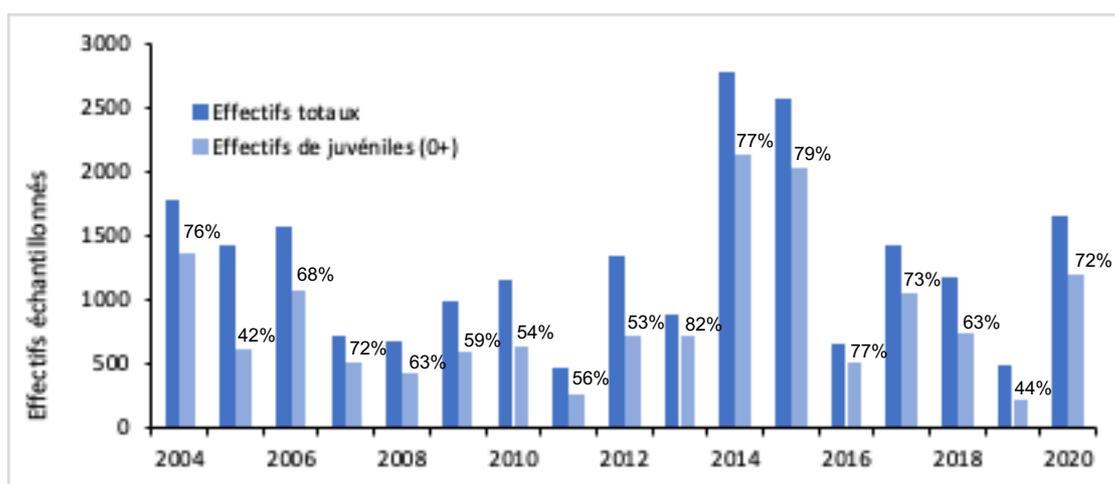


Figure 4.4 – Effectifs échantillonnés, effectifs et proportions de juvéniles de l'année (0+) toutes espèces confondues dans le Vieux-Rhône de Chautagne depuis le relèvement du débit réservé.

Dans le Vieux-Rhône de **Belley**, la richesse spécifique (20) le nombre d'individus échantillonnés (1971 ind.) ont été moins importants en 2020 qu'en 2018 et 2019, le nombre de poissons capturés a été néanmoins supérieur à la moyenne 2005-2019 (1775). Quatre espèces ont eu une abondance relative dépassant 10% (Tableau 4.4 et Figure 4.5) : le barbeau fluviatile, le chevaine, la vandoise et le goujon. La proportion de juvéniles de l'année dans les échantillons (toutes espèces confondues) a été de 55% (Figure 4.6), valeur du même ordre de grandeur qu'en 2018 et 2019. Cette proportion de 0+ est variable selon les espèces : 84% pour le spiralin, 72% pour la vandoise, 61% pour le chevaine, 57% pour l'ablette, 44 % pour le barbeau fluviatile et 43% pour le goujon. Parmi les ombres communs échantillonnés, 17 des 18 individus étaient des juvéniles de l'année (tailles comprises entre 10,2 et 15,5 cm).

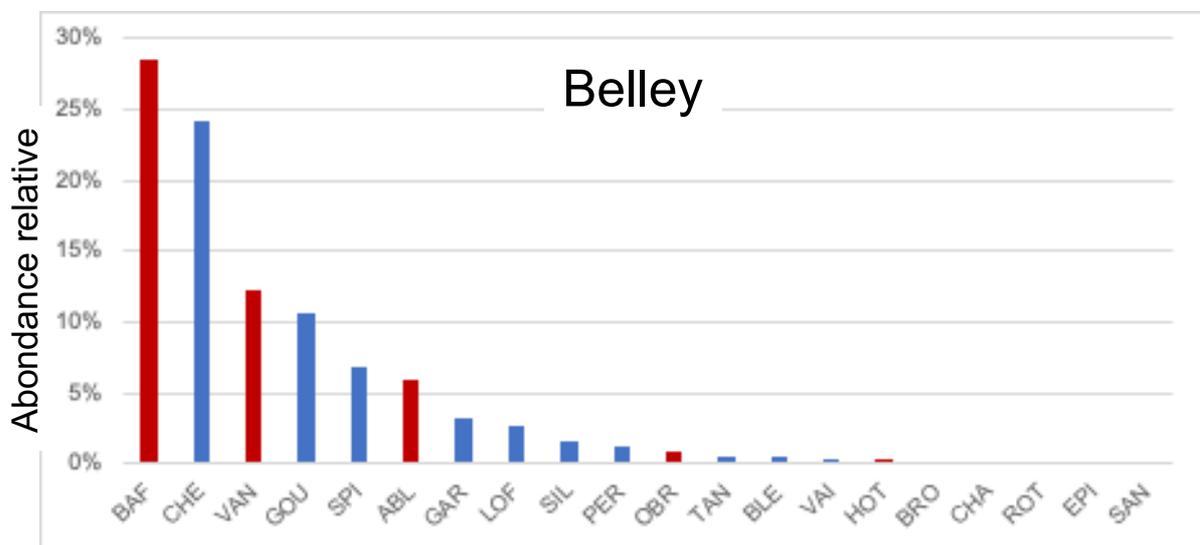


Figure 4.5 - Abondances relatives des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Belley. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

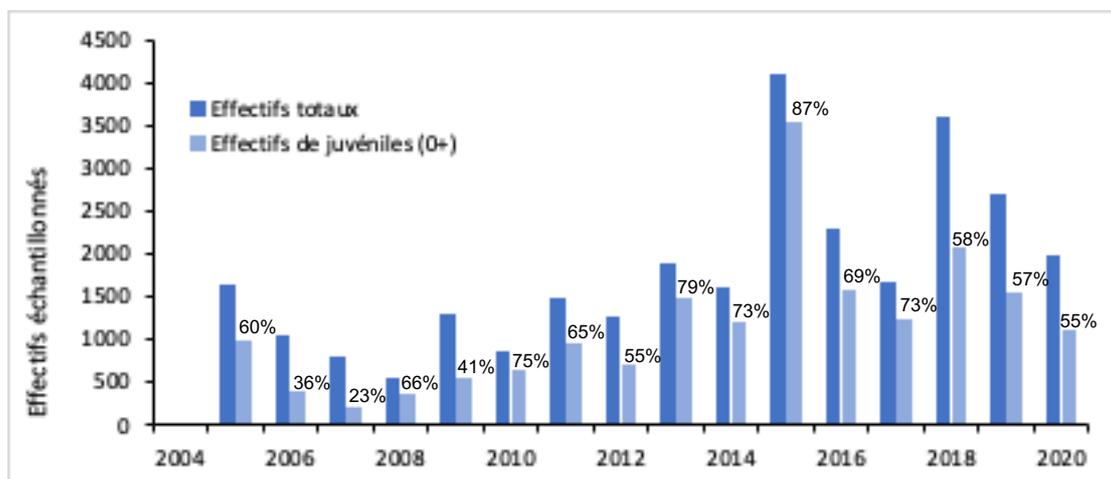


Figure 4.6 – Effectifs échantillonnés, effectifs et proportions de juvéniles de l'année (0+) toutes espèces confondues dans le Vieux-Rhône de Belley depuis le relèvement du débit réservé.

Pour la plupart des espèces, toutes les classes de tailles ont été échantillonnées ce qui témoigne de la bonne santé des populations, soutenue par la diversité d’habitats importante dans ce Vieux-Rhône, et de la capacité pour les espèces fluviales ciblées par l’augmentation du débit réservé de pouvoir accomplir leur cycle de vie au sein de ce tronçon du Rhône (figure 4.7). Par exemple, la distribution des tailles des vandoises échantillonnées depuis 2005 met en évidence la présence de juvéniles de l’année chaque année ainsi que la présence de poissons appartenant à l’ensemble des classes d’âges, témoignant d’un recrutement régulier au sein de cette population. En 2020, parmi les 241 vandoises capturées, 176 étaient des juvéniles de l’année et 14 poissons avaient une taille supérieure à 16 cm (maturité sexuelle à 3 ans).

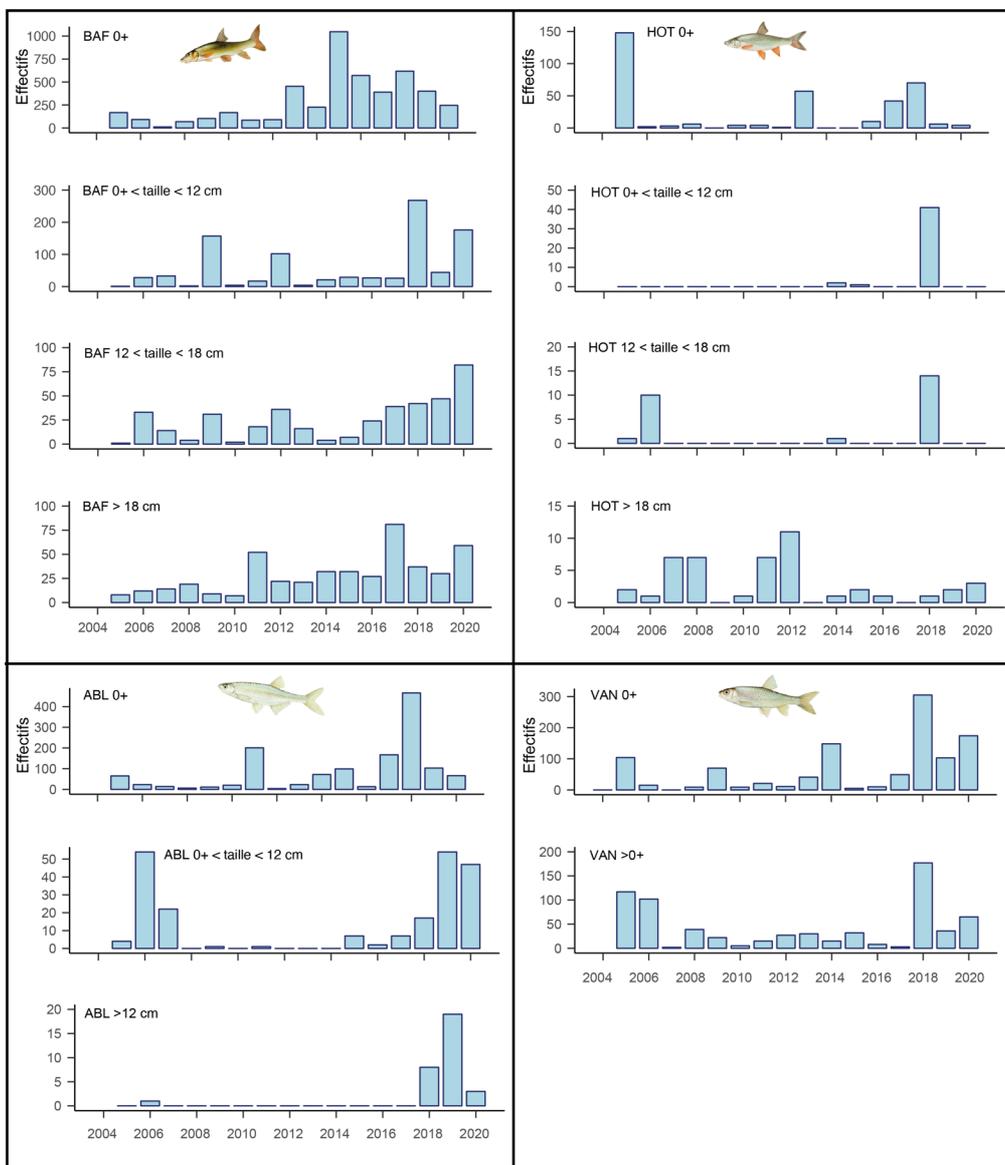


Figure 4.7 – Effectifs échantillonnés pour différentes classes de tailles de barbeaux fluviaux, d’ablettes, de hotus et de vandoises dans le Vieux-Rhône de Belley depuis le relèvement du débit réservé.

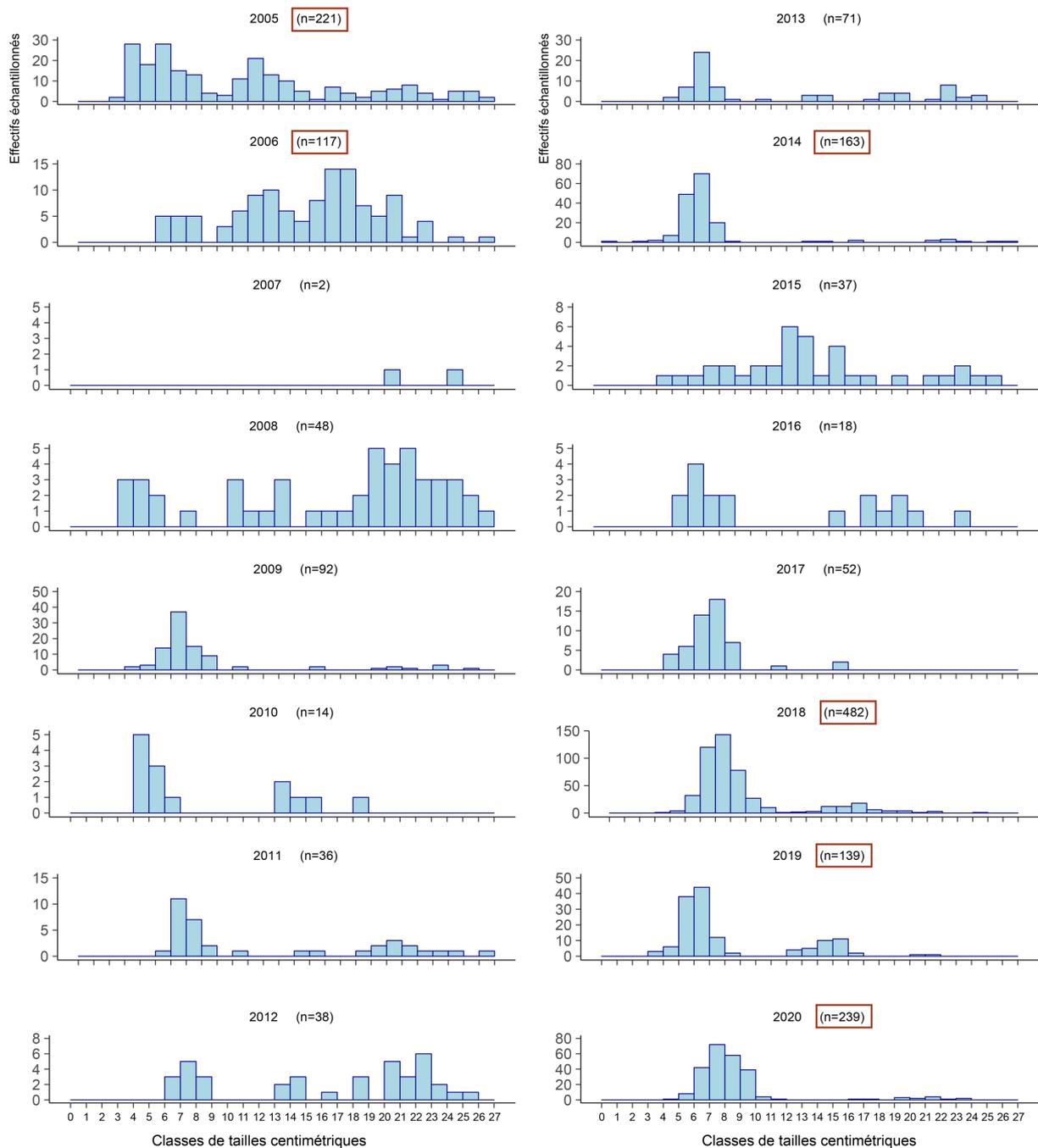


Figure 4.8 – Distribution en classes de tailles centimétriques des vandoises échantillonnées dans le Vieux-Rhône de Belley depuis le relèvement du débit réservé. Les plus fortes valeurs d'effectifs échantillonnés sont encadrées en rouge.

Le nombre de poissons échantillonnés dans le Vieux-Rhône de **Brégnier-Cordon** en 2020 (1381) a été du même ordre de grandeur que la moyenne 2006-2019 (1343 ind.). La distribution des abondances relatives des différentes espèces montre que 3 espèces ont des abondances relatives supérieures à 10% (Tableau 4.4 et Figure 4.9) : barbeau fluviatile, chevaine et vandoise, représentant 61% de l'abondance totale.

La proportion de juvéniles de l'année dans les échantillons (toutes espèces confondues) a été de 61% (Figure 4.10), valeur très supérieure à celles des 2 années précédentes. Les plus fortes valeurs ont été observées pour l'ablette, le barbeau fluviatile et le hotu (Tableau 4.6). Comme dans le Vieux-Rhône de Belley, la longueur du Vieux-Rhône, le débit réservé relativement élevé et la diversité des types de chenaux et des habitats confèrent à ce secteurs des qualités en adéquation avec les exigences des différentes classes d'âge de la plupart de espèces, en particulier les espèces affectionnant les habitats profonds avec des vitesses d'écoulement rapides (espèces « d'eau courante ») (Figure 4.11). Dans ce secteur aussi, les différentes classes d'âge de la vandoise, espèce exigeante et sensible à la qualité de l'eau et du substrat, sont capturées régulièrement avec néanmoins des effectifs plus faibles que dans le Vieux-Rhône de Belley (Figure 4.12).

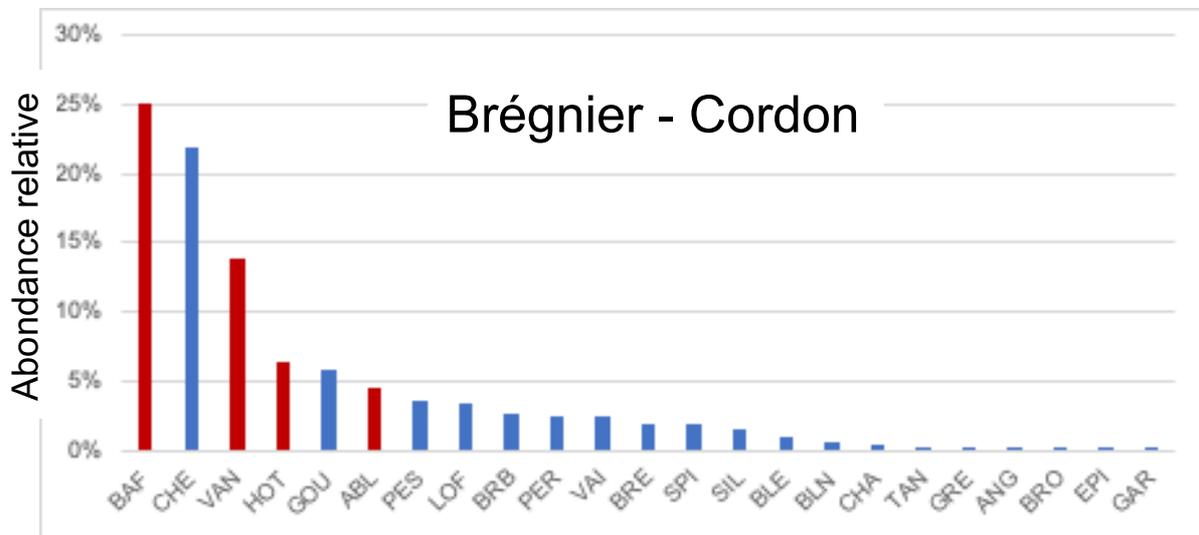


Figure 4.9 - Abondances relatives des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Brégner-Cordon. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

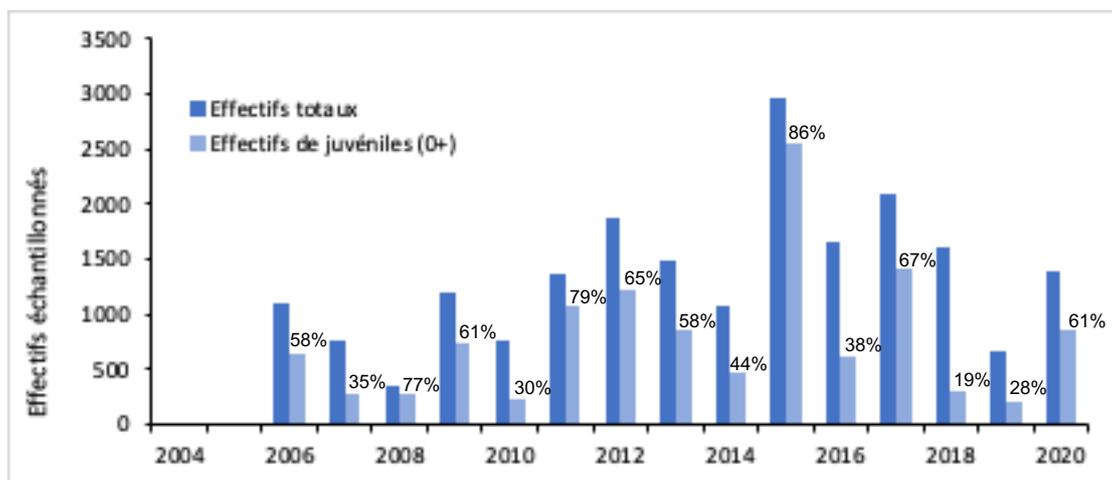


Figure 4.10 – Effectifs échantillonnés, effectifs et proportions de juvéniles de l'année (0+) toutes espèces confondues dans le Vieux-Rhône de Brégner-Cordon depuis le relèvement du débit réservé.

Tableau 4.6 – Effectifs échantillonnés en 2020 et proportions de juvéniles de l'année (0+) dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon. Les valeurs pour les espèces les plus abondantes sont surlignées en bleu.

Espèces	Effectifs	%age 0+
ABL	62	75,8%
ANG	1	-
BAF	346	81,8%
BLE	14	21,4%
BLN	8	100,0%
BRB	37	0,0%
BRE	27	11,1%
BRO	1	100,0%
CHA	6	50,0%
CHE	301	61,5%
EPI	1	100,0%
GAR	1	0,0%
GOU	80	56,3%
GRE	2	0,0%
HOT	87	88,5%
LOF	46	52,2%
PER	35	85,7%
PES	50	0,0%
SIL	22	22,7%
SPI	25	64,0%
TAN	3	33,3%
VAI	34	97,1%
VAN	192	49,5%

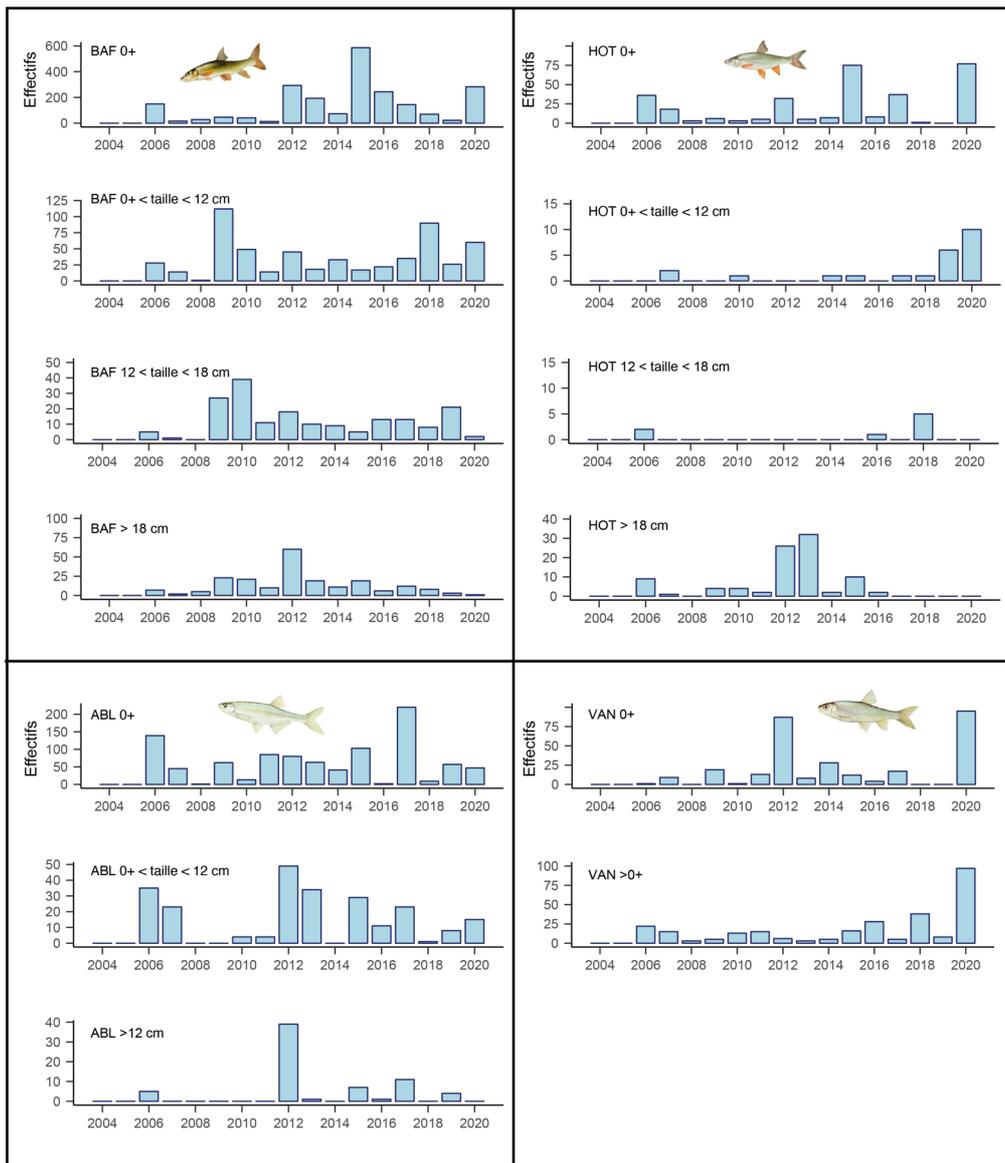


Figure 4.11 – Effectifs échantillonnés pour différentes classes de tailles de barbeaux fluviaux, d’ablettes, de hotus et de vandoises dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon depuis le relèvement du débit réservé.

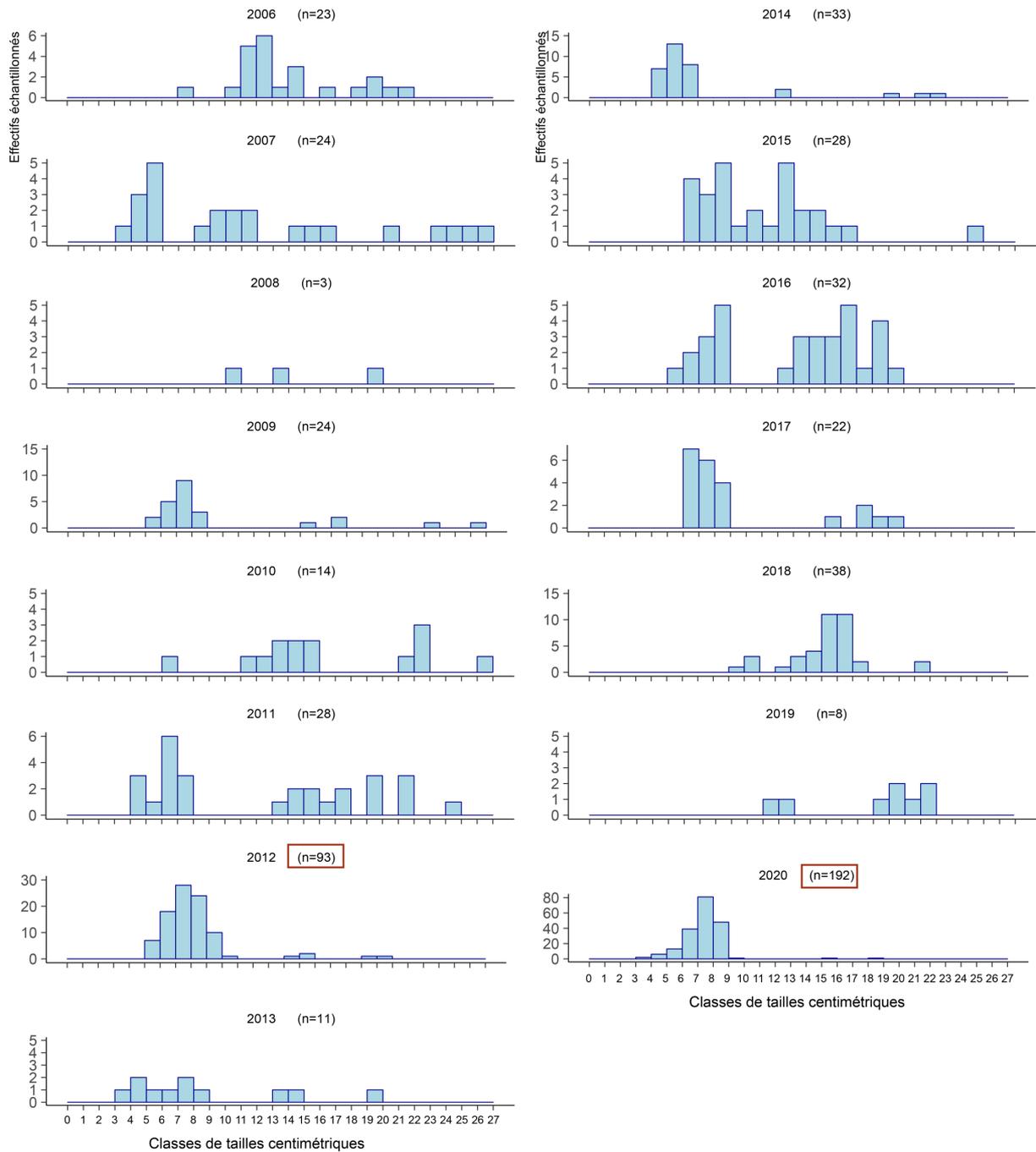


Figure 4.12 – Distribution en classes de tailles centimétriques des vandoises échantillonnées dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon depuis le relèvement du débit réservé. Les plus fortes valeurs d'effectifs échantillonnés sont encadrées en rouge.

Réponse à l'augmentation des débits réservés : évolution de la proportion d'espèces d'eau courantes

La proportion d'individus appartenant à des espèces d'eau courante (i.e. les espèces fortement inféodées aux habitats courants et profonds) est une métrique qui renseigne sur les modifications de structure de peuplement de poissons consécutives à l'augmentation des débits réservés dans le Rhône.

Dans le vieux-Rhône de Chautagne, l'évolution post-augmentation du débit réservé de cette métrique montre une forte variabilité inter-annuelle (Figure 4.13) essentiellement liée à la proportion d'ablettes et de barbeaux fluviatiles dans les pêches (Tableaux 4.7 et 4.8). La valeur de cette métrique en 2020 a été particulièrement élevée (48,7%) en raison de la très forte proportion de barbeaux fluviatiles (39,1%) et d'ablettes (8,3%) dans une moindre mesure. Depuis 2004, l'abondance relative des ablettes n'a été importante qu'en 2005, 2007 et 2013 (Tableau 4.7). C'est généralement la proportion de barbeaux fluviatiles (en moyenne 71% des effectifs des espèces de la guilda) qui conditionne la valeur de la proportion d'espèces d'eau courante (Tableau 4.8). La valeur moyenne post-augmentation de débit réservé est de 25,9% (Tableau 4.8).

Dans le Vieux-Rhône de Belley, la valeur moyenne de la proportion d'espèces d'eau courante après augmentation du débit réservé est de 34,7% (Tableau 4.9). La valeur de cette métrique avait augmenté en 2017 et 2018 et a été de nouveau élevée en 2020 (Tableau 4.9 et Figure 4.13) grâce à une de la proportion importante de barbeaux (28,6%) et dans une moindre mesure de vandoises (Tableau 4.9). Les contributions des hotus et des ombres communs sont restées modestes.

Dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon, l'augmentation de débit minimum ne concerne que le tronçon à l'amont de la confluence avec le Guiers (passage de 25 à 65 m³.s⁻¹), les modifications des caractéristiques hydrauliques des habitats au sein du Vieux-Rhône sont donc beaucoup moins marquées qu'en Chautagne ou à Belley. La proportion d'espèces d'eau courante est restée voisine de la valeur pré-modification du débit réservé, la valeur moyenne sur la période 2006-2020 est de 25,6% (Tableau 4.11 et Figure 4.13) et la valeur pour 2020 (49,7%) a été, comme dans le Vieux-Rhône de Belley, très supérieure à la moyenne. Sur la période 2006-2020, l'ablette et le barbeau fluviatile ont été les espèces qui ont le plus contribué à la valeur de la métrique (Tableau 4.12) mais en 2020 la contribution de la vandoise a été très supérieure à celle de l'ablette (Tableau 4.11 et Tableau 4.12).

Il est important, dans le cadre de l'analyse de l'évolution post-augmentation de débit réservé de cette métrique, de prendre en considération la contribution des différentes classes de tailles,

et notamment des juvéniles de l'année. Cette analyse (Figure 4.14) met en évidence la forte contribution des juvéniles de l'année d'ablettes et de barbeaux fluviatiles quel que soit le secteur, mais également celle des juvéniles de hotus et de vandoises à Belley et à Brégnier-Cordon, ainsi que celle des poissons de tailles supérieures et notamment de la vandoise dans le Vieux-Rhône de Belley.

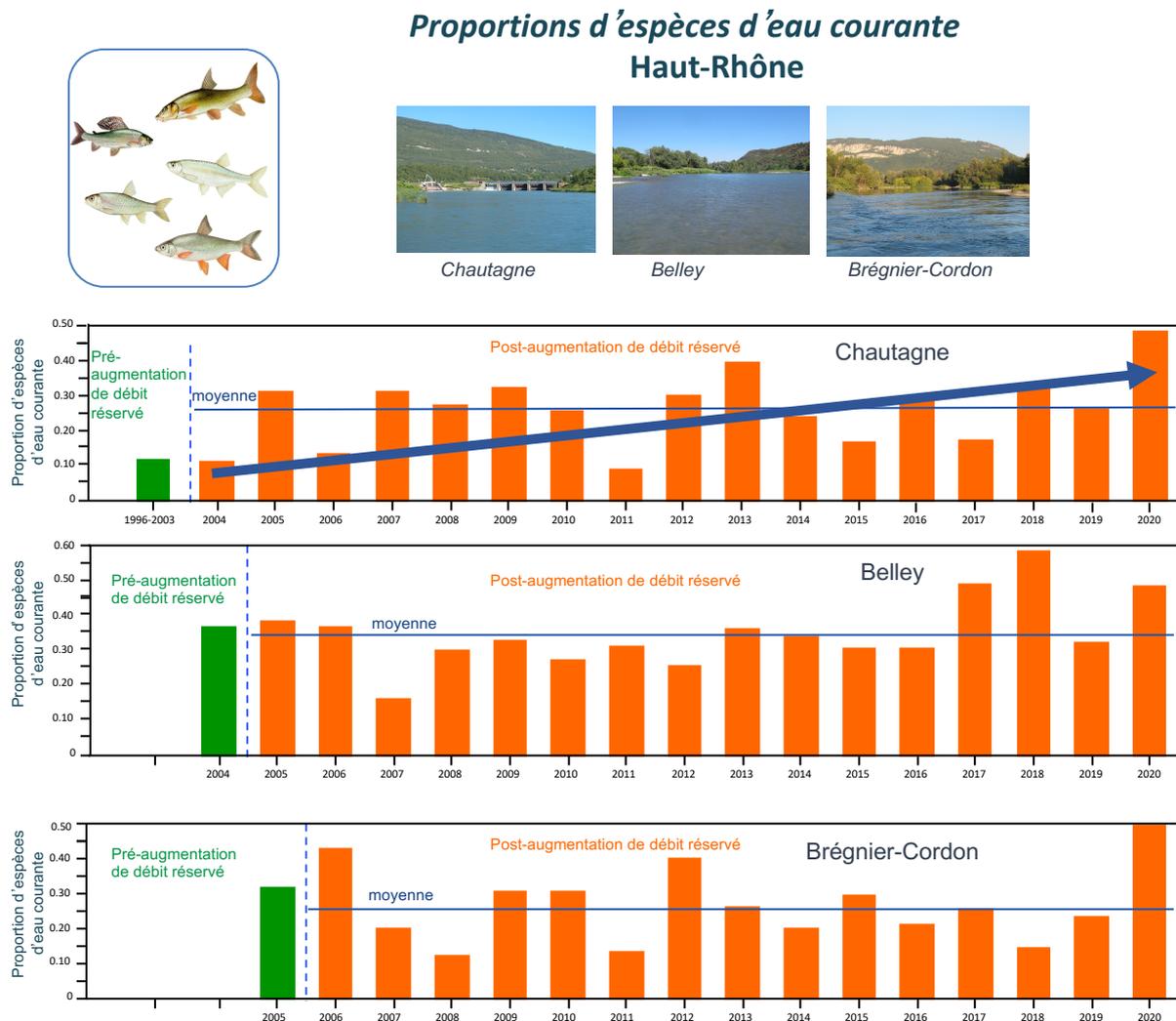


Figure 4.13 - Proportion d'espèces d'eau courante (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus, ombres communs et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans les 3 Vieux – Rhône de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon. En vert : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en orange : valeurs post-augmentation.

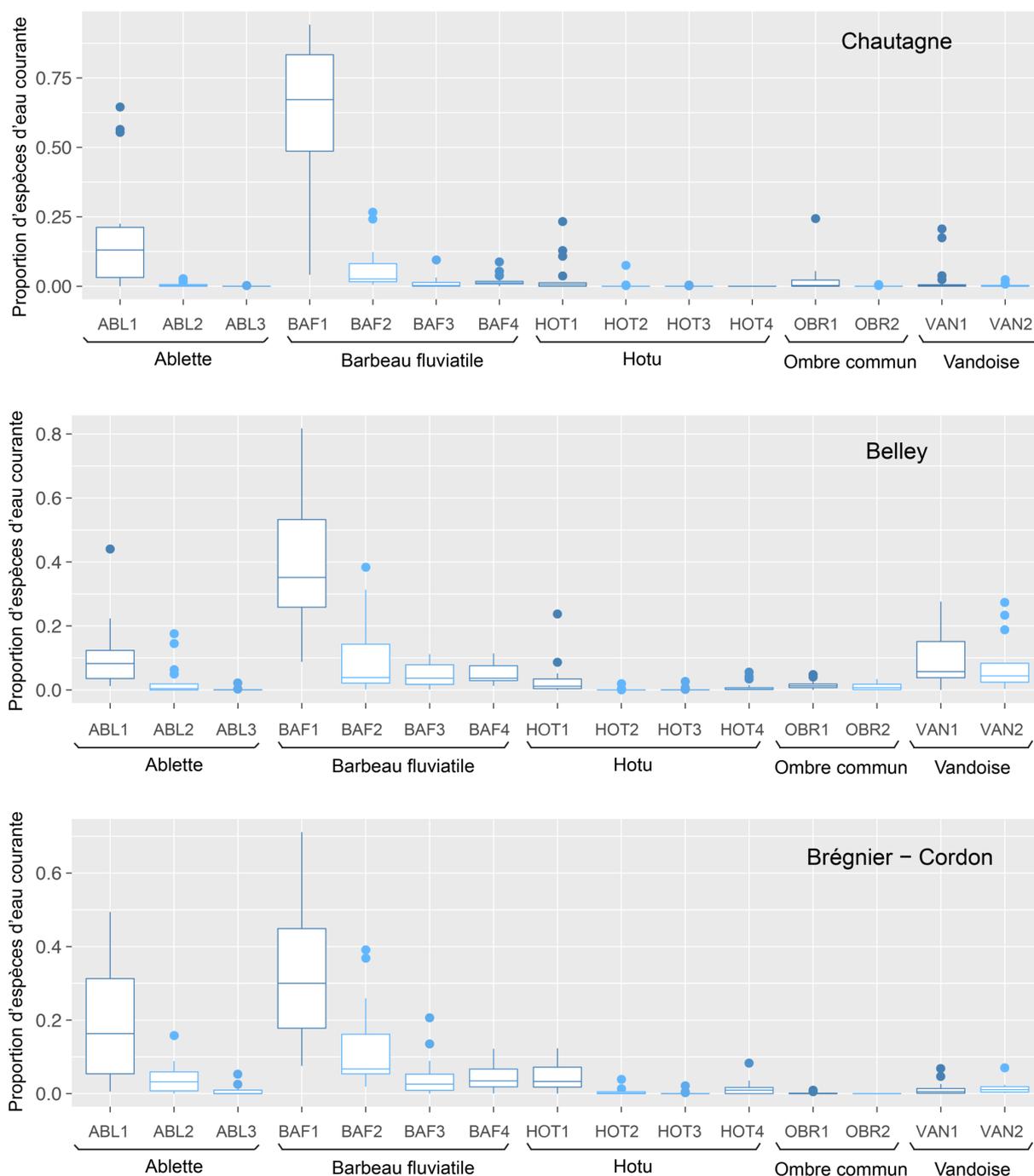


Figure 4.14 – Contribution (pourcentage) des différentes classes de tailles de chacune des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante dans les trois Vieux-Rhône du Haut-Rhône (données post augmentation des débits réservés, 2004-2020 pour Chautagne, 2005-2020 pour Belley, 2006-2020 pour Brégner-Cordon). Les limites des classes de tailles pour les différentes espèces sont les suivantes : la classe 1 représente les juvéniles de l'année, la classe 2 représente les individus dont la taille est immédiatement supérieure à la taille maximale des juvéniles de l'année et est inférieure à 12 cm, la classe 3 représente, quand c'est la dernière classe pour une espèce donnée, les individus de taille supérieure à 12 cm, si elle est suivie d'une classe 4, elle prend en compte les individus dont la taille est comprise entre 12 et 18 cm, la classe 4 regroupe les individus de tailles supérieures à 18 cm.

Tableau 4.7 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Chautagne depuis l’augmentation des débits réservés en 2004. %EC : proportion d’espèces d’eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2004 - 2020 sont surlignées en vert. L’abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d’eau courante (affectonnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 5 dernières colonnes. La « Moyenne » est calculée sur la période 2004-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	ABL	BAF	HOT	OBR	VAN
2004	1775	20	9,3%	2,0%	4,8%	0,1%	0,5%	1,9%
2005	1409	20	30,9%	17,2%	7,7%	5,7%	0,1%	0,1%
2006	1566	19	13,3%	1,3%	11,1%	0,1%	0,0%	0,8%
2007	707	18	30,7%	20,2%	2,3%	1,1%	1,7%	5,4%
2008	672	19	27,4%	0,6%	19,9%	6,4%	0,3%	0,1%
2009	986	15	31,8%	4,2%	27,0%	0,0%	0,7%	0,0%
2010	1140	20	21,8%	5,1%	16,1%	0,4%	0,0%	0,3%
2011	456	17	8,1%	1,5%	4,6%	0,0%	2,0%	0,0%
2012	1326	19	30,4%	3,6%	26,6%	0,1%	0,0%	0,1%
2013	873	20	39,2%	22,1%	11,9%	5,0%	0,1%	0,0%
2014	2765	23	23,9%	0,7%	23,0%	0,0%	0,1%	0,2%
2015	2545	20	18,0%	2,0%	15,9%	0,0%	0,1%	0,1%
2016	648	14	29,2%	0,9%	27,9%	0,0%	0,2%	0,2%
2017	1413	18	18,3%	0,0%	17,1%	0,0%	0,5%	0,7%
2018	1158	13	32,6%	5,4%	26,9%	0,3%	0,0%	0,0%
2019	492	16	26,1%	1,2%	24,9%	0,0%	0,0%	0,0%
2020	1640	18	48,7%	8,3%	39,1%	0,8%	0,1%	0,4%
2004-2020	21561	30	25,2%	5,0%	18,4%	0,9%	0,3%	0,5%
Moyenne	1269	18	25,9%	5,7%	18,0%	1,2%	0,4%	0,6%

Tableau 4.8 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d’eau courante aux effectifs enregistrés de 2004 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Chautagne. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La première valeur « 2004-2020 » est calculée globalement sur la période 2004-2020. La dernière valeur « 2004-2020 » est la valeur moyenne calculée sur la période 2004-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. ombre	Ab. Rel. vandoise
2004	165	21,8%	51,5%	0,6%	5,5%	20,6%
2005	435	55,9%	24,8%	18,6%	0,2%	0,5%
2006	209	9,6%	83,3%	1,0%	0,0%	6,2%
2007	217	65,9%	7,4%	3,7%	5,5%	17,5%
2008	184	2,2%	72,8%	23,4%	1,1%	0,5%
2009	314	13,1%	84,7%	0,0%	2,2%	0,0%
2010	249	23,3%	73,5%	2,0%	0,0%	1,2%
2011	37	18,9%	56,8%	0,0%	24,3%	0,0%
2012	403	11,9%	87,6%	0,2%	0,0%	0,2%
2013	342	56,4%	30,4%	12,9%	0,3%	0,0%
2014	662	2,7%	95,9%	0,2%	0,5%	0,8%
2015	459	11,1%	88,0%	0,0%	0,4%	0,4%
2016	189	3,2%	95,8%	0,0%	0,5%	0,5%
2017	259	0,0%	93,4%	0,0%	2,7%	3,9%
2018	378	16,7%	82,3%	1,1%	0,0%	0,0%
2019	126	4,8%	95,2%	0,0%	0,0%	0,0%
2020	799	17,0%	80,2%	1,6%	0,3%	0,9%
2004-2020	5427	19,8%	73,3%	3,7%	1,0%	2,2%
Moyenne	319	19,7%	70,8%	3,8%	2,6%	3,1%

Tableau 4.9 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Belley depuis l’augmentation des débits réservés en 2005. %EC : proportion d’espèces d’eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2005 - 2020 sont surlignées en vert. L’abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d’eau courante (affectonnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 5 dernières colonnes. La « Moyenne » est calculée sur la période 2005-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	ABL	BAF	HOT	OBR	VAN
2005	1614	22	38,6%	4,3%	11,0%	9,4%	0,3%	13,7%
2006	1029	21	36,3%	7,7%	16,0%	1,3%	0,0%	11,4%
2007	794	24	15,7%	4,5%	9,1%	1,3%	0,6%	0,3%
2008	543	21	30,8%	1,1%	17,1%	2,4%	1,3%	8,8%
2009	1276	24	32,1%	0,9%	23,5%	0,0%	0,5%	7,2%
2010	839	28	27,2%	2,4%	21,5%	0,6%	1,1%	1,7%
2011	1475	22	30,9%	13,7%	11,7%	0,7%	2,4%	2,4%
2012	1267	26	25,7%	0,3%	19,7%	0,9%	1,7%	3,0%
2013	1873	25	35,2%	1,2%	26,4%	3,0%	0,7%	3,8%
2014	1607	22	33,4%	4,5%	17,6%	0,2%	0,9%	10,1%
2015	4090	23	31,3%	2,6%	27,3%	0,1%	0,5%	0,9%
2016	2271	27	31,3%	0,7%	28,6%	0,5%	0,7%	0,8%
2017	1671	23	49,0%	10,4%	32,1%	2,5%	0,4%	3,5%
2018	3580	24	58,3%	13,7%	27,0%	3,5%	0,6%	13,5%
2019	2690	27	31,9%	6,5%	19,4%	0,3%	0,6%	5,2%
2020	1971	20	47,9%	5,9%	28,6%	0,4%	0,9%	12,2%
2005-2020	28590	33	37,1%	5,6%	22,9%	1,7%	0,8%	6,2%
Moyenne	1787	24	34,7%	5,0%	21,0%	1,7%	0,8%	6,2%

Tableau 4.10 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d’eau courante aux effectifs enregistrés de 2005 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Belley. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La première valeur « 2005-2020 » est calculée globalement sur la période 2005-2020. La dernière valeur « 2005-2020 » est la valeur moyenne calculée sur la période 2005-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. ombre	Ab. Rel. vandoise
2005	623	11,1%	28,4%	24,2%	0,8%	35,5%
2006	374	21,1%	44,1%	3,5%	0,0%	31,3%
2007	125	28,8%	57,6%	8,0%	4,0%	1,6%
2008	167	3,6%	55,7%	7,8%	4,2%	28,7%
2009	410	2,9%	73,2%	0,0%	1,5%	22,4%
2010	228	8,8%	78,9%	2,2%	3,9%	6,1%
2011	456	44,3%	37,7%	2,4%	7,7%	7,9%
2012	326	1,2%	76,7%	3,7%	6,7%	11,7%
2013	659	3,5%	75,0%	8,6%	2,1%	10,8%
2014	537	13,4%	52,7%	0,7%	2,8%	30,4%
2015	1281	8,3%	87,0%	0,2%	1,6%	2,9%
2016	710	2,1%	91,4%	1,5%	2,4%	2,5%
2017	818	21,3%	65,5%	5,1%	0,9%	7,2%
2018	2086	23,5%	46,3%	6,0%	1,1%	23,1%
2019	859	20,5%	60,7%	0,9%	1,7%	16,2%
2020	945	12,3%	59,6%	0,7%	1,9%	25,5%
2005-2020	10604	15,1%	61,6%	4,5%	2,0%	16,8%
Moyenne	663	14,2%	61,9%	4,7%	2,7%	16,5%

Tableau 4.11 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon depuis l’augmentation des débits réservés en 2006. %EC : proportion d’espèces d’eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2006 - 2020 sont surlignées en vert. L’abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d’eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 5 dernières colonnes. La « Moyenne » est calculée sur la période 2006-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	ABL	BAF	HOT	OBR	VAN
2006	1084	21	40,4%	16,5%	17,4%	4,3%	0,0%	2,1%
2007	742	24	19,7%	9,2%	4,4%	2,8%	0,0%	3,2%
2008	343	19	12,0%	0,3%	9,9%	0,9%	0,0%	0,9%
2009	1200	22	25,3%	5,2%	17,3%	0,8%	0,0%	2,0%
2010	748	24	25,3%	2,3%	20,1%	1,1%	0,0%	1,9%
2011	1367	24	12,6%	6,5%	3,5%	0,5%	0,0%	2,0%
2012	1863	28	39,5%	9,0%	22,3%	3,1%	0,1%	5,0%
2013	1467	26	26,3%	6,7%	16,4%	2,5%	0,0%	0,7%
2014	1057	24	20,1%	3,9%	11,9%	0,9%	0,2%	3,1%
2015	2966	30	29,7%	4,7%	21,2%	2,9%	0,0%	0,9%
2016	1637	30	21,0%	0,9%	17,4%	0,7%	0,1%	2,0%
2017	2077	28	25,1%	12,2%	9,8%	1,8%	0,1%	1,1%
2018	1599	24	14,4%	0,6%	10,9%	0,4%	0,0%	2,4%
2019	663	19	23,4%	10,4%	10,9%	0,9%	0,0%	1,2%
2020	1381	23	49,7%	4,5%	25,1%	6,3%	0,0%	13,9%
2006-2020	20194	36	26,9%	6,3%	15,6%	2,2%	0,0%	2,8%
Moyenne	1346	24	25,6%	6,2%	14,6%	2,0%	0,0%	2,8%

Tableau 4.12 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d’eau courante aux effectifs enregistrés de 2006 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La première valeur « 2006-2020 » est calculée globalement sur la période 2006-2020. La dernière valeur « 2006-2020 » est la valeur moyenne calculée sur la période 2006-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. ombre	Ab. Rel. vandoise
2006	438	40,9%	43,2%	10,7%	0,0%	5,3%
2007	146	46,6%	22,6%	14,4%	0,0%	16,4%
2008	41	2,4%	82,9%	7,3%	0,0%	7,3%
2009	304	20,4%	68,4%	3,3%	0,0%	7,9%
2010	189	9,0%	79,4%	4,2%	0,0%	7,4%
2011	172	51,7%	27,9%	4,1%	0,0%	16,3%
2012	736	22,8%	56,5%	7,9%	0,1%	12,6%
2013	386	25,4%	62,2%	9,6%	0,0%	2,8%
2014	212	19,3%	59,4%	4,7%	0,9%	15,6%
2015	882	15,8%	71,2%	9,8%	0,1%	3,2%
2016	343	4,1%	83,1%	3,2%	0,3%	9,3%
2017	521	48,8%	39,2%	7,3%	0,6%	4,2%
2018	230	4,3%	76,1%	3,0%	0,0%	16,5%
2019	155	44,5%	46,5%	3,9%	0,0%	5,2%
2020	687	9,0%	50,4%	12,7%	0,0%	27,9%
2006-2020	5442	23,4%	58,0%	8,0%	0,1%	10,5%
Moyenne	363	24,3%	57,9%	7,1%	0,1%	10,5%

4.3.2 Vieux-Rhône de Pierre-Bénite (annexe 4.2)

L'évolution du peuplement de poissons du Vieux-Rhône de Pierre-Bénite depuis l'augmentation du débit réservé en septembre 2000 a été largement décrite dans les rapports précédents et dans les publications issues de ce programme (Lamouroux *et al.*, 2006, Lamouroux & Olivier, 2015) (données détaillées en annexe 4.2). Les conclusions montrent que la structure du peuplement a été modifiée suite au relèvement important du débit minimum avec une augmentation importante de la proportion des espèces d'eau courante dans ce secteur (Figure 4.15), essentiellement due à l'augmentation des proportions d'ablettes (Figure 4.16 ; Tableau 4.14).

En 2020, les effectifs échantillonnés ont été particulièrement faibles (Figure 4.17) et 72% des poissons capturés étaient des juvéniles de l'année et le gardon est l'espèce dont l'abondance a été la plus élevée (Figure 4.18) (98% des gardons capturés étaient des juvéniles de l'année).

Les valeurs de la métrique « proportion des espèces d'eau courante » ont été particulièrement élevées en 2015, 2016, 2018 et 2019 en raison de la très forte proportion d'ablettes (Figure 4.16) (Tableaux 4.13 et 4.14). En 2020, la valeur de cette métrique était de 28% en raison des très faibles effectifs d'ablettes et de barbeaux fluviatiles.

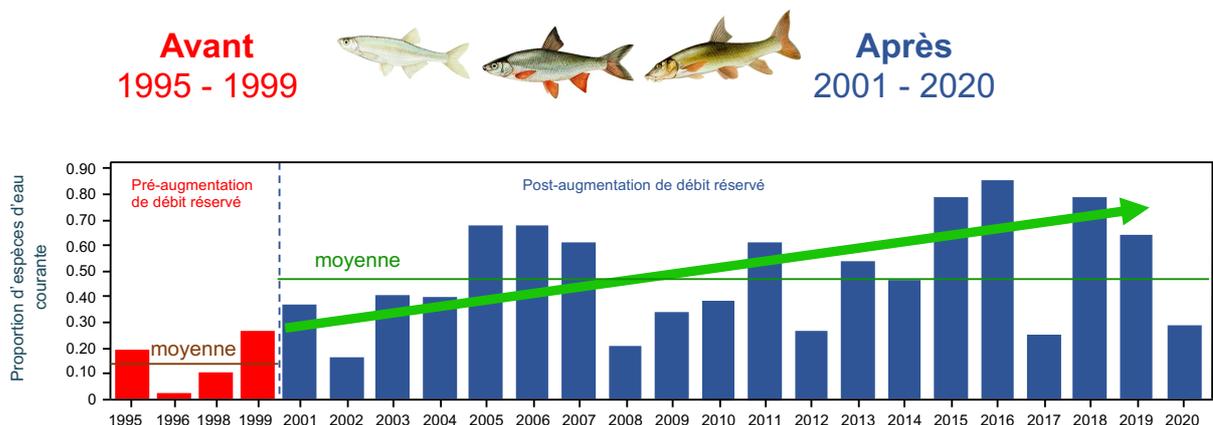


Figure 4.15 - Proportion d'espèces d'eau courantes (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans le Vieux – Rhône de Pierre-Bénite. En rouge : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en bleu : valeurs post-augmentation. La ligne continue verte représente la valeur de la moyenne sur la période 2000-2020.

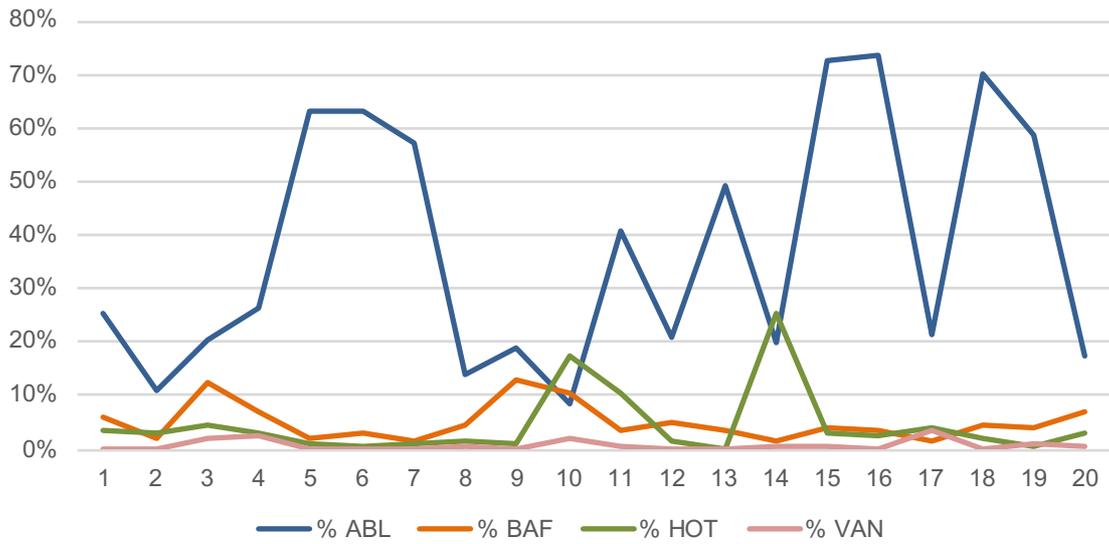


Figure 4.16 - Abondance relative des 4 espèces « d'eau courante » échantillonnées dans le Vieux - Rhône de Pierre - Bénite de 2001 à 2020.

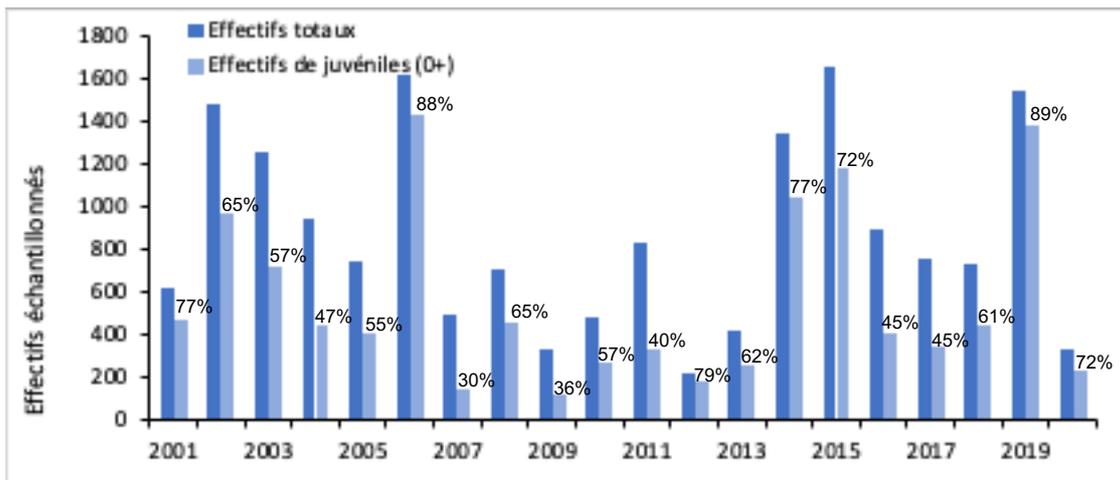


Figure 4.17 – Effectifs échantillonnés, effectifs et proportions de juvéniles de l'année (0+) toutes espèces confondues dans le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite depuis le relèvement du débit réservé.

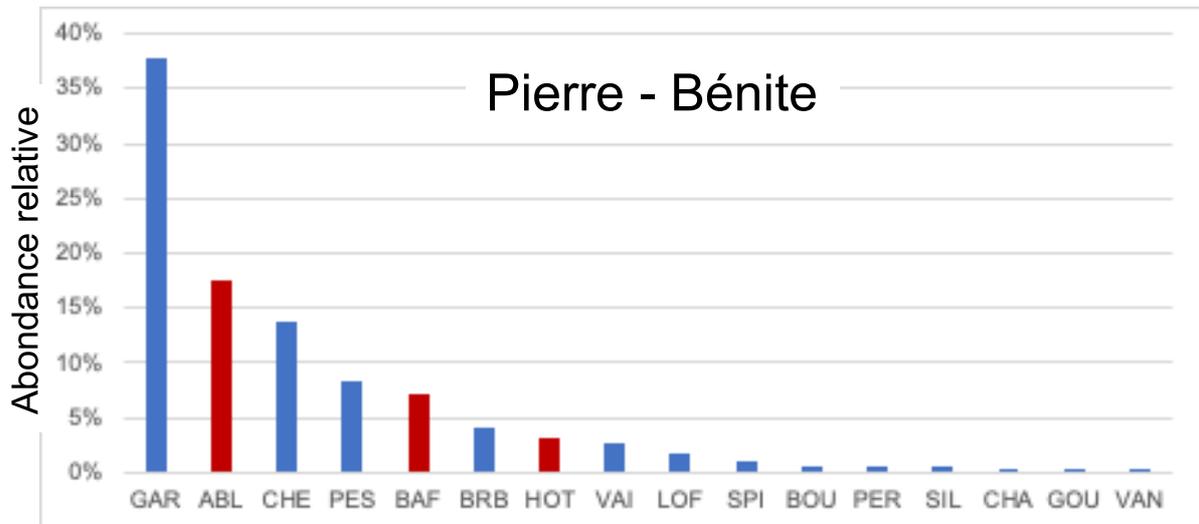


Figure 4.18 - Abondance relative des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

Tableau 4.13 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite depuis 2001. %EC : proportion d'espèces d'eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2001 - 2020 sont surlignées en vert. L'abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 4 dernières colonnes. La « Moyenne » est calculée sur la période 2001-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. vandoise
2001	613	19	35,2%	25,3%	6,2%	3,8%	0,0%
2002	1237	22	15,7%	10,8%	1,9%	3,1%	0,0%
2003	846	22	39,4%	20,6%	12,3%	4,5%	2,0%
2004	495	23	38,6%	26,3%	7,1%	2,8%	2,4%
2005	735	20	66,5%	63,0%	2,2%	1,1%	0,3%
2006	1617	18	66,6%	62,9%	3,0%	0,7%	0,0%
2007	486	15	59,7%	57,0%	1,6%	0,8%	0,2%
2008	700	21	20,0%	13,7%	4,7%	1,3%	0,3%
2009	322	16	33,2%	18,9%	13,0%	1,2%	0,0%
2010	473	16	38,3%	8,5%	10,4%	17,3%	2,1%
2011	832	20	55,4%	41,0%	3,7%	10,3%	0,4%
2012	216	15	27,3%	20,8%	5,1%	1,4%	0,0%
2013	413	13	53,0%	49,2%	3,6%	0,0%	0,2%
2014	1339	16	47,1%	20,0%	1,3%	25,3%	0,4%
2015	1646	15	79,9%	72,7%	3,9%	2,9%	0,4%
2016	888	16	86,3%	73,4%	3,4%	2,6%	0,1%
2017	745	20	26,6%	21,3%	1,3%	3,9%	3,4%
2018	722	15	76,7%	70,2%	4,4%	1,9%	0,1%
2019	1539	19	64,2%	58,7%	3,8%	0,7%	1,0%
2020	321	16	28,0%	17,4%	7,2%	3,1%	0,3%
2001-2020	14325	29	53,4%	42,5%	4,3%	4,9%	0,6%
Moyenne	809	18	47,9%	37,6%	5,0%	4,4%	0,7%

Tableau 4.14 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d’eau courante aux effectifs enregistrés de 2001 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La première valeur « 2001-2020 » est calculée globalement sur la période 2001-2020. La dernière valeur « 2001-2020 » est la valeur moyenne calculée sur la période 2001-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. vandoise
2001	216	71,8%	17,6%	10,6%	0,0%
2002	194	68,6%	11,9%	19,6%	0,0%
2003	333	52,3%	31,2%	11,4%	5,1%
2004	191	68,1%	18,3%	7,3%	6,3%
2005	489	94,7%	3,3%	1,6%	0,4%
2006	1077	94,4%	4,5%	1,1%	0,0%
2007	290	95,5%	2,8%	1,4%	0,3%
2008	140	68,6%	23,6%	6,4%	1,4%
2009	107	57,0%	39,3%	3,7%	0,0%
2010	181	22,1%	27,1%	45,3%	5,5%
2011	461	74,0%	6,7%	18,7%	0,7%
2012	59	76,3%	18,6%	5,1%	0,0%
2013	219	92,7%	6,8%	0,0%	0,5%
2014	631	42,5%	2,9%	53,7%	1,0%
2015	1315	91,0%	4,9%	3,6%	0,5%
2016	706	92,4%	4,2%	3,3%	0,1%
2017	223	71,3%	4,5%	13,0%	11,2%
2018	554	91,5%	5,8%	2,5%	0,2%
2019	988	91,4%	6,0%	1,1%	1,5%
2020	90	62,2%	25,6%	11,1%	1,1%
2001-2020	8464	81,3%	8,2%	9,4%	1,2%
Moyenne	423	73,9%	13,3%	11,0%	1,8%

4.3.3 Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon (annexe 4.3)

Le suivi du peuplement de poissons en lien avec la restauration hydraulique et écologique du Rhône a débuté en 2007.

En 2020, le nombre d’individus échantillonnés (3021) a été légèrement supérieur à la moyenne 2007-2019 (2740 ind.). Les gardons, dont 86% étaient des juvéniles de l’année, représentent 42% des poissons capturés (Figure 4.19) L’ablette et le gardon sont les deux espèces dont les abondances relatives sont importantes (~24% pour l’ablette et 19 et 24 % pour le gardon) au cours des 2 périodes pré (2007-2013) et post-augmentation de débit réservé (2014-2020). Parmi les autres espèces, les abondances relatives de la bouvière, du goujon, de la brème bordelière et du pseudorasbora sont plus importantes après 2014. Au contraire, celles du chevine et de la perche-soleil sont plus faibles après 2014.

La proportion des espèces d'eau courante a été de 15% en 2020 (Figure 4.20), valeur inférieure à la moyenne 2014-2019 (28%) et ce en raison d'une abondance relative d'ablettes bien inférieure à celle des années précédentes (Tableau 4.15). Les effectifs d'ablettes contribuent très largement à la valeur de la proportion des espèces d'eau courante, les effectifs de barbeaux fluviatiles contribuent très peu, moins que ceux de hotus (Tableau 4.16).

La modification du régime de débit réservé est récente et il est donc trop tôt pour en mesurer les effets sur les espèces d'eau courante. De plus, une grande partie du vieux-Rhône reste sous l'influence du seuil de Peyraud et les changements des caractéristiques hydrauliques engendrés par la modification des débits réservés sont surtout sensibles sur la partie amont du Vieux-Rhône. La proportion d'espèces d'eau courante sur ce tronçon est très variable d'une année à l'autre (Figure 4.20), elle est en particulier très liée au succès de reproduction des trois espèces de cette guildes possédant des populations viables dans le Vieux-Rhône (ablette, barbeau et hotu) (Tableau 4.16).

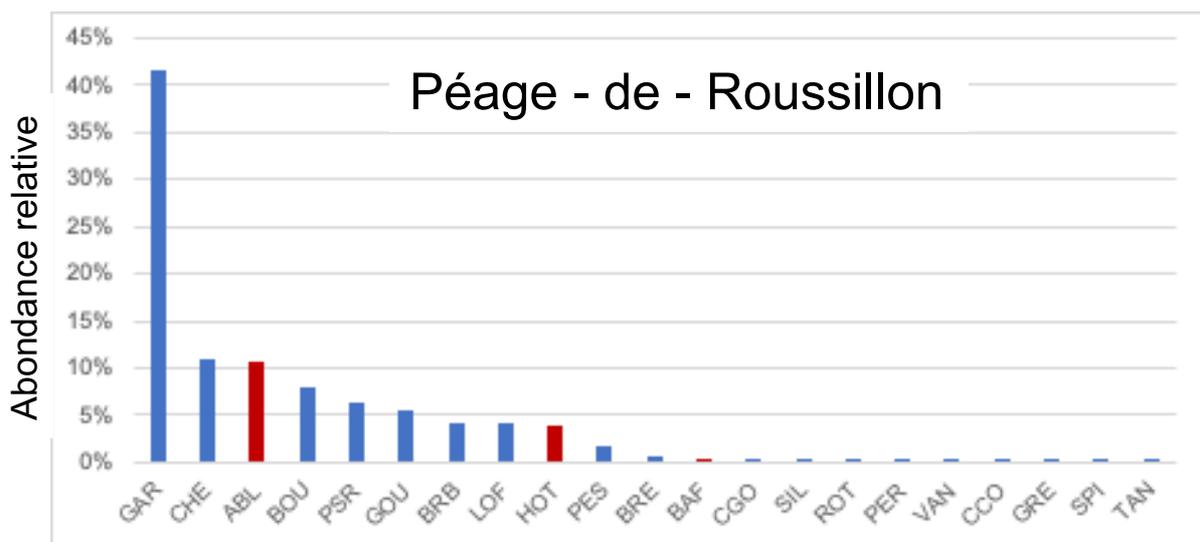


Figure 4.19 - Abondance relative des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

Tableau 4.15 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon depuis 2007. %EC : proportion d'espèces d'eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2007 – 2013 et 2014-2020 sont surlignées en vert. L'abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 4 dernières colonnes. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2007-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. vandoise
2007	1338	16	28,0%	25,8%	1,0%	1,1%	0,0%
2008	1724	20	31,4%	29,9%	1,3%	0,2%	0,0%
2009	3025	25	21,1%	18,2%	0,1%	2,7%	0,0%
2010	1397	23	16,4%	13,3%	0,8%	2,3%	0,0%
2011	1843	25	13,6%	12,4%	0,3%	0,9%	0,0%
2012	1287	21	42,7%	30,5%	2,6%	9,6%	0,0%
2013	2197	20	41,2%	39,4%	1,5%	0,3%	0,0%
2014	2802	23	25,4%	22,2%	0,2%	2,9%	0,0%
2015	5946	23	46,6%	43,6%	1,2%	1,7%	0,0%
2016	2506	19	18,2%	16,4%	1,8%	0,1%	0,0%
2017	4810	23	15,2%	14,1%	0,3%	0,7%	0,0%
2018	1522	19	33,0%	32,1%	0,3%	0,5%	0,2%
2019	5228	22	32,3%	25,9%	0,9%	1,7%	0,0%
2020	3021	21	15,0%	10,6%	0,5%	3,8%	0,2%
2007-2013	1830	29	28%	24%	1%	2%	0%
2014-2020	3691	29	27%	24%	1%	2%	0%

Tableau 4.16 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d'eau courante aux effectifs enregistrés de 2007 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2007-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. vandoise
2007	374	92,2%	3,7%	4,0%	0,0%
2008	541	95,2%	4,3%	0,6%	0,0%
2009	638	86,2%	0,6%	13,0%	0,2%
2010	229	81,2%	4,8%	14,0%	0,0%
2011	251	91,2%	2,0%	6,8%	0,0%
2012	550	71,5%	6,2%	22,4%	0,0%
2013	905	95,7%	3,5%	0,8%	0,0%
2014	711	87,6%	0,8%	11,5%	0,0%
2015	2768	93,6%	2,6%	3,8%	0,1%
2016	457	89,9%	9,6%	0,4%	0,0%
2017	731	92,7%	2,1%	4,9%	0,3%
2018	503	97,0%	1,0%	1,4%	0,6%
2019	1688	92,4%	0,2%	7,4%	0,0%
2020	453	70,4%	3,1%	25,4%	1,1%
2007-2013	498	87,6%	3,6%	8,8%	0,0%
2014-2020	1044	89,1%	2,8%	7,8%	0,3%

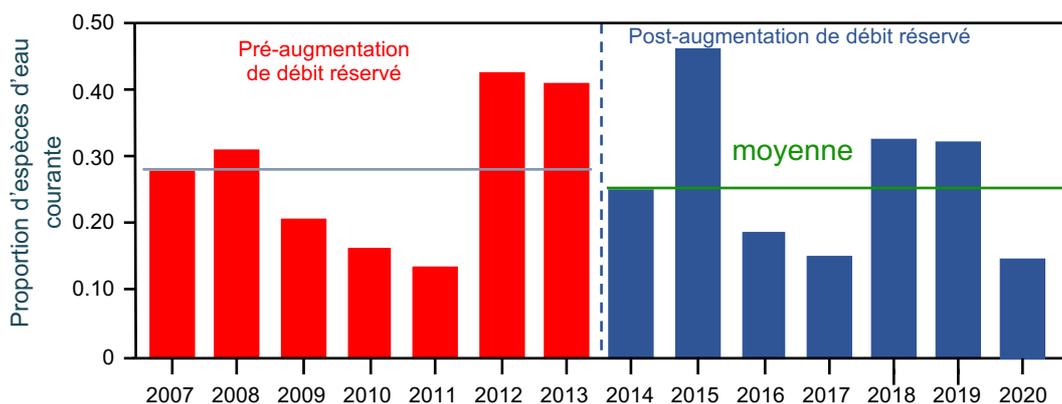


Figure 4.20 - Proportion d'espèces d'eau courante (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans le Vieux – Rhône de Péage-de-Roussillon. En rouge : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en bleu : valeurs post-augmentation. La ligne bleue pointillée marque la date de changement de débit réservé. La ligne continue bleue représente la valeur de la moyenne sur la période 2007-2013, la ligne verte sur la période 2014-2020.

4.3.4 Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf (annexe 4.4)

Le suivi du peuplement piscicole du Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf a débuté en 2010. Vingt-huit espèces ont été capturées au cours de cette période (annexe 4.4). En 2020 seules 14 de ces 28 espèces ont été échantillonnées dans le Vieux-Rhône. Les effectifs capturés sont les plus bas depuis le début de la chronique, sans doute en raison d'un succès de reproduction modéré (56% des poissons échantillonnés étaient des juvéniles de l'année). Le goujon, l'ablette et le hotu ont été les espèces les plus abondantes (Figure 4.21). La très forte proportion de vairons jusqu'en 2016 (~30% des abondances totales) était une particularité du peuplement de ce Vieux-Rhône, cette proportion a chuté à ~11% de 2017 à 2020.

Le débit réservé a été fortement relevé au 1^{er} janvier 2014 et des modifications de la structure du peuplement de poissons sont attendues en réponse à cette procédure de restauration écologique (augmentation significative de la proportion d'espèces d'eau courante). Depuis 2015, l'augmentation marquée de la proportion d'ablettes, concomitante à une diminution importante de l'abondance relative du vairon (Tableau 4.17) est majoritairement responsable de l'augmentation de la proportion d'espèces d'eau courante (Figure 4.22). Les abondances relatives des autres espèces de cette guildes, barbeau fluviatile et hotu, ont légèrement augmenté depuis 2018 et 2019 (Tableaux 4.17 et 4.18). Il est nécessaire d'attendre de disposer de données sur une période suffisamment longue pour conclure sur un effet durable de l'augmentation du débit réservé.

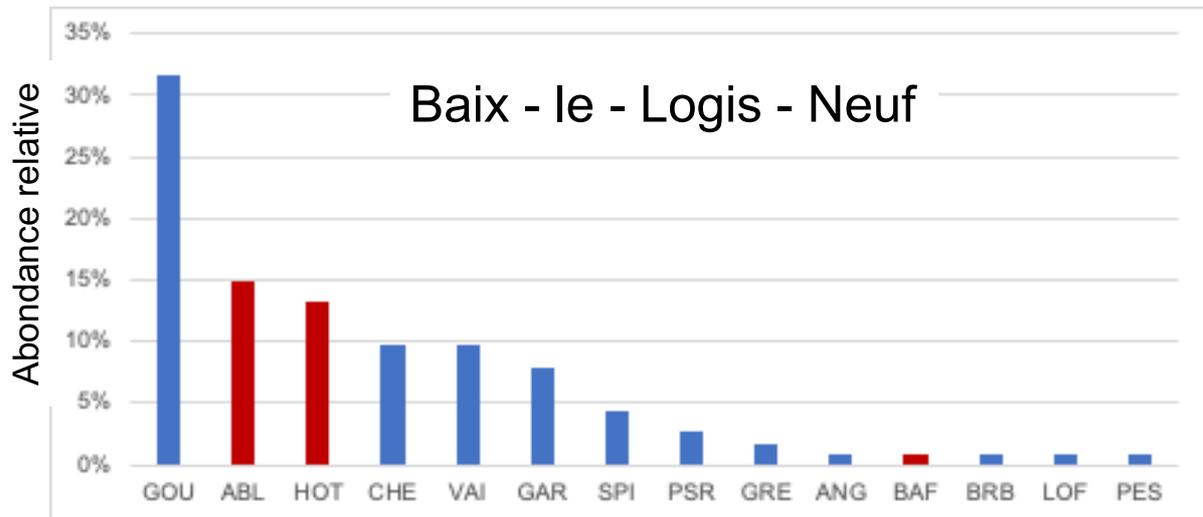


Figure 4.21 - Abondance relative des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

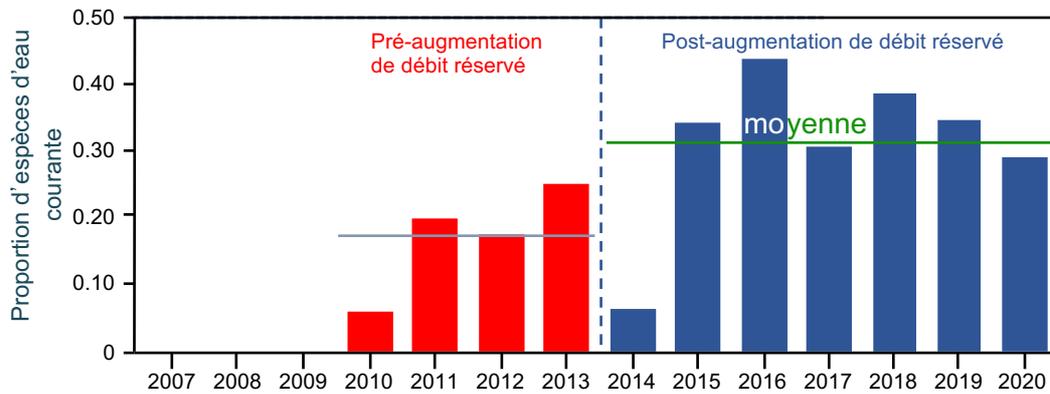


Figure 4.22 - Proportion d'espèces d'eau courante (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans le Vieux – Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf. En rouge : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en bleu : valeurs post-augmentation. La ligne bleue pointillée marque la date de changement de débit réservé. La ligne continue bleue représente la valeur de la moyenne sur la période 2010-2013, la ligne verte sur la période 2014-2020.

Tableau 4.17 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf depuis 2010. %EC : proportion d'espèces d'eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2014 - 2020 sont surlignées en vert. L'abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 3 dernières colonnes. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2010-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Ab. Totale	Nb esp.	%EC	Ab. Rel. alette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu
2010	672	20	6,1%	2,1%	1,8%	2,2%
2011	1102	22	20,0%	9,1%	0,7%	10,2%
2012	467	14	17,3%	7,7%	4,9%	4,7%
2013	759	19	25,3%	16,6%	5,8%	2,9%
2014	273	17	6,2%	4,4%	0,4%	1,5%
2015	879	15	34,4%	25,6%	7,7%	1,0%
2016	1826	18	43,4%	39,3%	3,3%	0,8%
2017	669	17	30,6%	24,5%	2,7%	3,4%
2018	729	18	38,4%	30,0%	1,2%	7,1%
2019	265	17	34,7%	20,8%	4,9%	9,1%
2020	114	14	28,9%	20,8%	4,9%	9,1%
2010-2013	750	25	17,2%	8,9%	3,3%	5,0%
2014-2020	679	22	31,0%	23,6%	3,6%	4,6%

Tableau 4.18 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d'eau courante aux effectifs enregistrés de 2010 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2010-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. alette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu
2010	41	34,1%	29,3%	36,6%
2011	220	45,5%	3,6%	50,9%
2012	81	44,4%	28,4%	27,2%
2013	192	65,6%	22,9%	11,5%
2014	17	70,6%	5,9%	23,5%
2015	302	74,5%	22,5%	3,0%
2016	792	90,7%	7,6%	1,8%
2017	205	80,0%	8,8%	11,2%
2018	280	78,2%	3,2%	18,6%
2019	92	59,8%	14,1%	26,1%
2020	33	51,5%	3,0%	45,5%
2010-2013	134	47,4%	21,1%	31,5%
2014-2020	246	72,2%	9,3%	18,5%

4.3.5 Vieux-Rhône de Montélimar

Le suivi du peuplement de poissons du vieux-Rhône de Montélimar a débuté en 2006. Entre 2006 et 2020, 30 espèces de poissons ont été échantillonnées (annexe 4.5).

Les espèces dont les abondances relatives sont les plus importantes sont : l'ablette (34,1%), le chevaine (15,2%), la brème bordelière (8,2%), le goujon et le barbeau fluviatile (~ 7%), le gardon (6%), le hotu (~6 %) et la loche franche (~ 5%).

En 2020, le nombre de poissons capturés (252 ind.) est le plus faible depuis le début de la chronique et seules 17 espèces ont été échantillonnées, les effectifs de goujon représentent 30% de poissons échantillonnés (Figure 4.23). Ce faible nombre de poissons capturés est en grande partie dû, comme en 2018 et 2019, à un succès de reproduction modéré (48% des poissons toutes espèces confondues étaient des juvéniles de l'année) mais néanmoins variable selon les espèces : la proportion de juvéniles de l'année était de 9% pour l'ablette, 55% pour le goujon 94% et 64% pour le chevaine.

Le débit réservé a été augmenté le 1^{er} janvier 2014 avec une valeur plancher de 75,4 m³.s⁻¹, cette modification devrait favoriser les espèces d'eau courante, en particulier l'ablette, le barbeau et le hotu. L'examen de l'évolution des proportions d'espèces d'eau courante montre une grande variabilité inter-annuelle des valeurs (Tableau 4.19 et Figure 4.24), elles sont comprises entre 23% (2020) et 77,8% (2017). Les variations constatées sont en majeure partie imputables à la variabilité inter-annuelle des proportions d'ablettes, notamment de 2015 à 2018, les proportions moyennes de barbeaux et de hotus étant plus faibles sur la période post-augmentation de débit réservé qu'auparavant (Tableaux 4.19 et Tableau 4.20).

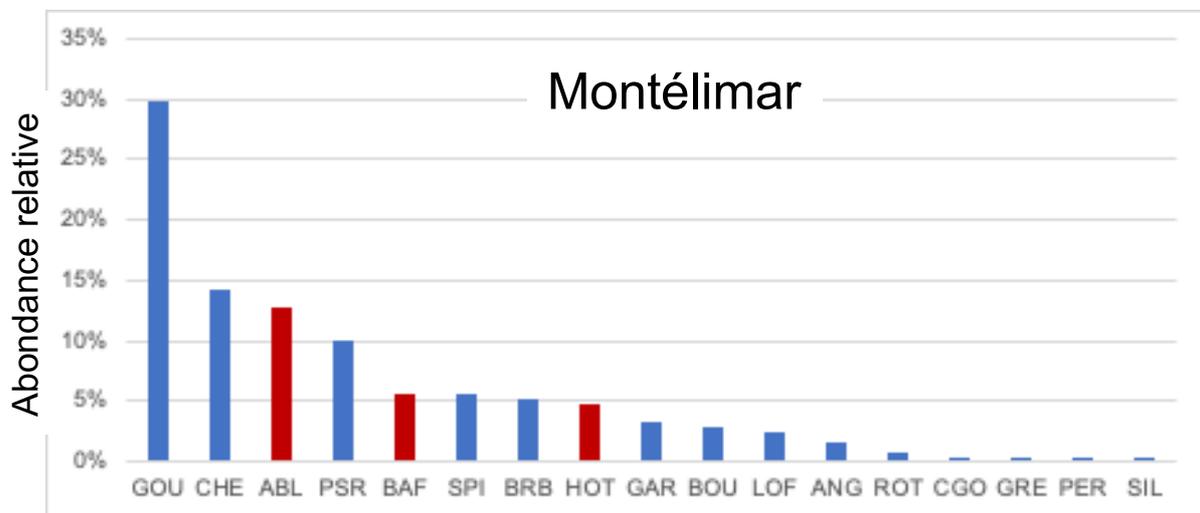


Figure 4.23 - Abondance relative des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Montélimar. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

Tableau 4.19 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Montélimar depuis 2006. %EC : proportion d'espèces d'eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2006 – 2013 et 2014-2020 sont surlignées en vert. L'abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 4 dernières colonnes. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2006-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Ab. totale	Nb esp.	%EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. toxostome	Ab. Rel. Vandoise
2006	888	24	26,2%	14,5%	7,4%	4,3%	0,0%	0,0%
2007	750	18	50,0%	30,3%	4,4%	15,3%	0,0%	0,0%
2008	518	21	31,5%	21,2%	4,2%	5,8%	0,2%	0,0%
2009	909	19	56,5%	24,5%	16,7%	15,3%	0,0%	0,0%
2010	1127	21	29,7%	21,4%	4,5%	3,8%	0,0%	0,0%
2011	970	22	33,8%	21,9%	4,5%	7,4%	0,0%	0,0%
2012	1046	17	61,4%	48,9%	8,3%	4,1%	0,0%	0,0%
2013	606	16	70,8%	56,9%	11,9%	2,0%	0,0%	0,0%
2014	980	14	27,1%	17,8%	3,0%	6,4%	0,0%	0,0%
2015	959	18	42,0%	36,9%	2,7%	2,8%	0,0%	0,0%
2016	1163	17	72,1%	60,4%	11,2%	0,5%	0,0%	0,0%
2017	838	19	77,8%	72,6%	2,5%	2,7%	0,0%	0,0%
2018	616	17	26,1%	19,8%	3,1%	2,9%	0,0%	0,3%
2019	590	18	45,8%	29,3%	2,0%	14,4%	0,0%	0,0%
2020	252	17	23,0%	12,7%	5,6%	4,8%	0,0%	0,0%
2006-2013	852	29	45,0%	30,0%	7,8%	7,3%	0,0%	0,0%
2014-2020	771	25	44,9%	35,6%	4,3%	4,9%	0,0%	0,0%

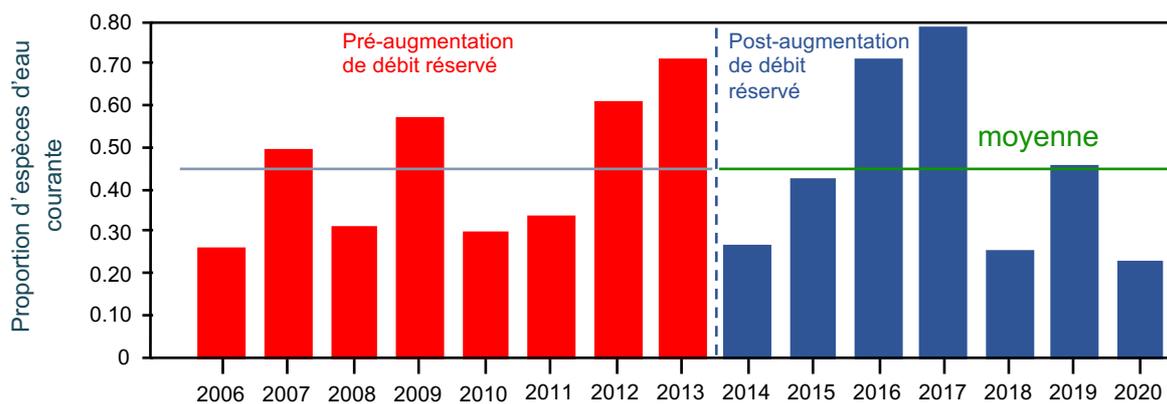


Figure 4.24 - Proportion d'espèces d'eau courante (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans le Vieux – Rhône de Montélimar. En rouge : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en bleu : valeurs post-augmentation. La ligne bleue pointillée marque la date de changement de débit réservé. La ligne continue bleue représente la valeur de la moyenne sur la période 2006-2013, la ligne verte sur la période 2014-2020.

Tableau 4.20 – Détail de la contribution des différentes espèces de à la guildes des espèces d'eau courante aux effectifs enregistrés de 2006 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Montélimar. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2006-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu	Ab. Rel. toxostome	Ab. Rel. Vandoise
2006	233	55,4%	28,3%	16,3%	0,1%	0,0%
2007	375	60,5%	8,8%	30,7%	0,0%	0,0%
2008	163	67,5%	13,5%	18,4%	0,0%	0,0%
2009	514	43,4%	29,6%	27,0%	0,0%	0,0%
2010	335	71,9%	15,2%	12,8%	0,0%	0,0%
2011	328	64,6%	13,4%	22,0%	0,0%	0,0%
2012	642	79,8%	13,6%	6,7%	0,0%	0,0%
2013	429	80,4%	16,8%	2,8%	0,0%	0,0%
2014	266	65,4%	10,9%	23,7%	0,0%	0,0%
2015	407	87,0%	6,4%	6,6%	0,0%	0,0%
2016	838	83,8%	15,5%	0,7%	0,0%	0,0%
2017	652	93,3%	3,2%	3,5%	0,0%	0,0%
2018	161	75,8%	11,8%	11,2%	0,0%	1,2%
2019	270	64,1%	4,4%	31,5%	0,0%	0,0%
2020	58	55,2%	24,1%	20,7%	0,0%	0,0%
2006-2013	377	65,4%	17,4%	17,1%	0,0%	0,0%
2014-2020	379	74,9%	10,9%	14,0%	0,0%	0,2%

4.3.6 Vieux-Rhône de Donzère

L'échantillonnage de la faune piscicole dans le vieux-Rhône de Donzère a débuté en 2008. Les espèces numériquement dominantes dans les échantillons sont sensiblement les mêmes que celles du Vieux-Rhône de Montélimar (annexe 4.6). Parmi les 28 espèces rencontrées, 8 ont une abondance relative qui dépasse 5% sur la période 2008-2020 : l'ablette (29,3%), le chevaine (14,2%), le barbeau fluviatile (10,5%), la loche franche (9,4%), le goujon (8,4%), le hotu (8,1%), le spirilin (5,9%) et le pseudorasbora (5,7%).

La variabilité inter-annuelle des effectifs échantillonnés est relativement importante (annexe 4.7). Les effectifs échantillonnés en 2020 (706 ind. pour 18 espèces) sont parmi les plus faibles depuis 2008 et sont très inférieurs à la moyenne sur la période 2008-2019 (1554). Contrairement à ce qui a été observé dans le Vieux-Rhône de Montélimar, la proportion de juvéniles de l'année dans les échantillons a été relativement importante (74%), notamment pour l'ablette (92% de poissons d'âge 0+), le hotu (94% de 0+), le gardon (89% de 0+) et le chevaine (78% de 0+).

Contrairement à ce qui avait été observés les années précédentes, les abondances d'ablettes et de barbeaux fluviatiles sont restées modestes en 2020. Le hotu et le chevaine ont été les 2 espèces les plus abondantes (Figure 4.25).

La proportion d'espèces d'eau courante est relativement importante dans ce Vieux-Rhône et varie généralement selon les années en fonction de l'abondance des ablettes et des barbeaux. En 2020, c'est la forte proportion de hotus (essentiellement des juvéniles de l'année) qui impacte la valeur de la métrique (Tableaux 4.21 et 4.22 et Figure 4.26). Le débit réservé a été très légèrement augmenté au 1^{er} janvier 2014 (passage de 60 m³.s⁻¹ à 75,4 m³.s⁻¹), aucun changement significatif de structure de peuplement suite à cette modification de débit n'est donc attendu dans ce vieux-Rhône.

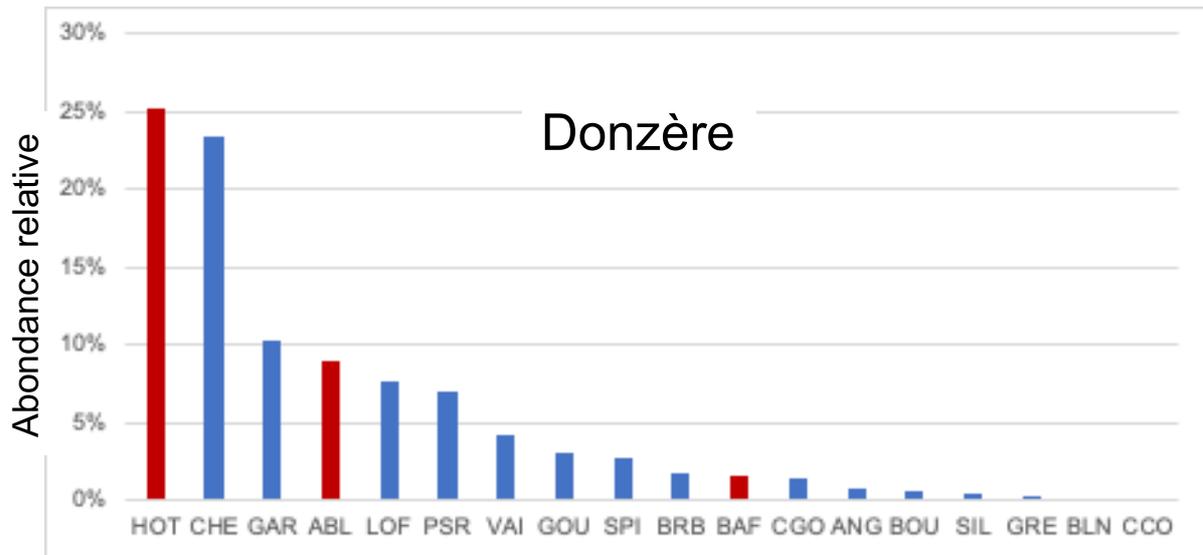


Figure 4.25 - Abondance relative des différentes espèces échantillonnées en 2020 dans le Vieux-Rhône de Donzère. Les valeurs correspondant aux espèces « d'eau courante » sont indiquées en rouge.

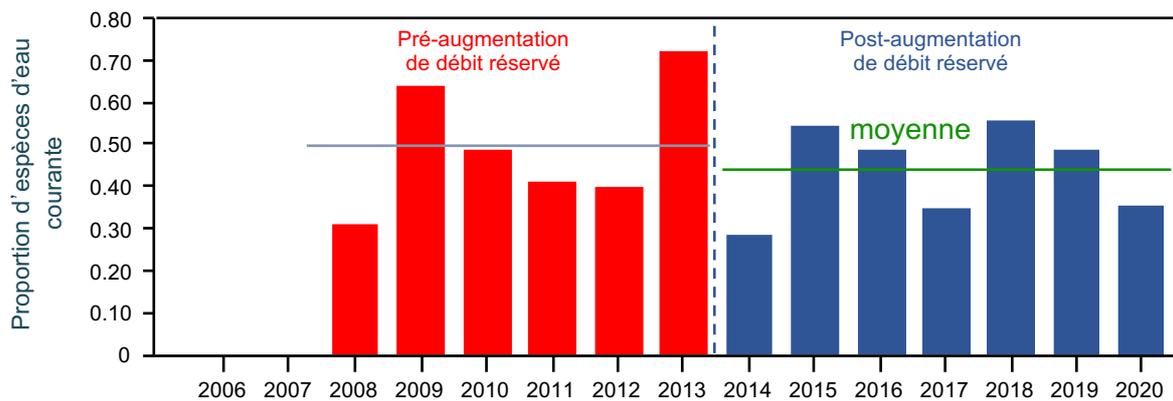


Figure 4.26 - Proportion d'espèces d'eau courante (abondances relatives des ablettes, barbeaux fluviatiles, hotus et vandoises) dans les pêches avant et après augmentation du débit réservé dans le Vieux – Rhône de Donzère. En rouge : valeurs pré-augmentation de débit minimum, en bleu : valeurs post-augmentation. La ligne bleue pointillée marque la date de changement de débit réservé. La ligne continue bleue représente la valeur de la moyenne sur la période 2008-2013, la ligne verte sur la période 2014-2020.

Tableau 4.21 – Synthèse des résultats acquis dans le Vieux-Rhône de Donzère depuis 2008. %EC : proportion d'espèces d'eau courante, les valeurs supérieures à la moyenne sur la période 2008 – 2013 et 2014-2020 sont surlignées en vert. L'abondance relative des espèces appartenant à la guildes des espèces d'eau courante (affectionnant particulièrement les habitats profonds et courants) est indiquée dans les 3 dernières colonnes. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2008-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Ab. totale	Nb esp.	%EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu
2008	507	15	31,0%	13,0%	15,8%	2,2%
2009	1781	18	63,6%	12,5%	14,1%	37,0%
2010	1717	21	48,9%	34,9%	8,2%	5,8%
2011	1959	20	41,4%	19,5%	2,9%	19,0%
2012	494	18	39,7%	33,2%	5,1%	1,4%
2013	1272	17	72,5%	42,1%	29,7%	0,6%
2014	1645	18	27,9%	20,5%	2,3%	5,1%
2015	2867	20	54,0%	38,4%	14,7%	0,9%
2016	3101	17	48,2%	37,2%	11,0%	0,0%
2017	1553	20	34,4%	28,3%	4,4%	1,7%
2018	1034	18	54,5%	37,7%	15,8%	1,1%
2019	715	18	48,8%	30,6%	6,9%	11,3%
2020	706	18	35,8%	9,1%	1,6%	25,2%
2008-2013	1288	27	49,5%	25,9%	12,6%	11,0%
2014-2020	1819	22	43,4%	28,8%	8,1%	6,5%

Tableau 4.22 – Détail de la contribution des différentes espèces de la guildes des espèces d'eau courante aux effectifs enregistrés de 2008 à 2020 dans le Vieux-Rhône de Donzère. Les valeurs comprises entre 20 et 50% sont surlignées en bleu, les valeurs supérieures à 50% sont surlignées en rouge. La moyenne (deux dernières lignes surlignées en vert) est calculée sur la période 2008-2013 et sur la période 2014-2020.

Année	Effectifs EC	Ab. Rel. ablette	Ab. Rel. barbeau	Ab. Rel. hotu
2008	157	42,0%	51,0%	7,0%
2009	1133	19,6%	22,2%	58,2%
2010	840	71,4%	16,7%	11,9%
2011	811	47,1%	6,9%	46,0%
2012	196	83,7%	12,8%	3,6%
2013	922	58,1%	41,0%	0,9%
2014	459	73,4%	8,3%	18,3%
2015	1549	71,1%	27,2%	1,6%
2016	1496	77,2%	22,7%	0,1%
2017	534	82,2%	12,9%	4,9%
2018	564	69,1%	28,9%	2,0%
2019	349	62,8%	14,0%	23,2%
2020	253	25,3%	4,3%	70,4%
2008-2013	677	53,7%	25,1%	21,3%
2014-2020	743	65,9%	16,9%	17,2%

4.4 Conclusion

L'évolution des peuplements de poissons après augmentation des débits réservés en Chautagne et à Pierre-Bénite montre des tendances assez claires bien que la variabilité inter-

annuelle soit importante, notamment en fonction du succès de reproduction des espèces d'eau courante (Lamouroux & Olivier, 2015). La tendance à l'augmentation de la proportion d'espèces d'eau courante constatée depuis 2017 dans le Vieux-Rhône de Belley semble se confirmer en 2020 avec, dans ce secteur, une contribution importante de la vandoise et des poissons d'âges supérieurs à 0+, ce qui témoigne d'un recrutement avéré au sein des populations. Il existe des différences inter-secteurs en lien avec les caractéristiques morphologiques et hydrologiques des différents tronçons court-circuités et une dynamique temporelle de la structure des peuplements en lien avec la variabilité inter-annuelle des conditions hydro-climatiques qui influe sur le succès de reproduction des espèces. En 2020, le succès de reproduction a été globalement assez moyen dans l'ensemble des Vieux-Rhône, sans doute en raison des variations hydrologiques printanières après un début de printemps chaud avec une hydrologie relativement stable. Le suivi en place permet d'évaluer les modifications sur le moyen terme et permet :

- d'apprécier les changements de structures de peuplements en lien avec les modifications de débits réservés comme c'est le cas notamment dans les Vieux-Rhône de Pierre-Bénite et de Baix-Le-Logis-Neuf,
- de mettre en lumière les caractéristiques de certains secteurs comme par exemple :
 - la difficulté pour certaines espèces (hotu, vandoise, ombre commun) de reconstruire des populations de tailles suffisantes dans le Vieux-Rhône de Chautagne,
 - l'importance de la diversité des types d'habitats dans les Vieux-Rhône de Belley et de Brégnier-Cordon qui permet à la majorité des espèces (dont celles de la guilde des espèces d'eau courante) de réaliser leur cycle de vie et maintenir des populations en bon état,
 - l'influence de l'évolution post-aménagement (endiguement Girardon, aménagement hydroélectrique et édification du seuil de Peyraud) sur les caractéristiques géomorphologiques du Vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon et les conséquences sur les limites potentielles des effets de la modification du régime de débit réservé sur les communautés aquatiques du Vieux-Rhône (effets du pavage et de la raréfaction des seuils naturels). Les travaux récents de démantèlement des marges alluviales et de réintroduction de sédiments devraient contribuer à l'amélioration de la qualité, de la quantité des habitats des secteurs courants et *in fine* se traduire par une augmentation de la proportion d'espèces d'eau courante dans ce vieux-Rhône ;

- d'identifier l'influence probable de la variabilité hydrologique printanière et des conditions d'étiage particulières (débits faibles et températures élevées au cours de l'automne) qui ont certainement tendance à favoriser la reproduction des espèces plutôt thermophiles et à pontes fractionnées (ablette, spirilin et chevaine par exemple).

Ces suivis annuels permettent de relativiser le poids des variations inter-annuelles constatées sur le long terme et constituent une base solide pour guider des actions destinées à apporter des améliorations complémentaires à celles mises en œuvre lors de la restauration des Vieux-Rhône et de leurs annexes. L'interprétation de la variabilité temporelle des assemblages de poissons doit évidemment prendre en compte l'évolution des conditions hydro-climatiques sous l'influence du changement global.

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

5.1 Objectifs

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

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

- l'acquisition de données pré-restauration afin de décrire la structure et la variabilité interannuelle des communautés ;
- l'utilisation de ces données afin de modéliser les préférences pour des variables hydrauliques ayant une influence forte sur la distribution des organismes aquatiques (contraintes au fond) ;
- la description de l'évolution post-restauration de métriques décrivant la structure des communautés (densités, richesse, ...) ;
- l'identification des taxons¹ dont les densités peuvent varier en augmentant ou en diminuant de manière significative en réponse aux augmentations de débits réservés.

La réduction du débit dans les Vieux-Rhône suite à la construction des aménagements hydro-électriques peut parfois avoir pour conséquence écologique une diminution de la richesse taxonomique/densité totale, de la richesse/densité en taxa sensibles (ex. EPT : Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères) (Dewson *et al.*, 2007, Poff & Zimmerman, 2010). En revanche, la restauration hydraulique dans les fleuves peut avoir comme conséquence une augmentation de

¹ Un taxon désigne un groupe d'êtres vivants constituant une unité systématique d'un niveau hiérarchique donné (variété, espèce, genre, famille, classe, embranchement, etc.)

la richesse/densité des espèces exogènes (Paillex *et al.*, 2015). Les données obtenues avant et après restauration permettent ainsi de valider les hypothèses posées à partir de ces métriques relatives à la richesse taxonomique ou aux préférences hydrauliques des macroinvertébrés du chenal proposées dans le cadre de cette étude (Olivier *et al.*, 2009). L'ensemble de ces métriques représente des descripteurs de l'évolution de la structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques après restauration.

5.2 Méthodologie

Pour chaque secteur suivi (sauf Pierre-Bénite), les invertébrés ainsi que les paramètres hydrauliques sont échantillonnés sur les mêmes stations selon un tirage aléatoire sur 20 transects. Les invertébrés ont été récoltés avec un cylindre de Hess (Photo 5.1) muni d'un filet de maille de 200 μm jusqu'en 2013 puis 400 μm à partir de 2014 (voir explication plus bas). Les premiers centimètres de substrat et la faune associée sont collectés sur une surface de 0.05 m^2 .



Photo5. 1-2 - Photo 5.1, à gauche, échantillonnage au cylindre de Hess (Montélimar, 24/04/2014). Photo 5.2, à droite, mesure de vitesse moyenne (Montélimar, 27/05/2012).

Des mesures fines de l'habitat hydraulique (vitesse moyenne, hauteur, composition du substrat et contraintes au fond) ont été réalisées à chaque point d'échantillonnage jusqu'en 2012 (Photo 52). La méthode des hémisphères HFST a été utilisée pour mesurer les contraintes hydrauliques locales au fond de la rivière au niveau du point d'échantillonnage de la faune (Olivier *et al.*, 2007). Ces forces hydrauliques peuvent induire le remaniement des sédiments et déloger les invertébrés benthiques de leurs abris ; elles sont donc de bons indicateurs de perturbation de l'habitat physique. La quantité de données acquise jusqu'en 2012 a été jugée suffisante pour améliorer les modèles de préférences d'habitat des invertébrés. Ainsi, seuls les

paramètres hydrauliques vitesse moyenne et profondeur sont estimés pour chaque point d'échantillonnage à partir de 2013.

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

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

Pour le secteur de Pierre-Bénite, l'échantillonnage est réalisé dans trois stations : dans la partie amont du Vieux-Rhône, au niveau de l'île Tabart (pk 8,4) ; sur le radier, à l'amont du pont de Vernaison (pk 9,8) ; en aval, au niveau de la station de pompage de Millery (pk 12,6). Dans chaque station, les prélèvements faunistiques sont d'une part réalisés par dragage dans le chenal (un par station, soit 3 m^2), d'autre part les divers types de microhabitats des rives (substrats durs, herbiers, sédiments fins), mésohabitats *sensu* Armitage *et al.* (1995), sont prospectés en fonction de leurs occurrences (Bournaud & Cogérino, 1986 ; Cogérino, 1989 ; Cogérino *et al.*, 1995) à l'aide d'un filet Surber de surface 0.05 m^2 et de taille de maille 500 μm . La station « aval » (pk 12.6) se situe à la limite du remous de la confluence avec le canal de dérivation et possède des berges partiellement endiguées. Ces caractéristiques pouvant limiter les effets du rehaussement des débits et biaiser l'image du secteur, seules les stations « amont » (pk 8.4) et « radier » (pk 9.8) seront conservées pour la suite de l'analyse.

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

Ce rapport présente le bilan des données acquises en 2020, les principaux enseignements issus du suivi des communautés de macroinvertébrés des chenaux restaurés ainsi que les nouvelles connaissances acquises concernant les préférences hydrauliques des macroinvertébrés.

5.3 Bilan des campagnes d'échantillonnage

En 2021, 127 campagnes d'échantillonnages d'invertébrés ont été réalisées dans le chenal de 9 vieux-Rhône avant restauration et de 8 vieux-Rhône après restauration (Tableau 5.1).

Les résultats des états pré-restauration de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon ont chacun fait l'objet d'un rapport d'état initial (Olivier et *al.*, 2004a & b, 2005). Les données de cet état initial ont été utilisées pour modéliser la réponse des peuplements d'invertébrés au changement des conditions hydrauliques dans les Vieux-Rhône (Olivier et *al.*, 2007). Des données complémentaires ont été récoltées jusqu'en 2012 afin d'améliorer les modèles précédents. Cette revisite des modèles de préférences biologiques concerne 145 taxons parmi les 414 taxons recensés dans le cadre de ce suivi.

Tableau 5.1 - Campagnes d'échantillonnages sur les secteurs suivis du Rhône. En gris les campagnes déjà réalisées, en orange les campagnes prévues. (X) Données issues des travaux de Fruget et Dessaix (non publiés). (1) Données récoltées par l'ARALEP (IBGA). Les lignes rouges symbolisent les dates de rehaussement des débits réservés. P : Printemps, E été. Total 1 : nombre total de campagnes d'échantillonnage, Total 2 : nombre total de prélèvements.

		Haut-Rhône				Bas-Rhône				
		Chautagne	Belley	Brégier-Cordon	Miribel	Pierre-Bénite (1)	Péage-de-Roussillon	Baix-Le-Logis-Neuf	Montélimar	Donzère-Mondragon
1995	P									
	E									
1996	P									
	E									
1997	P									
	E	X								
1998	P									
	E									
1999	P	X								
	E	X								
2000	P	X								
	E	X								
2001	P									
	E									
2002	P									
	E									
2003	P									
	E									
2004	P									
	E									
2005	P									
	E									
2006	P									
	E									
2007	P									
	E									
2008	P									
	E									
2009	P									
	E									
2010	P									
	E									
2011	P									
	E									
2012	P									
	E									
2013	P									
	E									
2014	P									
	E									
2015	P									
	E									
2016	P									
	E									
2017	P									
	E									
2018	P									
	E									
2019	P									
	E									
2020	P						2021	2021	2021	2021
	E									
2021	P									
	E									
2022	P									
	E									
2023	P									
	E									
Total 1		23	14	12	10	22	13	11	11	11
Total 2		412	280	380	180	220	260	220	220	220

Les campagnes d'échantillonnages initialement prévues pour 2020 concernaient les secteurs de Péage-De-Roussillon, Baix-Le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère-Mondragon. En raison, du contexte sanitaire national, seule la campagne d'été a pu être réalisée dans ces secteurs. La campagne d'échantillonnage de printemps a été reportée à 2021.

Le travail de tri et détermination des prélèvements ainsi que la saisie des données ont été réalisés pour l'ensemble des campagnes de printemps et d'été 2017, à l'exception de la campagne d'été du canal de Miribel.

Concernant la campagne d'été 2020, le travail de tri et détermination des prélèvements ainsi que la saisie des données ont été réalisés pour les secteurs de Baix-Le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère-Mondragon.

5.4 Rappel des principaux enseignements

Le retour d'expérience du suivi des communautés de macroinvertébrés réalisé sur les secteurs du haut Rhône ainsi que sur le secteur de Pierre-Bénite nous a permis de mettre en évidence que :

- l'évolution des communautés observée est globalement conforme aux attentes (prédictions). Elle se traduit taxonomiquement par une augmentation de la proportion des taxons ayant des préférences pour les contraintes hydrauliques élevées (taxons rhéophiles) et fonctionnellement par une évolution des secteurs vers des conditions environnementales et trophiques plus proches de celles habituellement rencontrées dans les grands fleuves.
- les effets sur la communauté de macroinvertébrés sont d'autant plus marqués que la différence de valeur de débit avant-après restauration hydraulique est importante.
- ces effets sont d'autant mieux évalués que les chroniques de données avant et après sont longues.

5.5 Prédiction de l'évolution des communautés de macroinvertébrés

5.5.1 Principe

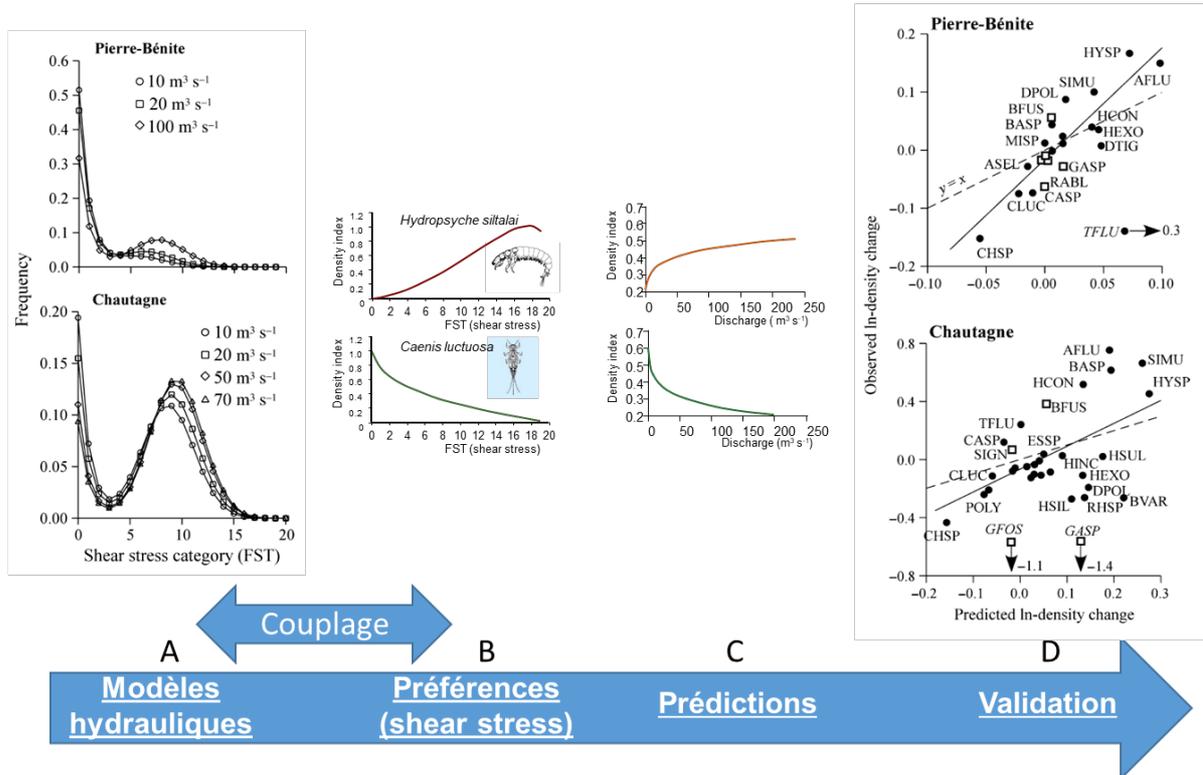


Figure 5.1 – Principe de la démarche de prédiction de la réponse des communautés aux modifications de débit par la méthode des modèles d'habitats (Mérigoux *et al.* 2015).

En 2009, les données acquises dans le cadre du suivi scientifique de la restauration hydraulique ont permis de construire 66 courbes de préférences (Mérigoux *et al.*, 2009) correspondant à 66 taxa rencontrés fréquemment dans le Haut-Rhône ainsi que dans le Vieux-Rhône de Pierre-Bénite. Ces courbes mettent en relation l'évolution de l'abondance (exprimée en indice d'abondance [0-1]) d'un taxon le long d'un gradient hydraulique, ici le gradient de contraintes au fond mesuré en valeur d'hémisphère FST comprises entre [0-20].

La Figure 5.1B illustre la réponse de l'indice d'abondance le long d'un gradient de contraintes au fond pour 2 espèces montrant des réponses contrastées. L'espèce de trichoptère *Hydropsyche siltalai* est dite rhéophile car son optimum d'abondance correspond à des microhabitats aux contraintes hydrauliques élevées alors que l'espèce d'éphémère *Caenis luctuosa* montre une réponse opposée avec un maximum d'abondance dans les microhabitats aux contraintes hydrauliques faibles.

Le couplage de ces modèles de préférences avec les modèles hydrauliques qui eux ont la capacité de prédire la distribution statistique de la variable hydraulique considérée en fonction de différents scenario de débit (Figure 5.1A) nous permet de prédire l'évolution à la hausse ou

à la baisse de la densité des espèces selon un gradient de débit (Figure 5.1C). L'exercice de validation de ces prédictions, réalisé sur les secteurs de Chautagne et de Pierre-Bénite (Mérigoux *et al.*, 2015), a montré que les prédictions expliquaient respectivement 30 % et 75 % des changements de densités observés pour les taxons possédant un modèle (Figure 5.1D).

5.5.2 Résultats

Les travaux de Mérigoux *et al.* 2009 étaient essentiellement basés sur des données issues de campagnes d'échantillonnage des macroinvertébrés des secteurs du haut Rhône. Or la faune des secteurs suivis du bas Rhône est relativement différente de celle observée sur les secteurs suivis du haut Rhône et notamment par la présence plus diversifiée et abondante d'espèces exogènes. Un travail de revisite de ces modèles de préférences d'habitats (Forcellini *et al.* 2020) a été entrepris sur la base d'un jeu de données nettement plus important (2158 prélèvements collectés lors de 91 campagnes d'échantillonnage) que celui utilisé par Mérigoux *et al.* (2009) (300 prélèvements collectés lors de 12 campagnes d'échantillonnage) et impliquant des techniques de modélisation plus innovantes (modèles non-linéaires mixtes, Plichard, 2020).

Les nouvelles courbes de préférences retenues sont issues d'un jeu de données constitué suite à l'échantillonnage de cours d'eau de tailles différentes, des petits ruisseaux à des grands fleuves et pour lesquels les prélèvements ont été effectués à différentes saisons sur une période s'étalant de 1987 à 2014. 65% du jeu de données provient des résultats acquis lors du suivi RhonEco, le reste provenant d'échantillonnages réalisés dans d'autres rivières Françaises ou Allemandes. Les courbes de préférences retenues sont celles qui ont montré une grande stabilité c'est-à-dire montrant une forme identique de la réponse entre les campagnes (Figure 5.2). Ce travail a permis la construction de courbes de préférences de la variable hydraulique « contraintes au fond » pour 144 taxa (dont 113 présents dans le Rhône) et de courbes de préférences de la variable hydraulique « vitesse » pour 73 taxa (tous présents dans le Rhône).

Les "modèles de préférence hydraulique" quantifient l'effet de changements hydrauliques sur les changements d'abondance des taxons. Le programme Rhôneco permet l'amélioration de ces modèles et leur développement pour de nombreux taxons, de macroinvertébrés (Forcellini *et al.*, sous presse) et de poissons (Plichard *et al.*, 2020). Ces développements mettent en évidence quelles réponses des invertébrés aux conditions hydrauliques sont transférables entre sites d'étude, du Rhône et d'ailleurs, y compris en petits cours d'eau. On peut retenir (vision globale) que plus de deux tiers des taxons aquatiques ont des préférences hydrauliques significatives, et que deux tiers des préférences sont liées à une réponse "moyenne entre cours

d'eau" et un tiers à des réponses "spécifiques par cours d'eau". Cette image globale varie suivant les taxons.

Il est important de signaler que les modèles de préférence issus de Rhoneco **sont intégrés instantanément** dans les outils utilisés en routine par les bureaux d'études pour la définition des débits écologiques (plateforme "Habby" <https://github.com/YannIrstea/habby>, modèles "Fstress" et "stathab" <https://ecoflows.inrae.fr/software/>). Les modèles concernant les macroinvertébrés sont particulièrement utiles de nos jours, car de nombreuses microcentrales sont construites en cours d'eau apiscicoles.

La Figure 5.2 illustre la forte transférabilité du modèle de préférence « contraintes au fond » pour le taxon Simuliidae. En effet, les individus appartenant à cette famille de diptère, dont l'identification à l'espèce s'avère difficile au stade larvaire, est représentée en France et en Allemagne par 5 genres et 53 espèces. La similarité de la forme des courbes entre les campagnes démontre l'uniformité de la réponse de l'abondance au regard des contraintes aux fonds dans cette famille.



Figure 5.2 – Exemple d’ajustement des modèles de préférences hydrauliques (contraintes au fond) par campagnes (site x date) pour le taxon Simuliidae.

La stabilité des modèles retenus entre les différentes campagnes dans un contexte de forte variabilité spatio-temporelle traduit une grande transférabilité de ces modèles dans d’autres hydrosystèmes.

Des résultats comparables ont été obtenus pour les préférences des poissons au regard d’autres variables hydrauliques (vitesse, profondeur, Plichard *et al.* 2020).

Ce travail nous a également permis de corriger (par exemple pour le taxon *Hydropsyche* juvéniles, Figure 5.3) ou d’invalider (par exemple pour le taxon *Serretalla ignita*) certaines courbes utilisées jusqu’alors mais également de proposer de nouvelles courbes pour des taxons récemment découverts dans le Rhône (par exemple des espèces exogènes comme le crustacé *Jaera istri*) ou encore pour des taxons dont la quantité de données n’était pas suffisante pour construire des courbes robustes en 2009 (par exemple le plécoptère *Leuctra geniculata* ou encore le trichoptère *Oecetis* spp.).

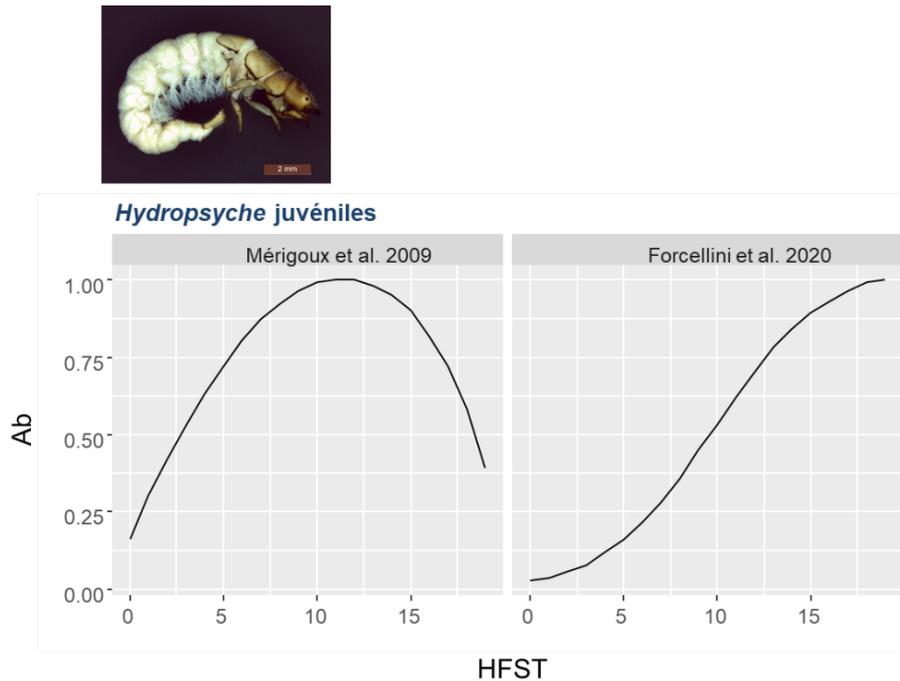


Figure 5.3 – Courbes de préférences mettant en relation l’abondance du taxon *Hydropsyche* juvéniles (exprimé en indice d’abondance [0-1]) et la variable hydraulique « contraintes au fond ». Avec à gauche, la courbe issue des travaux de Mérigoux et al. 2009 et à droite la courbe issue des travaux de Forcellini et al. 2020)

Les courbes de préférences construites par Forcellini et al. (2020) et concernant les taxa collectés lors du suivi RhonEco sont présentées dans l’Annexe 5.1.

5.6 Conclusion et perspectives

Globalement, les opérations de restauration semblent avoir eu les effets attendus mais la forte variabilité des réponses nous rappelle qu’il y a de nombreux facteurs influençant les communautés qui ne sont pas liés à l’hydraulique (pollution, disponibilité sédimentaire, compétition interspécifique...).

Néanmoins, à l'échelle du secteur, les changements de densité et/ou proportion observés suite aux modifications des conditions hydrauliques engendrées par les opérations de restauration sont globalement conformes à nos attentes avec une augmentation des taxons ayant de fortes affinités pour les contraintes hydrauliques élevées et une diminution des taxons ayant de fortes affinités pour les contraintes hydrauliques d'intermédiaires à faibles. L'analyse fonctionnelle nous informe également de l'évolution des secteurs restaurés vers des conditions environnementales et trophiques plus proches de celles habituellement rencontrées dans les grands fleuves.

Enfin, les méthodes d'échantillonnages mises en œuvre dans le cadre de ce programme semblent pertinentes pour observer les changements engendrés par les opérations de restauration des débits réservés, dans la mesure où celles-ci soient d'une ampleur assez importante et que nous disposions de suffisamment de données pour définir un état initial robuste (> 2 ans).

La production de nouvelles courbes de préférences pour les macroinvertébrés et notamment pour les taxons du Bas-Rhône, permettront de refaire un test de validation des prédictions sur l'ensemble des secteurs restaurés du Bas-Rhône. Ce type de courbes est fréquemment utilisé dans les approches de type « modèles d'habitats » pour l'aide à la définition des débits minimums biologiques. Leur fort degré de transférabilité représente une opportunité pour ce type d'études dans des rivières apiscicoles ou bien lorsque les budgets alloués ne permettent pas le développement de courbes de préférences dédiées.

Enfin, le suivi des macroinvertébrés des chenaux restaurés va se poursuivre sur la période 2021-2023 avec un espacement des campagnes d'échantillonnage sur les 3 secteurs du haut-Rhône (Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon), un maintien de cet effort d'échantillonnage sur les secteurs du bas-Rhône (Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Baix-Le-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère-Mondragon) et l'abandon du suivi du secteur de Miribel.

6 Hydromorphologie des lônes

6.1 Objectifs et méthodologie

Depuis son lancement, le suivi scientifique aborde deux problématiques majeures en matière de dynamique hydromorphologique des lônes. Ces questionnements se déclinent en deux principaux axes de recherche permettant d'évaluer la pertinence des travaux de restauration réalisés le long du corridor rhodanien depuis 1999. Ils sont abordés à partir de mesures *in situ* reposant sur un protocole de suivi simple et facilement reproductible.

Axe 1 : Quelle est la durée de vie d'un bras restauré ? En d'autres termes, y a-t-il un comblement du bras par sédimentation ? Existe-t-il des phénomènes de décapage des sédiments fins ralentissant le processus, voire l'inversant ? Cette durée de vie est-elle modifiée par la restauration ? Ce premier ensemble de questions est abordé en confrontant le taux de sédimentation (épaisseur des sédiments fins déposés sur une période de temps donnée) et la hauteur d'eau moyenne (disponible par ailleurs) du bras qui est susceptible d'enregistrer le comblement des bras par les alluvions.

Axe 2 : La restauration modifie-t-elle les conditions d'habitat dans les bras ? Ces conditions d'habitat dépendent de la dynamique des écoulements transitant dans les bras et de la granulométrie du lit qui est associée. L'objectif est ici de déterminer si les conditions d'habitat sont modifiées par rapport aux conditions initiales et si ces nouvelles conditions vont se maintenir durablement. Il s'agit également de valider le fait que les travaux de restauration permettent bien une diversification fonctionnelle des habitats entre les différents bras présents sur un même secteur. Pour caractériser cette évolution, un suivi de la variabilité de la granulométrie des dépôts de fines intra et inter-bras est réalisé.

Les axes 1 et 2 constituent le cœur des réflexions menées dans le cadre du suivi hydromorphologique des bras restaurés. D'importantes avancées ont été réalisées récemment autour de ces problématiques notamment sur les bras pour lesquels on dispose d'un suivi post-travaux relativement long (bras restaurés du Haut-Rhône et de Pierre-Bénite). En outre, nous avons pu démontrer que les patrons granulométriques longitudinaux (i.e. les conditions d'habitat ; Riquier *et al.*, 2015), les vitesses de comblement des bras par les alluvions fines et de fait leur durée de vie potentielle en tant qu'habitats aquatiques (Riquier *et al.*, 2017) peuvent être relativement bien estimés à partir de descripteurs simples de la dynamique des écoulements de crue transitant dans les bras (fréquence de fonctionnement lotique des bras, capacité de reflux

et intensité des écoulements en fonctionnement lotique, *cf.* Riquier *et al.*, 2019 pour une synthèse en français). Ces modèles constituent d'ores et déjà des outils opérationnels pertinents, qui devraient permettre de fournir des éléments d'aide à la décision lors de la conception technique des futures actions de restauration sur le Rhône. Cependant, la poursuite des efforts de restauration sur le Rhône moyen et le Bas-Rhône, a fait émerger de nouveaux questionnements abordés dans un troisième axe de réflexion initié depuis 2018.

Axe 3 : Les modèles établis sur les bras restaurés du haut-Rhône et de Pierre-Bénite sont-ils généralisables à l'ensemble du corridor fluvial que ce soit sur des sites restaurés ou non restaurés ?

En l'état, ces modèles (i.e. prédiction des vitesses de comblement et des patrons granulométriques) ne sont a priori pas généralisables à d'autres contextes géographiques (cas des bras non restaurés ou des bras situés sur des secteurs du fleuve qui enregistrent des flux sédimentaires différents, en termes de granulométrie et de concentrations). Il s'agit ici de traiter les thématiques de recherche abordées dans les axes 1 et 2 en comparant les conditions observées sur les bras restaurés et non restaurés à la fois sur le haut-Rhône, le Rhône médian et le bas-Rhône, ainsi que leurs trajectoires évolutives lorsque cela est possible.

D'un point de vue méthodologique, le protocole repose sur un suivi limnimétrique continu et une campagne de terrain, réalisée en moyenne tous les deux ans, durant laquelle deux types de relevés sont effectués :

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

(ii) **la distribution granulométrique.** Cinq prélèvements équi-répartis longitudinalement sont réalisés dans l'axe des bras à la benne d'Ekman afin de mesurer la taille médiane des sédiments de surface et sa variabilité longitudinale. Pour les lônes atterries, les cinq prélèvements ont été

réalisés à la tarière pédologique. Tout échantillon dont la taille médiane estimée *in situ* excède 2 mm est considéré comme matériel grossier, sans distinction de taille plus précise. Les échantillons de fines (< 2 mm) prélevés lors des campagnes de terrain font, par la suite, l'objet d'analyses granulométriques réalisées en laboratoire, à partir d'un granulomètre laser.

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

Enfin, le constat d'un manque de connaissances quant à l'ajustement des bras vifs permanents ou semi-permanents a donné lieu à l'élaboration d'un protocole de suivi dédié. Ce dernier doit permettre de compléter les retours d'expériences autour des questionnements soulevés par les axes de recherche 1, 2 et 3 (thèse de Nicolas Tissot, débuté en octobre 2019).

L'objectif du présent rapport est de fournir une synthèse des actions réalisées au cours de l'année 2020. Les points suivants sont résumés dans la suite de ce rapport d'étape :

- État des campagnes de suivi prévues en 2020.
- État d'avancement de la mise en œuvre du protocole de suivi dédié aux bras vifs.
- Conclusions et perspectives pour 2021.

6.2 Campagne de suivi 2020

L'ensemble des suivis prévus dans le planning pour les secteurs du haut-Rhône n'ont pu être réalisés. Les lônes de Malourdie et du Brotalet sur le secteur de Chautagne ont été suivies, ainsi que Luisettes, Moiroud, Béard et En-l'Île sur le secteur de Belley. En revanche, Fournier (Vieux-Rhône de Belley), ainsi que la totalité des lônes du secteur de Brégnier-Cordon n'ont pu être suivi cette année en raison du contexte sanitaire. Ces suivis seront complétés au cours du premier trimestre 2021. Des limnimètres (capteurs de pressions) ont été installés sur les lônes de Fournier et d'En-l'Île (deux par bras ; Vieux-Rhône de Belley), de Vachon (x2 ; Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon) et seront installés sur le Banc-Rouge (x3 ; Vieux-Rhône de Donzère-Mondragon) prochainement. Les analyses granulométriques des prélèvements de fines en lien avec les relevés de 2019, 2020 et 2021 seront réalisées cette année. L'actualisation

de l'analyse de l'évolution des conditions d'habitat dans les bras et de l'estimation de leur durée de vie sera achevée en 2021.

6.3 Suivi de l'atterrissement et des conditions d'habitat des bras vifs

L'atterrissement des bras vifs (i.e. la diminution progressive de la profondeur en eau) peut résulter de différents processus, à savoir : (i) un remplissage du bras par la charge de fond, notamment contrôlé par l'angle de bifurcation entre le chenal principal et le chenal secondaire et la pente de la section transversale dans cette zone (e.g. Van Denderen *et al.*, 2019) et/ou (ii) un changement de géométrie (a) du chenal principal ou (b) du bras lui-même (Riquier, 2015) affectant alors directement le niveau de l'eau dans le bras (Figure 6.1).

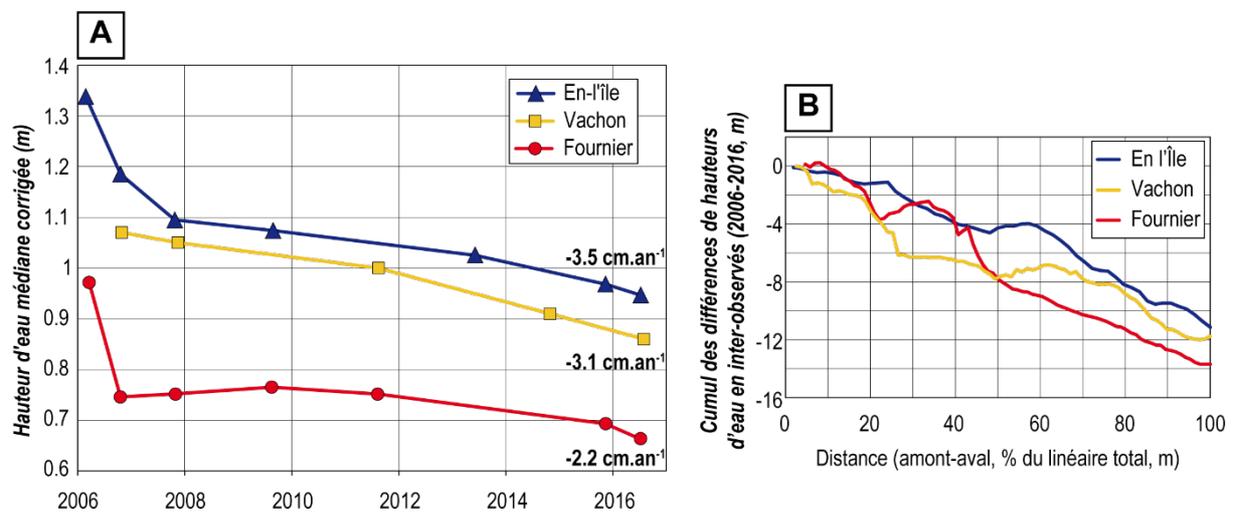


Figure 6.1 - a) Évolution temporelle post-restauration et b) patrons longitudinaux d'atterrissement sur la période 2006-2016, de 3 bras actifs du haut-Rhône, dérivés des mesures bathymétriques réalisées tous les 10 m le long de l'axe médian des bras.

Les forts enjeux de connaissances en lien avec la dynamique de la charge de fond et le constat de l'atterrissement de certains bras vifs (Figure 6.1) ont conduit à la mise en place d'un protocole de mesures dédié, en complément du suivi classique RhônEco (Tableau 6.1). Le protocole élaboré repose sur une combinaison de nouvelles acquisitions *in situ* et de l'exploitation de données existantes. Il s'agit notamment d'évaluer la mobilité de la charge de fond dans les bras avec l'emploi de galets équipés de traceurs RFID passifs et de caractériser les patrons granulométriques longitudinaux de surface à partir d'acquisitions de photographie subaquatiques. Les changements de géométrie des bras et du chenal principal, avant et après restauration, sont quantifiés à partir de données fournies par la CNR (profils en travers, plans

d'exécution voire de récolements produits lors des travaux, levées de lignes d'eau). Enfin, la caractérisation des conditions hydrauliques s'appuie sur la combinaison de chroniques de débits horaires (CNR), de relations hauteurs-débits dans les bras (capteurs de pression) et dans le Vieux-Rhône à proximité des zones de difffluence/confluence des écoulements (courbe de tarage CNR), voire localement de modèles hydrauliques (e.g. modèle 2D CNR sur Banc-Rouge, Donzère-Mondragon). La confrontation de l'ensemble de ces mesures devrait ainsi permettre de mieux comprendre la trajectoire évolutive des bras vifs (axes 1 et 2) et de les discuter au regard du contexte rhodanien (axe 3).

Tableau 6.1 - Synthèse des différentes mesures réalisées dans le cadre du protocole de suivi de l'évolution hydromorphologique des bras vifs restaurés du Rhône.

Sites	Traçage sédimentaire RFID	Granulométrie de surface par photographie subaquatique	Bilan sédimentaire	Caractérisation du régime d'écoulement
Luisettes	—	*	—	—
Fournier	⬡	*	⬡	⬡
En l'île	⬡	⬡	⬡	⬡
Vachon	⬡	*	⬡	⬡
Mathan	—	*	—	—
Platière	—	*	—	—
Grange-Écrasée	⬡	*	*	*
Dames	⬡	*	*	*
Banc-Rouge	⬡	*	⬡	*

⬡ : Mesures en cours.

* : Mesures à réaliser en 2021.

— : Sites non concernés.

6.3.1 Suivi du transport solide par transpondeurs passifs

6.3.1.1 *Protocole d'injection des RFID dans les bras vifs*

Le suivi de la mobilité des particules dans les bras vifs repose sur la mise en place de galets équipés de transpondeurs passifs RFID (*Radio Frequency IDentification*). Cette technologie permet d'étudier le mouvement individuel de chaque particule et plus largement d'estimer des taux de transport et d'explorer les facteurs de contrôle du charriage. Ces éléments constituent des informations clés pour prédire les ajustements morphologiques de cours d'eau, notamment dans un contexte de restauration sédimentaire (Papangelakis & Hassan, 2016 ; Piégay *et al.*, 2016 ; Vázquez-Tarrío, 2019). Dans le cadre de RhônEco, l'emploi de ces traceurs doit nous permettre de préciser quelles fractions granulométriques sont concernées par le transport solide, quels sont les débits seuils d'entraînement associés et quels sont les patrons spatiaux du charriage dans les bras vifs restaurés. Ainsi, entre avril 2019 et février 2020, 900 galets répartis en 4 classes granulométriques et équipés de transpondeurs passifs (PIT-tag : *Passive Integrated Transponders*) de 32 et 24 mm, ont été injectés dans 6 bras vifs du Rhône (Tableaux 6.1 et 6.2).

Tableau 6.2 - Classes granulométriques des particules équipées de transpondeurs passifs et tailles des PIT-tags correspondantes.

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Axe-b (mm)	16-32	32-45	45-64	64-80
PIT (mm)	24	24	32	32

Entre 100 et 200 traceurs ont été injectés par site (Tableau 6.3). Les profils sont situés dans le tiers amont des bras, à proximité de la zone de bifurcation. Sur le Banc-Rouge, deux stations distantes de 200 mètres ont été équipées de 100 traceurs chacune, afin (i) de disposer d'une vision plus fine de la mobilité des particules et (ii) d'éviter une concentration trop importante des traceurs pour limiter les problèmes de collision des signaux (i.e. incapacité à distinguer l'ensemble des particules lorsqu'elles se retrouvent entassées sur un même point), notamment au cours du premier suivi post-crue morphogène (Chapuis *et al.*, 2014 ; Arnaud *et al.*, 2015 ; Piégay *et al.*, 2016). Pour chacun des bras suivis, les galets sont disposés en transects espacés de plus d'un mètre, suivant un espacement inter-particule d'au minimum 1 mètre, perpendiculairement à l'axe d'écoulement du chenal. À l'échelle de la zone d'injection, cela représente deux à trois profils pour chaque classe granulométrique : du plus grossier (64-80 mm) à l'amont, au plus fin (16-32 mm) à l'aval de la zone d'injection. La position GPS de la première et de la dernière particule de chaque profil a été enregistrée à l'aide d'un GPS (Trimble

GeoXH) disposant d'une antenne externe (précision planimétrique de 10 à 30 cm), de manière à repositionner l'ensemble des particules sous SIG.

Tableau 6.3 - Caractéristiques des injections et des suivis RFID réalisés dans les bras vifs. Les injections sur les îlons de la Grange-Écrasée et des Dames ont été réalisées par la CNR

Secteur	Site	Nombre de galets injectés	Date d'injection	Caractéristiques de la zone d'injection	Suivi n°	Dernier suivi
BEL	Fournier	100	19/11/2019	Amont mouille	1	16/09/2020
BEL	En l'île	100	19/11/2019	Plat courant	1	16/09/2020
BRC	Vachon	100	12/02/2020	Radier	1	16/09/2020
DZM	Grange-Écrasée	200	10/04/2019	Amont radier	4	18/08/2020
DZM	Dames	200	10/04/2019	Amont mouille	4	19/08/2020
DZM	Banc-Rouge station 1	100	18/11/2020	Plat courant	1	20/08/2020
DZM	Banc-Rouge station 2	100	18/11/2020	Radier	1	20/08/2020

6.3.1.1 Premier suivi des traceurs RFID dans les bras vifs

Sur le Haut-Rhône, depuis les injections, de multiples pulsations hydrologiques inférieures à la crue annuelle ont été observées dans les bras des Vieux-Rhône de Belley (Figure 6.2a) et de Brégnier-Cordon (Figure 6.2b). Les débits mesurés dans le Vieux-Rhône de Donzère-Mondragon attestent d'une activité hydrologique plus marquée sur ce secteur du bas-Rhône, puisque trois événements de magnitude égale ou supérieure à la crue annuelle ont été enregistrés (Figure 6.2c). D'après les débits seuils d'entraînement établis par Cortier et Couvert (2001), ces événements sont suffisants pour entraîner des alluvions dont le diamètre moyen est de 30, 27 et 50 mm dans les Vieux-Rhône de Belley, Brégnier-Cordon et Donzère-Mondragon, respectivement.

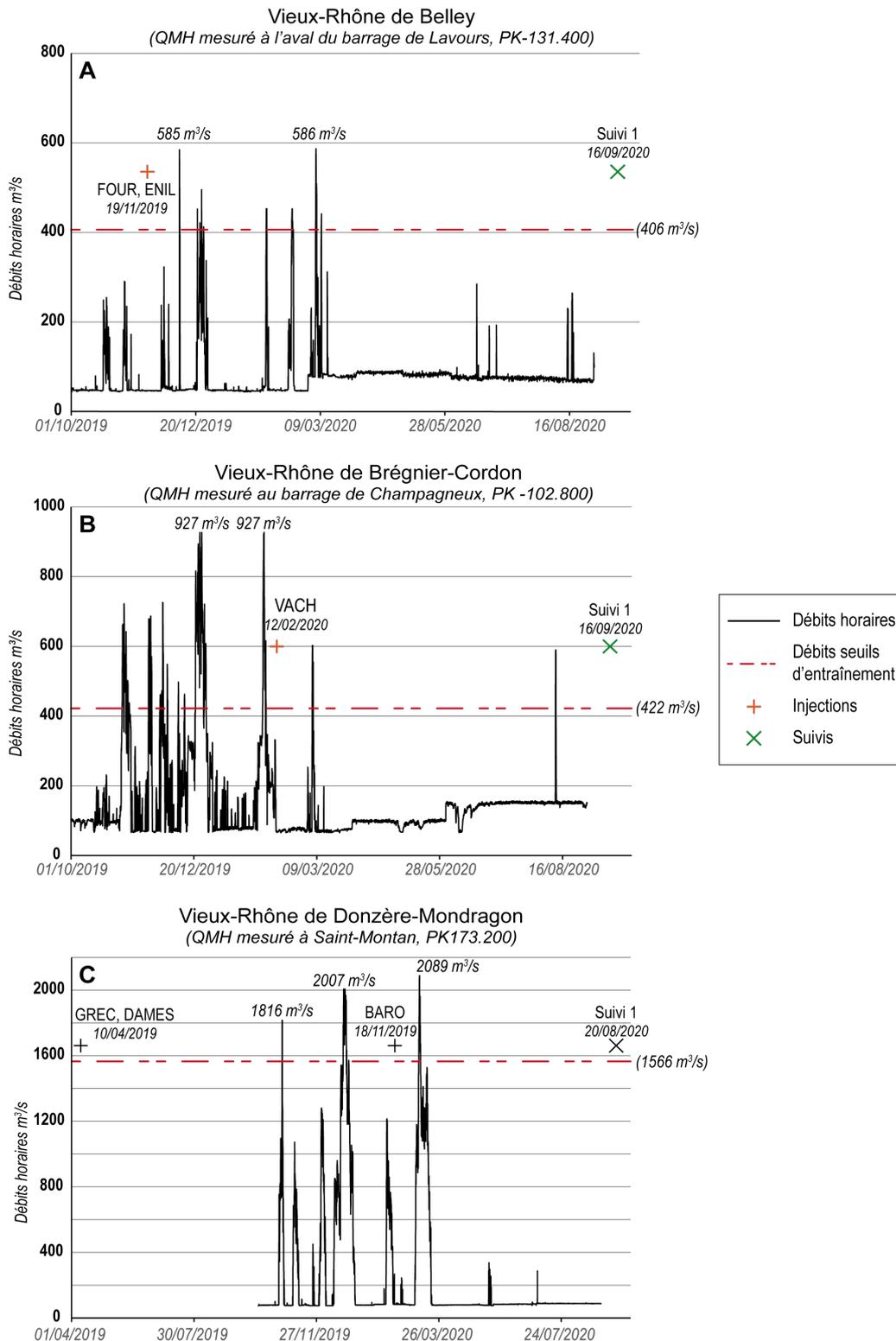


Figure 6.2 - Chronique de débits horaires de l'injection des traceurs aux premiers suivi dans les bras de Fournier et d'En-l'île (FOUR et ENIL ; Vieux-Rhône de Belley), de Vachon (VACH ; Vieux-Rhône de Brégnier-Cordon) et les îlons de la Grange Ecrasée, des Dames et du Banc-Rouge (GREC, DAME, BARO ; Vieux-Rhône de Donzère-Mondragon). Les débits seuils d'entraînement dans les vieux-Rhône affichés sont tirés de Cortier et Couvert (2001). Nous ne disposons pas des chroniques de débits horaires d'avril 2019 à septembre 2019 pour le Vieux-Rhône de Donzère Mondragon (i.e. les six premiers mois post-injections pour GREC et DAME, figure 2c). Toutefois, aucune pulsation hydrologique significative n'a été observée sur cette période (Q_{max} journalier ≈ 170 m³/s observée à la station de Bourg-Saint-Andéol le 18 juin 2019 ; source : Banque Hydro).

Les résultats tirés des campagnes de suivi RFID sont présentés dans le tableau 4. Les taux de retour concernent la totalité des traceurs détectés au cours des suivis. Au total, 673 traceurs sur les 900 injectés ont été retrouvés, soit un taux de retour global de 75 % (Tableau 6.4).

Tableau 6.4 - Chiffres clés des suivis RFID réalisés dans le cadre du protocole de suivi des bras vifs. Les taux de retour sont calculés à partir de **l'ensemble des traceurs retrouvés au cours du suivi** rapporté à l'ensemble des traceurs injectés dans le bras. Un total de quatre suivis post-injection a été réalisé, conjointement par la CNR et le laboratoire EVS, pour les lônes de la Grange écrasée et des Dames (Donzère-Mondragon). Le présent rapport ne fait état que du dernier suivi réalisé en 2020.

Sites	Nombre de traceurs retrouvés/injectés	Nombre de tags 24 mm	Nombre de tags 32 mm	Suivi n°
Fournier	73/100 73%	39/50 78%	34/50 68%	1
En l'île	75/100 75%	38/50 76%	37/50 37%	1
Vachon	93/100 93%	47/50 94%	46/50 92%	1
Banc-Rouge	144/200 72%	70/100 70%	74/100 74%	1
Grange-Écrasée	165/200 82.5%	80/100 80%	85/100 85%	4
Dames	123/200 62%	69/100 69%	54/100 54%	4
Suivi 2020	673/900 75%	343/450 76%	340/450 76%	

Les suivis ont été réalisés au moyen d'une grande antenne rectangulaire ($L = 2\text{m}$) tractée depuis une embarcation dans les zones profondes et/ou à pieds au moyen d'une petite antenne circulaire ($\varnothing = 80\text{ cm}$) dans les zones peu profondes. À l'issue des premiers suivis, la précision horizontale a été estimée à $\pm 5\text{ m}$. Cette estimation prend en compte la distance qui sépare l'antenne du boîtier GPS et la précision intrinsèque de ce dernier. La distance varie en fonction du mode de prospection (depuis une embarcation ou pédestre) et de la profondeur en eau. C'est pourquoi, d'après ces premiers éléments, nous avons retenu un seuil de 5 m en-deçà duquel nous considérons que la particule n'a pas bougé. Ainsi, les déplacements entre 5 et 10 m sont considérés comme de petits déplacements et les déplacements $\geq 10\text{ m}$ comme des déplacements francs (Figure 3).

Les sites équipés du haut-Rhône se caractérisent par des taux de retour élevés et des distances de transport amont-aval globalement très faibles (Figure 6.3). Ces observations sont en

cohérence avec les valeurs de débits observées (Figure 6.2 a, b). À l'exception de Fournier, l'ensemble des classes granulométriques sont concernées par ces légères mises en mouvement. Sur le secteur de Donzère-Mondragon les lônes de la Grange-Écrasées et des Dames, équipées par la CNR en avril 2019, affichent également des taux de retour élevés pour des distances de transport souvent inférieures à la dizaine de mètres (Figure 6.3). Enfin, les résultats acquis sur le Banc-Rouge sont bien plus contrastés. La station 1, la plus à l'amont (Figure 6.4), n'a enregistré qu'un unique déplacement ≥ 5 m (Figure 6.3). La station 2, qui se situe une centaine de mètres à l'aval de la première (Figure 6.4), a quant à elle enregistrée des déplacements bien plus conséquents (Figure 6.4).

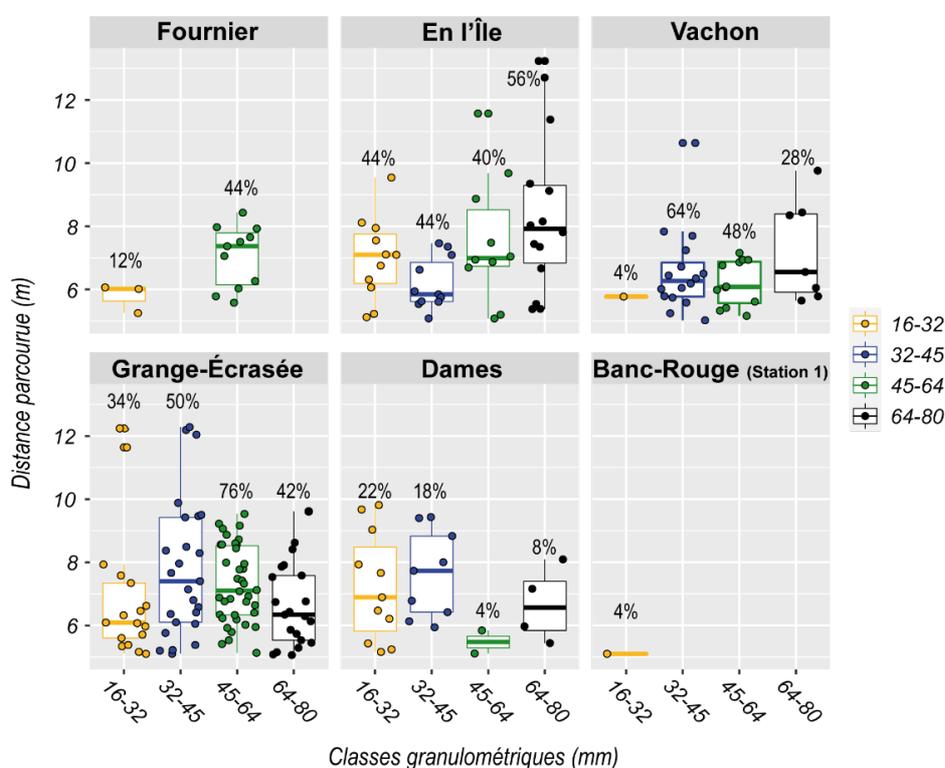


Figure 6.3 - Résultats des suivis RFID sur les sites équipés de traceurs passifs dans les vieux-Rhône de Belley, Brégnier-Cordon et Donzère-Mondragon. Ces boîtes à moustaches (boxplots) concernent les traceurs ayant parcouru une distance amont-aval ≥ 5 mètres. Les chiffres au-dessus des boxplots correspondent au pourcentage de particules ayant parcouru une distance ≥ 5 m au regard du nombre total de particule de la classe granulométrique concernée. Interprétation des boxplots : les points matérialisent les traceurs, le trait épais représente la valeur centrale (médiane), les bords inférieurs et supérieurs du rectangle représentent le 1er et le 3ème quartile, respectivement. Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1.5 fois la distance entre le 1er et le 3ème quartile.

Au cours du premier suivi réalisé sur la station 2 du Banc-Rouge (S1), nous avons détecté 64 des 100 traceurs injectés sur la station 2, dont une majorité de particules appartenant à la classe granulométrique des 64-80 mm (Figure 6.4). Sur ces 64 traceurs, 39 ont enregistré un

déplacement \geq à 5 m, soit 61 % des traceurs retrouvés au cours de S1. Ces résultats montrent que toutes les classes granulométriques injectées sont concernées par cette première mise en mouvement. À l'échelle individuelles des particules, nous n'observons pas d'effet de la taille des particules ou de leur masse sur la distance de transit longitudinal. En effet, la distance maximum enregistrée de 260 m a été couverte par la plus grosse particule injectée sur la station 2, tant en termes de taille (axe-b = 82 mm) que de poids (masse = 752 gr). Lorsque l'on considère le barycentres des nuages de traceurs propre à chaque classe granulométrique (i.e. leur centre de gravité), on observe une certaine dépendance entre les distances de déplacement et la classe granulométrique. Le barycentre des particules de la classe 16-32 mm s'est déplacé vers l'aval de 97 m, celui des 32-45 mm a couvert une distance de 44 m et celui des 45-64 mm a migré de 20 m. Toutefois, le barycentre des particules les plus grossières (64-80 mm) s'est déplacé de 67 m vers l'aval et a par conséquent dépassé celui des 32-45 mm et 45-64 mm. Sur la base de l'indice de degré de mobilité des traceurs (Vázquez-Tarrío et *al.*, 2019), qui se définit comme le rapport entre le nombre de traceurs en mouvements et le nombre total de traceurs retrouvés au cour du suivi, on observe une mobilité presque identique pour les fractions les plus fines (16-32 mm : 0.16 ; 32-45 mm : 0.15) et très hétérogène pour les fractions grossières (45-64 mm : 0.09 ; 64-80 mm : 0.22).

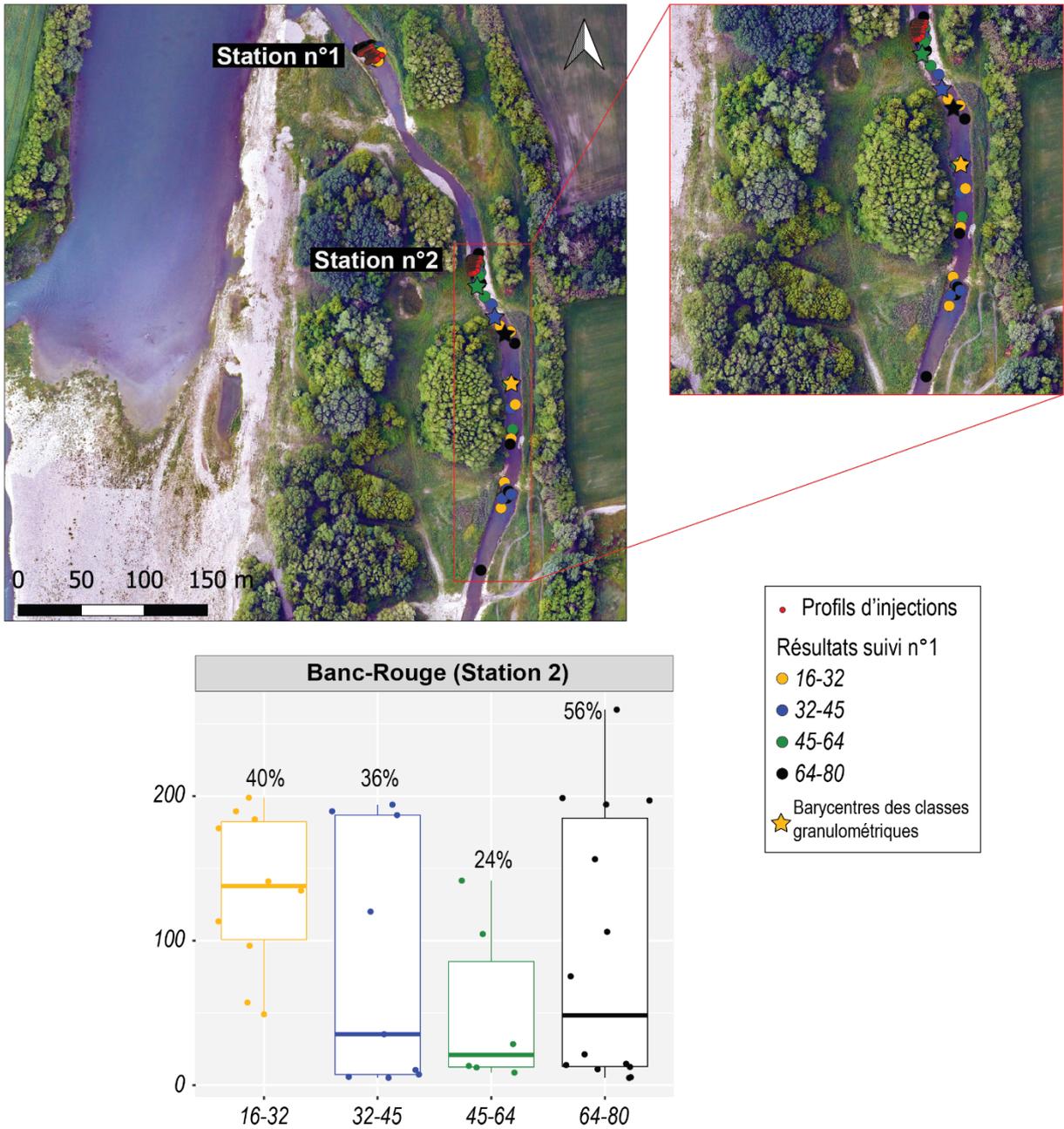


Figure 6.4 - Résultats du premier suivi des traceurs RFID sur la station 2 du Banc-Rouge. Les barycentres des nuages représentent le centre de gravité des traceurs de la station 2 en fonction de leur classe granulométrique.

6.3.1 Caractérisation des patrons granulométriques longitudinaux

Afin de caractériser la granulométrie de surface de la charge de fond et ainsi mieux comprendre la diversité fonctionnelle des bras possédant des fonds graveleux, nous avons mis en place un échantillonnage par photographie subaquatique dans les chenaux actifs du haut-Rhône et de Donzère-Mondragon. Cette méthode non-destructrice, permet la mesure rapide des particules qui composent la couche de surface et repose sur le principe de conversion du pixel en mm. Cette conversion se fait, soit en utilisant différents paramètres tels que la hauteur de prise de vue, la longueur de focale et la taille du capteur pour calculer la taille d'un pixel en mm à l'aide du théorème de Thalès, soit en disposant d'un repère présent sur l'image et dont les dimensions sont connues. Cette approche fournit des informations sur la granulométrie (D16, D50, D84, etc.) comparables aux résultats obtenus à partir des techniques d'échantillonnage traditionnelles, et présente des avantages importants en termes d'efforts de terrain (Graham *et al.*, 2010). La granulométrie par photographie en conditions émergées est aujourd'hui couramment utilisée pour caractériser la granulométrie de surface. Toutefois, sa mise en œuvre en conditions immergées reste parfois délicate du fait du nombre plus important de facteurs limitants (e.g. profondeur en eau, luminosité, conditions de débits, présence de biofilm et/ou de macrophytes aquatiques).

6.3.1.1 *Protocole de granulométrie par photographie subaquatique dans les bras vifs*

La mise en œuvre de cette approche dans les bras a nécessité des développements matériels importants. Au cours de l'année 2020, trois campagnes tests ont été conduites sur deux sites aux conditions hydrauliques contrastées, avec deux dispositifs d'acquisition différents (Tableau 6.5). Un premier dispositif que nous avons développé au sein du laboratoire EVS - UMR 5600 et un second dispositif prêté par la CNRS. L'utilisation de ces deux dispositifs à différentes périodes de l'année nous a permis d'établir un protocole adapté aux conditions observées dans les bras vifs (vitesses d'écoulement, hauteurs d'eau, turbidité, facilité d'accès). Sur le terrain, la stratégie d'acquisition se fait dans le même esprit que les relevés d'épaisseur de la sédimentation fine et de la hauteur d'eau. La granulométrie de surface est caractérisée à partir d'un réseau de points d'observation distribués le long de l'axe médian de chacun des bras (environ 1 point tous les 20 m de linéaire). La hauteur de prise de vue de 50 cm depuis la surface du lit est constante tout au long des acquisitions.

Pour le post-traitement des images obtenues, nous avons eu recours à deux méthodes distinctes de mesures des particules. Une première méthode dite « statistique », entièrement automatisée avec le logiciel « DGS » et qui permet le calcul du D50 et autres percentiles

d'intérêt à partir d'une photographie (Buscombe *et al.*, 2010 ; Buscombe, 2013). La seconde méthode, repose sur la digitalisation manuelle de l'axe-b des particules visibles, sous logiciel SIG (QGIS), en suivant un échantillonnage par grille dont chaque nœud est espacé de la valeur de l'axe-b maximale observée sur l'image, afin d'éviter de mesurer deux fois la même particule (Chardon, 2020). Pour les acquisitions, nous avons utilisé une caméra GOPRO dont l'effet « *fisheye* » est important. Afin de corriger la déformation des images engendrée par ce type d'objectif, nous avons eu recours à l'outil « *Computer Vision Toolbox* » ainsi qu'un script dédié sur le logiciel Matlab®. Enfin, des échantillonnages wolman ont été réalisés en complément des acquisitions photographiques, dans les zones où les hauteurs d'eau n'étaient pas favorables au déploiement de notre dispositif et de manière opportuniste sur des dépôts de pieds de berges accessibles.

Tableau 6.5 - Récapitulatif des campagnes granulométriques réalisées en 2020.

Secteur	Site	Date campagne	Campagne n°	Méthode d'acquisition
BEL	Fournier	07/07/2020	2	Subaquatique
BEL	En l'Île	27/02/2020	1	Subaquatique + wolman émergé
BEL	En l'Île	07/07/2020	2	Subaquatique
BEL	En l'Île	15/12/2020	3	Subaquatique

6.3.1.2 Résultats des campagnes 2020 de granulométrie par photographie subaquatique dans les bras vifs

La comparaison des résultats issus des mesures des deux méthodes utilisées, montre que DGS sous-estime systématiquement les tailles pour les percentiles inférieurs au D50 (Figure 6.5). En revanche, les résultats sont plus hétérogènes concernant les fractions les plus grossières (D75 à D95).

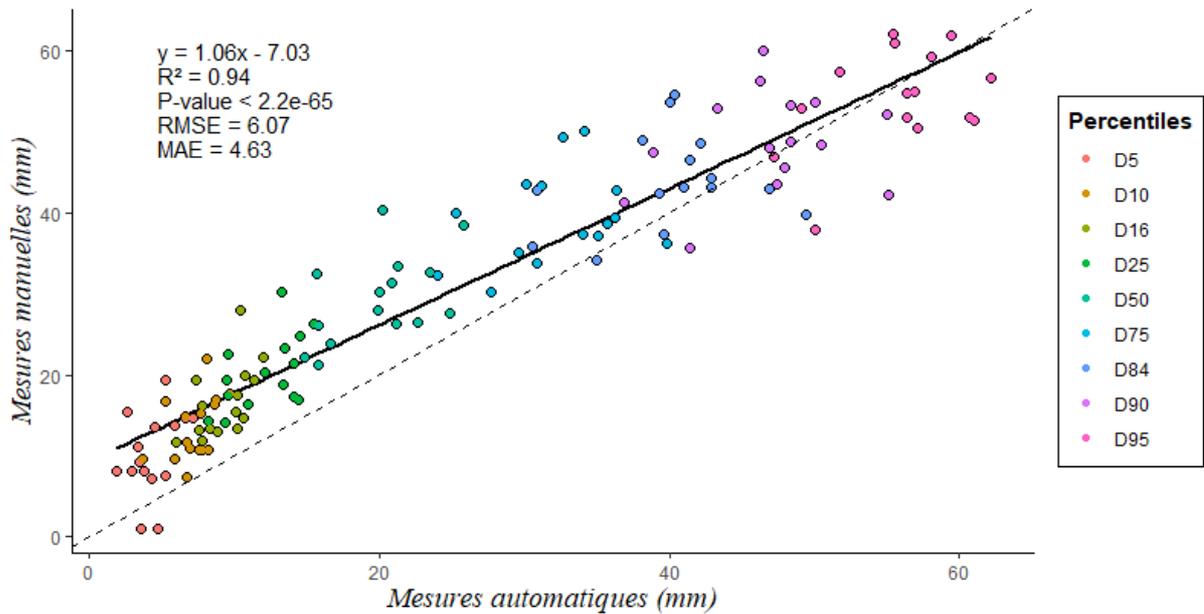


Figure 6.5 - Comparaison des percentiles estimés par mesures manuelles et des percentiles estimés par les mesures automatique (logiciel DGS). La ligne en pointillée représente la droite de relation parfaite $x=y$ et la ligne noire la droite de régression. Chaque point représente un percentile issu des mesures manuelles réalisée sous QGIS comparées aux mesures automatiques par DGS. Les valeurs de RMSE et de MAE sont en mm.

L'ensemble des mesures granulométriques en conditions immergées et émergées ont permis d'établir le profil granulométrique longitudinal sur le site pilote d'En l'Île (Figure 6). Quel que soit le type de mesure considéré, le patron est identique. Le profil atteste d'un affinement granulométrique amont-aval discontinu. En effet, on observe deux « rebonds » de la taille du D50 (diamètre médian) à 200 et 410 mètres depuis l'extrémité amont de la lône, avec des valeurs de D50 de 38 et 40 mm identiques à celles observées à l'entrée du chenal (Figure 6.6). Enfin, les embranchements ouest et est, situés dans la partie aval du bras, se caractérisent également par une légère hausse des valeurs du D50, avec une granulométrie plus grossière dans la branche est.

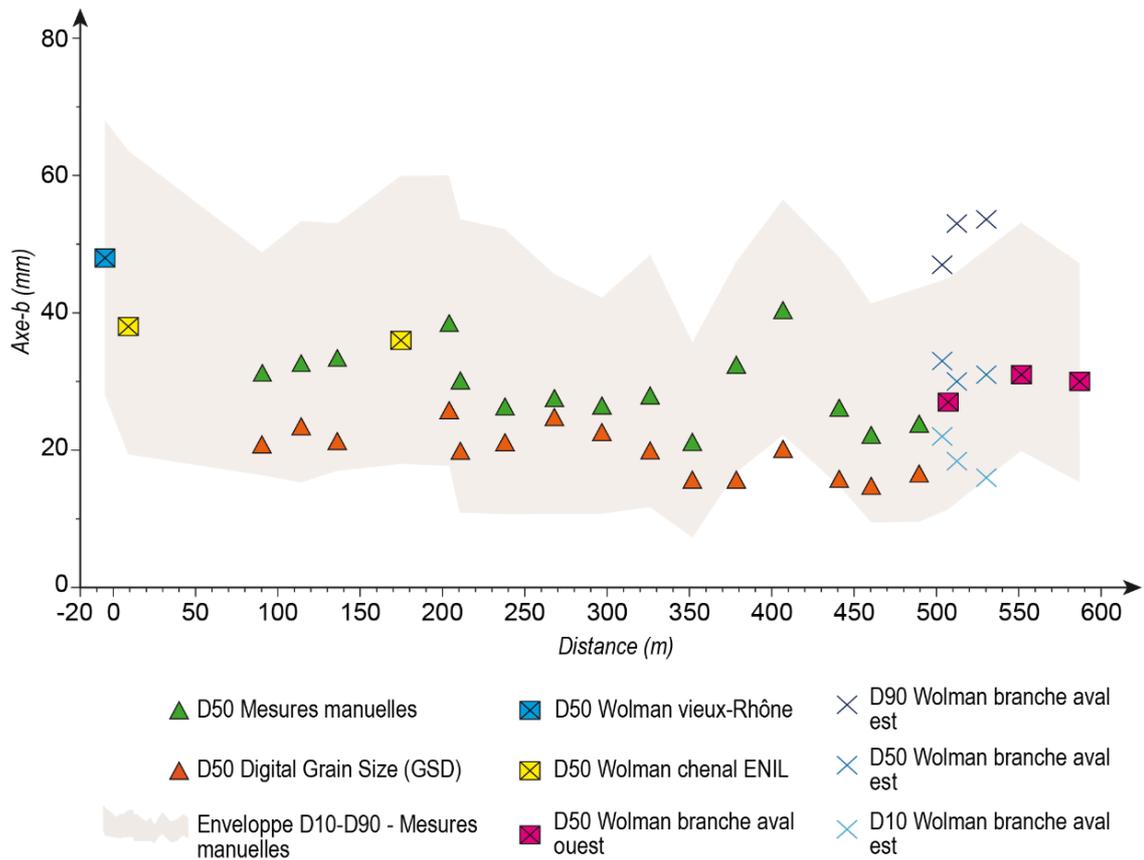


Figure 6.6 - Profil granulométrique longitudinal sur En-l'Île issu des mesures réalisées à partir des résultats des campagnes-tests de 2020. Les triangles verts représentent les D50 (granulométrie médiane) issus des mesures manuelles sous QGIS et les triangles orange celles réalisées automatiquement avec le logiciel DGS. Les carrés et les croix correspondent aux résultats des mesures wolman dans les zones peu profondes. Enfin, l'enveloppe grisée représente le 10ème et le 90ème percentile issus des mesures manuelles de la distribution granulométrique de chaque station échantillonnée.

6.3.2 Bilans sédimentaires dans les bras vifs

La réalisation de bilans sédimentaires dans les bras vifs concernés par le suivi dédié, apporte un regard diachronique complémentaire qui permettra de mieux cerner la trajectoire évolutive de ces milieux tant avant restauration qu'à la suite des travaux. Ce volet s'appuie essentiellement sur des données fournies par la CNR (profils en travers et lignes d'eau tirées des plans d'exécution voire de récolements produits lors des travaux acquisitions topobathymétriques réalisées par la CNR depuis 1970), ainsi que sur l'exploitation de cartes anciennes (Arnaud *et al.*, accepted). Des acquisitions supplémentaires à l'aide d'un GPS différentiel pourront éventuellement venir compléter ce jeu de données si cela s'avère nécessaire.

6.3.2.1 Protocole de caractérisation des ajustements morphologiques dans les chenaux restaurés.

Les bilans sédimentaires ont été initiés en 2020. Deux sites tests, pour lesquels nous disposons de profils en travers levés tous les 100 mètres entre 1970 et 2019 (Tableau 6.6), ont été retenus : les lônes de Fournier et d'En-l'île (vieux-Rhône de Belley). (Figure 6.7). Les profils réalisés sur le vieux-Rhône de Brégner-Cordon ne s'étendant pas jusque dans la lône du Vachon, nous l'avons retirée de ces analyses préliminaires.

Tableau 6.6 - Profils en travers disponibles pour la réalisation des bilans sédimentaires sur les lônes de Fournier et d'En-l'Île (vieux-Rhône de Belley).

Site	PK	Période
Fournier	PK-129.3 - PK-127.5	1970-2019
En l'île	PK-121.5 - PK-119.4	1970-2019

Dans un premier temps, les profils ont été importés sous SIG. Les points des différents levés ont été projetés sur le même axe afin de convertir les coordonnées XYZ en distances à partir des coordonnées d'un point de référence situé en rive droite. Les points aberrants ont été supprimés des profils concernés. Dans un second temps, les profils ont été découpés selon deux grandes unités : vieux-Rhône *versus* Lône. Les premiers bilans sédimentaires présentés dans le cadre de ce rapport ne concernent que les lônes. Nous avons automatisé le calcul de l'aire entre deux dates de levés successifs pour chaque profil en travers, à partir d'un script R. Enfin, nous avons

converti les surfaces érodés-déposés (m²) entre deux dates en volume (m³), à partir de la formule suivante :

$$V = \sum_{i=1}^M V_i = \sum_{i=1}^M D_i \Delta S_i$$

où ΔS_i représente l'évolution de la surface i entre la date 1 et la date 2 et correspond à la différence d'aire entre les deux profils. La longueur D_i est égale à la somme des deux demi-distances entre des sections consécutives et M est le nombre de sections transversales (Guertault *et al.*, 2014). Les volumes sont ensuite divisés par le temps écoulé entre les deux dates de manière à obtenir des volumes érodés-déposés annuels moyens sur les périodes considérées.

6.3.2.2 Premiers résultats de la caractérisation des ajustements morphologiques dans les chenaux restaurés

Les premières analyses réalisées sur les lônes de Fournier et d'En-l'île (vieux-Rhône de Belley) ont porté sur deux périodes distinctes. Une période pré-restauration (1970-2004) et une période post-restauration (2007-2019) (Figure 6.7). On notera qu'à l'heure actuelle, ces bilans ne permettent pas de dissocier la part des fines et du grossier dans les estimations de volume. Les résultats montrent que les patrons d'ajustements en termes de dynamique érosion-dépôt observés avant et après restauration sont globalement similaires pour chacun des deux bras. Sur Fournier, les volumes de sédiments érodés annuellement sont divisés par trois après restauration avec -190 m³/an, soit un total de -2 285 m³ sur la période 2007-2019 contre -596 m³/an sur la période pré-restauration (1970-2004), soit -20 226 m³ au total (Figure 6.7B). En revanche, les volumes de sédiments déposés annuellement ont plus que doublés après restauration, avec +850 m³/an sur la période 2007-2019 contre +346 m³/an entre 1970 et 2004 (total de 11 788 m³ avant restauration et de 10 193 m³ après restauration). L'essentiel des dépôts post-restauration sont observés sur le tiers aval du bras. Sur En-l'Île les volumes de sédiments érodés et déposés sont quasiment équivalents avant et après restauration, passant respectivement de -481 m³/an à -537 m³/an (total de -16 357 m³ avant restauration et de -6 453 m³ après restauration, sur l'ensemble des périodes considérée) et de +1603 m³/an à +1537 m³/an (soit un total de 54 515 m³ pour la période 1970-2004 et de 18 451 m³ entre 2007 et 2019). Les patrons longitudinaux observés sont globalement similaires sur les deux périodes (Figure 6.7B). En termes de bilan net annuel (volumes érodés + volumes stockés sur une période donnée) à l'échelle de l'ensemble du bras, Fournier présente un bilan quasi-équilibré avant restauration (-7 m³/an en moyenne sur la période 1970-2004), tandis que les dépôts sont dominants après travaux (+54 m³/an entre 2007 et 2019). Pour En-l'Île, le stockage des alluvions est clairement dominant, quelle que soit la

période considérée. La restauration semble avoir amplifié cette tendance (33 m³/an sur la période 1970-2004 et 83 m³/an entre 2007 et 2019).

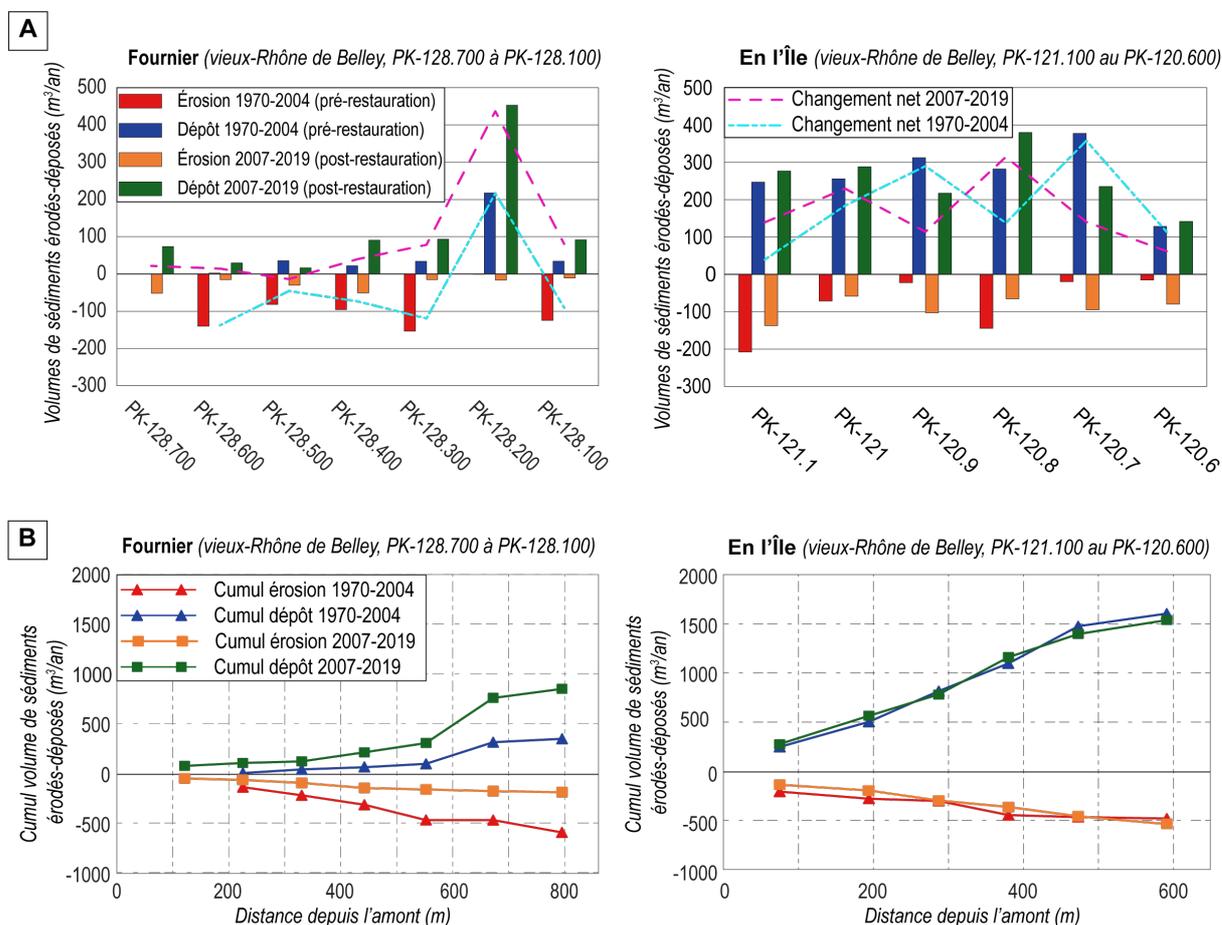


Figure 6.7 - A) Premiers résultats des bilans sédimentaires établis sur les bras de Fournier et d'En-l'Île à partir de l'exploitation des profils en travers réalisés tous les 100 mètres par la CNR entre 1970 et 2019 et B) cumul longitudinal des volumes de sédiments érodés et déposés en inter-dates.

6.4 Conclusions et perspectives pour 2021.

La mise en place d'un protocole dédié au suivi des bras vifs permanents et semi-permanents, répond aux forts enjeux de connaissances en lien avec la dynamique de la charge de fond et l'ajustement post-restauration de ces milieux. Les premiers résultats témoignent de la pertinence des mesures et des analyses réalisées. Le déploiement de ce protocole à l'ensemble des bras ciblés (Tableau 6.1) se poursuivra en 2021.

L'utilisation de galets équipés de transpondeurs passifs RFID dans les bras vifs afin de caractériser et quantifier le transport solide est une approche prometteuse. En effet, ces environnements sont relativement favorables au suivi des particules équipées (faible largeur, longueur et profondeur comparativement au chenal principal), même lorsque celles-ci

enregistrent des déplacements non négligeables, comme sur la station 2 du Banc-Rouge. La poursuite des suivis et la confrontation des résultats aux données hydrauliques (estimations des contraintes de cisaillement et/ou des puissances spécifiques) et hydrologiques (chroniques de débits horaires dans les vieux-Rhône) nous permettront de mieux cerner la dynamique de la charge de fond dans ces systèmes. Des réinjections pourront être envisagées sur les bras pour lesquels les distances parcourues excéderont un certain seuil, ou sur certaines sections ciblées à l'issue des premiers suivis. Des transpondeurs actifs seront implantés en colonne de manière à estimer l'épaisseur de la couche active sur les bras les plus dynamiques. Sur le terrain, les suivis RFID seront poursuivies au gré des événements de crue. Une deuxième campagne de suivi a d'ores et déjà été réalisée sur les bras équipés des vieux-Rhône de Belley, de Brégnier-Cordon et de Donzère-Mondragon en mars 2021.

Le protocole de caractérisation de la granulométrie de surface du lit des bras vifs par photographies subaquatiques est à présent maîtrisé (acquisition des données et post-traitement). Il sera déployé à l'ensemble des bras concernés dès 2021, à savoir : Luisettes, Fournier, Vachon et Mathan pour le haut-Rhône, ainsi que Platière, Grange-Écrasée, Dames et Banc-Rouge pour le Rhône en aval de Lyon.

L'approche par bilans sédimentaires pour évaluer les ajustements morphologiques pré-restauration (ajustements morphologiques « naturels ») et post-restauration (ajustements aux nouvelles géométries créées par la restauration) dans les bras vifs est également prometteuse. Des développements complémentaires doivent toutefois être réalisés pour affiner nos analyses. Il est en effet nécessaire de pouvoir décomposer plus finement les informations topographiques, notamment pour être en mesure d'identifier les processus à l'origine des changements observés (e.g. part des processus latéraux [érosion de berge et élargissement de la section / engraissement et rétractation de la section] *versus* part imputable à la dynamique verticale du fond de lit [incision / aggradation]). Cette décomposition du signal sera réalisée à l'échelle de la lône et des vieux-Rhône au droit des sites étudiés. Enfin, des relevés supplémentaires (e.g. sondage de l'épaisseur des fines en berge) seront sans doute nécessaire pour estimer la part respective des volumes de sédiments fins et grossiers. L'analyse des informations topo-bathymétriques contenues sur certaines cartes anciennes sera également réalisée pour tenter d'étendre la fenêtre temporelle couverte par ces analyses. Une estimation des incertitudes associées aux différents levés topographiques utilisés devra également être réalisée. L'ensemble de ces informations permettrait de mieux cerner l'impact du tarissement des sources sédimentaires et du charriage, généralisé à l'ensemble du fleuve, sur la trajectoire évolutive des bras vifs.

La combinaison de l'ensemble de ces analyses et leur mise en relation avec les descripteurs hydrauliques du régime d'écoulement en crue dans les bras permettra de mieux cerner la dynamique du transport solide, ainsi que les ajustements morphologiques se réalisant dans les bras vifs, tant en intra-bras qu'en inter-bras le long du corridor rhodanien. Ces résultats permettront de compléter les résultats existants en termes d'évolution des conditions d'habitat et de durée de vie des bras.

7 Les communautés de macroinvertébrés des annexes du Haut-Rhône (2003-2019). Etat d'avancement 2020.

7.1 Introduction

Le présent rapport propose une analyse de l'ensemble des données acquises en 2019 sur 16 lônes du Haut-Rhône (secteurs de Belley et Brégnier-Cordon) concernant leurs peuplements de macroinvertébrés aquatiques. Ces données sont placées dans les séries temporelles « longues » acquises depuis le début du suivi (2003 – 2005 selon les lônes). Selon les lônes, il est maintenant possible de disposer de 9 à 10 années de données couvrant une durée maximale de 17 ans à Belley, et de 6 à 8 années couvrant la même période à Brégnier-Cordon. La qualité des analyses de tendances observées pour les métriques faunistiques utilisées dans le suivi de la restauration des lônes peut donc être améliorée.

7.2 Sites et méthodes

7.2.1 Sites et dates

Selon le protocole restreint appliqué dans la phase 2019-2023 du suivi, une seule station a été étudiée pour 16 lônes, 7 à Belley et 9 à Brégnier (Tableau 7.1). Comme depuis le début du suivi, deux campagnes d'échantillonnage sont réalisées pour chaque station : au Printemps (mars – avril 2019) et en été (juin – juillet 2019). Toutes les lônes restaurées suivies à Belley et Brégnier sont représentées (LUIS, MOIR, FOUR, BEAR, LUCE, ENLI, GRAN, VACH, MATH, MOLO, PONT), ainsi que des lônes témoins non restaurées, connectées au Rhône (CHAN, TONK) ou déconnectées (VILO, CRBL, PLAI).

Tableau 7.1 – Calendrier d'échantillonnage des invertébrés aquatiques dans 16 stations des lônes de Belley et Brégnier-Cordon de 2003 à 2019. P & E : printemps et été. En bleu : élévation du débit réservé dans le secteur concerné. Les événements APAVER sont indiqués. R : lônes restaurées, les autres sont des témoins non influencés par la restauration.

		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019			
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E				
		R																																			
Belley																																					
Luisettes	LUIS	aval	*																																		
Moiroud	MOIR	amont-new	*																																		
Fournier	FOUR	amont	*																																		
Béard	BEAR	aval-new	*																																		
Lucey	LUCE	amont	*																																		
En L'île	ENLI	aval-new	*																																		
Chantemerle	CHAN	aval	*																																		
Brégnier																																					
Granges	GRAN	aval	*																																		
Vachon	VACH	amont	*																																		
Mathan	MATH	amont	*																																		
Molottes	MOLO	aval	*																																		
Ponton	PONT	aval	*																																		
Vieille Lône	VILO	aval	*																																		
Creux de Bleu	CRBL	amont	*																																		
Tonkin	TONK	amont	*																																		
Plaine	PLAI	amont	*																																		

7.2.2 Echantillonnage de la macrofaune

Le protocole d'échantillonnage est le même que dans les phases précédentes du suivi. Dans chaque station (tronçon de 30 mètres selon l'axe amont-aval de la lône) trois points de prélèvement sont tirés au hasard et la macrofaune aquatique y est échantillonnée à l'épuisette à l'intérieur d'un quadrat de 50 x 50 cm. Les invertébrés sont déterminés au niveau le plus fin permis par l'ouvrage de Tachet *et al.* (2000), à l'exception des macrocrustacés, gastéropodes et insectes (autres que diptères) dont la détermination est poussée à l'espèce dans la mesure du possible.

7.2.3 Analyse des données et calcul des métriques

Les méthodes et métriques suivantes ont été utilisées :

- Une Analyse en Composantes Principales (ACP centrée) a été utilisée pour décrire la **diversité faunistique entre sites** et les changements temporels de la composition des peuplements.

- La **richesse taxonomique totale** du peuplement est le nombre d'unité taxonomique échantillonnées dans une station pour une « campagne » (réunion de 3 échantillons de printemps et trois échantillons d'été).
- **L'abondance totale du peuplement** est le nombre d'individus, tout taxons confondus, par unité de surface (exprimé en log-nombre d'individus / 0.75m²)
- **La richesse en insectes EPT**, c'est à dire le nombre de taxons (calculé au niveau du genre ou de l'espèce) appartenant aux Epheméroptères, Plécoptères et Trichoptères, est un indicateur de diversité biologique classiquement utilisé dans l'évaluation des systèmes d'eau courante. Cette richesse augmente avec la qualité du milieu (qualité de l'eau, diversité des ressources trophiques, hétérogénéité des microhabitats).
- **L'abondance des insectes EPT** est exprimée comme l'abondance totale.
- **La richesse en mollusques gastéropodes** est le nombre d'espèces appartenant à ce groupe. Il diminue avec la permanence et l'intensité du courant s'exerçant dans les milieux. Dans les milieux stagnants ou peu perturbés par des crues à forte action "décapante", la richesse en gastéropodes est un indicateur de la qualité du milieu (diversité des végétaux aquatiques, complexité structurale de l'habitat).
- **L'abondance des mollusques gastéropodes** est exprimée comme l'abondance totale.
- **L'abondance des espèces exogènes** est exprimée comme l'abondance totale.
- **La proportion d'espèces exogènes** est la proportion d'individus appartenant à des espèces exogènes dans l'ensemble de l'abondance échantillonnée dans une station.

Les calculs ont été effectués en amalgamant pour chaque site les campagnes de printemps et d'été pour une année donnée. Les calculs et représentations graphiques ont été effectués avec le logiciel R (R Core Team, 2016) dans RStudio et les jeux de fonctions ade4 (Dray & Dufour, 2007) et vegan (Oksanen et al., 2017).

Même si elle ne permet de traduire la connectivité latérale des écosystèmes aquatiques alluviaux avec le fleuve ni comme un gradient continu, ni comme un paramètre pouvant fluctuer dans le temps, la typologie d'Amoros et al. (1982) a été utilisée pour présenter certains résultats en vertu de son caractère simple et « pratique ». Seront donc considérés :

- **Les chenaux eupotamiques** : lônes entièrement connectées au Rhône (par l'amont et l'aval) ;
- **Les chenaux parapotamiques** : lônes qui, hors crues, ne sont connectées au Rhône que par l'aval ;

- **Les chenaux plésiopotamiques** : lônes qui, hors crues, sont déconnectées du Rhône mais peuvent être remises en connexion lors des crues.

7.3 Résultats.

7.3.1 Diversité des assemblages faunistiques et changements post-restauration.

La description globale de la diversité spatiale et temporelle des peuplements d'invertébrés des 16 lônes (Figure 7.1) confirme certaines tendances bien établies :

- Le type de connexion entre les lônes et le cours principal du fleuve est l'élément primordial structurant la diversité des peuplements à l'échelle des secteurs (inter-lônes). Les lônes désignées comme « témoins » (Tple déconnectées et Teup totalement connectées) représentent les deux extrémités de ce gradient de connexion. Leur composition taxonomique varie peu dans le temps du suivi.
- Les lônes restaurées montrent quant à elles des changements plus importants qui sont matérialisés par les écarts entre les ellipses vertes (situations pré-restauration) et les ellipses rouges (situations post-restauration). Ces écarts recouvrent deux tendances :
 - o Un effet logique de changement massif dans les milieux totalement reconnectés dont les peuplements convergent fortement avec les témoins lotiques (superposition du groupe eup et des témoins Teup)
 - o Un effet de diversification (transition du groupe parPRE vers les groupes par et ple) par création de milieu semi-lotiques ou de mouilles bien alimentées en eau souterraine.

La résultante de ces deux tendances est la diversification post-restauration des peuplements à l'échelle conjointe des deux secteurs étudiés ici sur le Haut-Rhône.

- A un niveau d'analyse plus fin, il convient de noter que les lônes totalement reconnectées acquièrent bien un peuplement totalement convergent avec les témoins lotiques. Ces peuplements possèdent comme taxons caractéristiques les gastéropodes *Ancylus fluviatilis* et *Theodoxus fluviatilis*, le coléoptère *Elmis*, les diptères Simuliidae et un cortège d'espèces exogènes (le polychète *Hypania invalida*, le crustacé *Dikerogammarus villosus*, la planaire *Girardia tigrina*). A l'autre extrémité du gradient de connexion, les milieux plésiopotamiques créés par recreusement

(mouilles des lônes Béard et Moiroud) possèdent un certain nombre de similarités faunistiques avec les témoins plésiopotamiques, en particulier les coléoptères *Agabus* et *Hyphidrus ovatus*, les hétéroptères *Plea minutissima* et *Ilyocoris cimicoides*, et la libellule *Lestes viridis*. Toutefois, elles n'hébergent pas ou très peu les espèces les plus caractéristiques des témoins stagnants plésiopotamiques (amont de Plaine, Vieille Lône, Creux de Bleu), comme les gastéropodes *Anisus vorticulus*, *Valvata cristata* et *Planorbis planorbis*. Il est vraisemblable que ces espèces nécessitent des conditions d'isolement encore plus marquées que celles des mouilles de Moiroud et Béard qui sont plus fréquemment mises en connexion avec le fleuve que les lônes témoins et parfois dans des conditions assez actives d'érosion ou de dépôt de sédiment (telles qu'observées à l'amont de Moiroud à plusieurs reprises au cours du suivi). En conséquence, la création de milieux plésiopotamiques « jeunes » par creusement, constitue l'un des processus par lesquels la restauration a contribué à la diversification des peuplements à l'échelle des secteurs alluviaux.

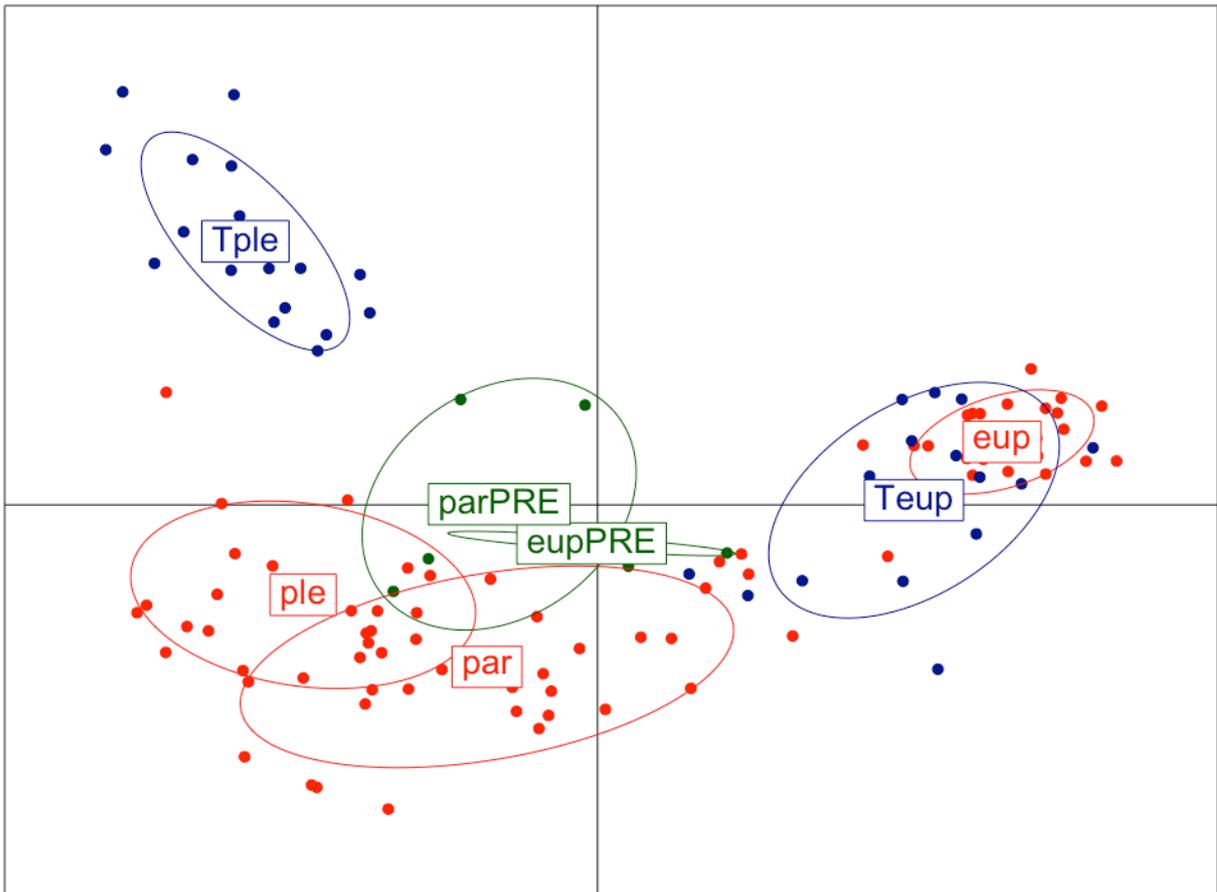


Figure 7.1 – Ordination de 125 « campagnes » de prélèvement dans 16 lônes des secteurs de Belley et Brégner-Cordon (2003-2019) décrivant la diversité de leurs assemblages d'invertébrés benthiques (239 taxons). Analyse en Composantes Principales (ACP centrée inter-classes) des abondances \log_e -transformées. 1^{er} axe (horizontal) – 73% de l'information, 2^{ème} axe (vertical) – 17 % de l'information. Chaque point (n=125) correspond à l'état du peuplement d'une station à une date donnée. Les ellipses regroupent des types de lônes :

Tple (PLAI, VILO, CRBL) et Teup (CHAN, TONK) : lônes témoins plésiopotamiques ou eupotamiques, non influencées par la restauration ;

parPRE (FOUR, GRAN, LUIS, MOLO, PONT) et eupPRE (LUCE, MATH, VACH) : lônes dans leur état pré-restauration allant être converties en para- ou en eu-potamons ;

eup (ENIL, LUCE, MATH, VACH), par (FOUR, GRAN, LUIS, MOLO, PONT) et ple (BEAR, MOIR) : état post-restauration de lônes ayant été restaurées et correspondant alors à ces trois catégories de connexion. Le groupe ple regroupe deux stations nouvellement créées par la restauration (creusement de mouilles non connectées en permanence au Rhône).

Voir le tableau 7.1 pour les codes des lônes.

Les changements de composition faunistique post-restauration s'accompagnent de changements significatifs de plusieurs des métriques utilisées ici (Figure 7.2). Il est ainsi notable que les milieux para- et plésiopotamiques restaurés montrent des richesses et des abondances totales significativement plus élevées que dans leur état pré-restauration. Il en va de même pour les richesses et les abondances en mollusques gastéropodes qui sont significativement plus élevées après restauration pour les trois types de connexion au fleuve. L'abondance des insectes EPT est également augmentée dans les lônes para- et plésiopotamiques. La richesse en espèces exogènes augmente globalement avec la connexion au fleuve et les richesses en exogènes sont plus élevées après restauration pour les trois catégories de connexion.

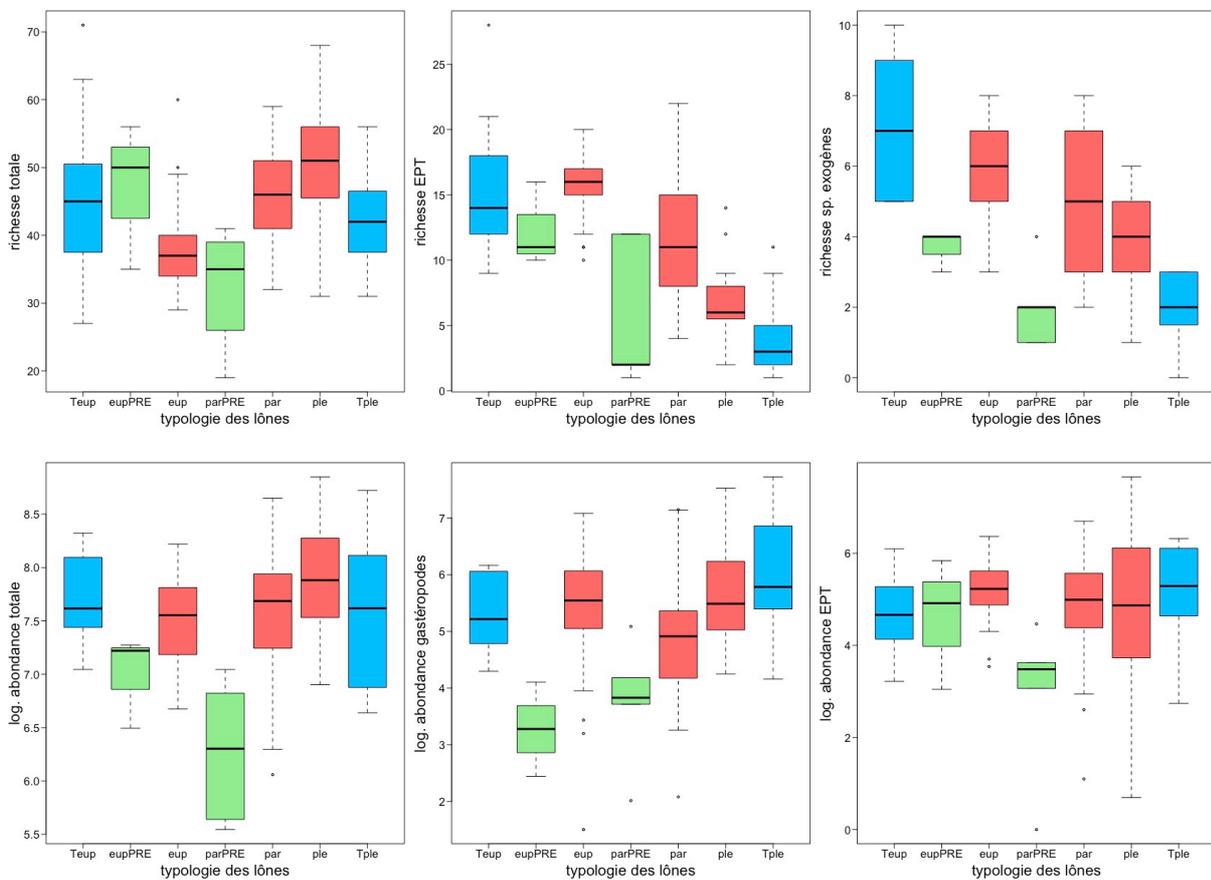


Figure 7.2 – Variations de 6 métriques faunistiques entre les groupes de lônes définis à la figure 1. En haut : trois métriques de richesse taxonomique (richesse totale, en insectes EPT et en espèces exogènes) ; en bas : trois métriques d'abondance (log-abondance totale, en mollusques gastéropodes et en insectes EPT, les données initiales sont exprimées en individus pour 0.75 m²). **En bleu** : lônes témoins courantes (Teup) ou stagnantes (Tple) ; **en vert** : état pré-restauration de lônes allant être restaurées ; **en rouge** : état post-restauration de ces lônes. Les étoiles rouges indiquent les différences significatives entre un groupe de lônes post-restauration et le même groupe pré-restauration (eup vs. eupPRE, par vs. parPRE, les stations ple sont également comparées à parPRE). Les différences sont testées par un test de Wilcoxon avec un seuil de 5%.

7.3.2 Trajectoires successioneles des peuplements dans les l nes restaurées.

7.3.2.1 Stations plésiopotamiques.

Les deux mouilles creusées lors de la restauration à l'aval de B ard et à l'amont de Moiroud présentent initialement des peuplements légèrement dissemblables (décalage horizontal des deux nuages de points correspondants, Figure 7.3). Moiroud présente des caractéristiques faunistiques traduisant l'existence de phases plus dynamiques lors des connexions avec le Rhône. Les deux trajectoires temporelles (t02   t11) sont très similaires, caractérisées par des fluctuations non orientées et de faible amplitude. Dans les deux cas, la dernière date de suivi (2019 – t14) représente un changement plus marqué (particulierement   B ard) et orienté en direction des peuplement témoins stagnants (Tple).

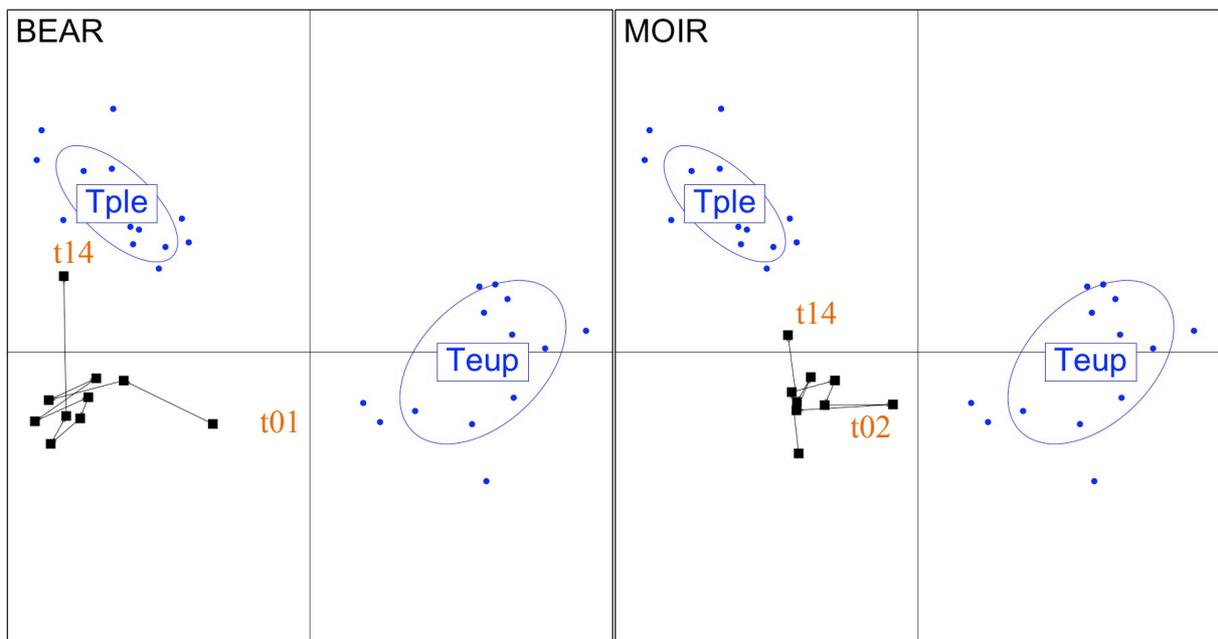


Figure 7.3 – Sur l'ordination de la Figure 1 sont positionnés 1) les peuplements des l nes témoins plésiopotamiques (Tple) et eupotamiques (Teup), 2) la trajectoire temporelle décrivant les changements de composition entre dates des peuplements des station B ard (BEAR) et Moiroud (MOIR) depuis leur creusement (t01 ou t02) jusqu'à 2019 (t14).

Les métriques faunistiques sélectionnées (Figure 7.4) traduisent également une distinction des deux stations. La mouille à l'aval de B ard est un « hotspot » de diversité pour les peuplements benthiques. Sa richesse totale et sa richesse en gastéropodes demeurent au-dessus de la gamme de référence établie sur l'ensemble des sites étudiés. C' st également le cas pour

l'abondance totale de la faune. L'abondance totale en gastéropode croit également tendanciellement depuis la création du milieu. Les mêmes métriques mesurées à Moiroud demeurent par contre largement à l'intérieur de cette même gamme de référence. L'abondance totale de la faune décroît significativement depuis la création de la mouille. Pour les deux stations, l'année 2019 représente un point bas dans les séries temporelles pour plusieurs métriques, notamment concernant le peuplement total.

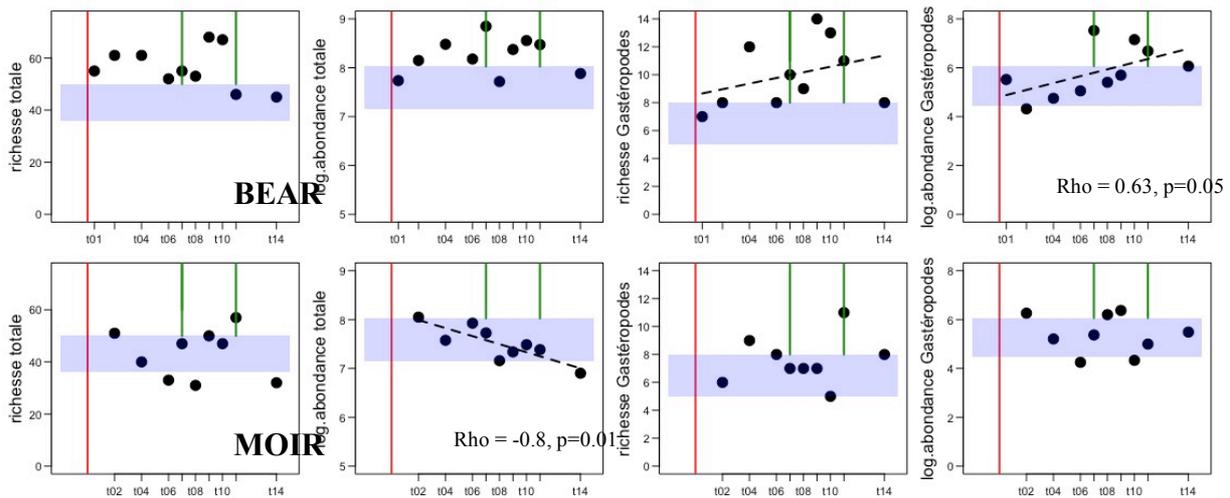


Figure 7.4 – Changements temporels de 4 métriques (richesse et abondance totales du peuplement, richesse et abondance des mollusques gastéropodes) dans les stations plésiopotamiques Moiroud et Béard après leur creusement (t01 ou t02) jusqu'à 2019 (t14). La ligne verticale rouge indique la restauration du secteur, les lignes vertes les épisodes APAVER 2012 et 2016. Les relations linéaires significatives au seuil 5%, sont indiquées (coefficient de corrélation rho de Spearman et p-value associée). La zone mauve sert de référence en matérialisant l'intervalle interquartile (Q75-Q25) des 125 valeurs de la métrique. Les abondances sont des nombres d'individus log-transformés pour 0.75 m².

7.3.2.2 2.2.2. Stations parapotamiques.

Les trajectoires temporelles de changement des peuplements (Figure 7.5) incorporent ici les états pré-restauration et montrent que les changements initiaux consécutifs à la restauration sont généralement d'un ordre de grandeur notable, supérieur aux fluctuations qui suivent. Ceci est particulièrement le cas pour les deux stations de ce groupe ayant été les plus modifiées par la restauration : Molottes où une mouille temporaire est recreusée et connectée à l'aval à un bras courant du fleuve et Granges où une mouille isolée est sujette à la même opération. La trajectoire temporelle la plus marquée est décrite à Molottes où le peuplement se rapproche au fil du suivi du peuplement caractéristique du pôle le plus déconnecté dans le gradient de

connexion latérale. L'évolution temporelle du peuplement de Ponton est voisine de celui de Molottes avec un changement de moindre ampleur, mais dans la même direction. Les peuplements des deux stations les moins modifiées par la restauration (Luisettes et Fournier) montrent des changements de moindre ampleur et sans direction très marquée. Leur composition moyenne demeure plus proche du pôle lotique dans le gradient de connexion latérale. Comme dans le cas des stations plésiopotamiques, la dernière date de suivi (2019) représente souvent un changement important par rapport aux années qui précèdent.

Le changement temporel des métriques calculées révèle l'assez grande hétérogénéité des comportements entre lômes. Les deux métriques représentées (Figure 6) en fournissent l'exemple. L'abondance des insectes EPT est soit stable (LUIS), soit en forme de courbe en cloche montrant un effet initial positif de croissance de l'abondance de ce groupe, suivi d'une diminution (FOUR, GRAN, PONT). A Fournier et Ponton, la phase de diminution commence en 2012 et correspond aux chasses du Haut-Rhône de cette date. L'année 2019 est un point extrêmement bas pour cette métrique à Fournier. Les proportions d'individus exogènes montrent également deux types de comportement : une grande stabilité à un niveau très bas (LUIS) à moyen (FOUR, GRAN), ou une croissance très marquée au fil de l'étude, particulièrement à Molottes qui est caractérisée par une croissance log-linéaire forte conduisant à atteindre un stade où près de 50% de la communauté est constituée d'individus appartenant à des espèces exogènes, un niveau unique pour l'ensemble des lômes suivies sur le Haut-Rhône.

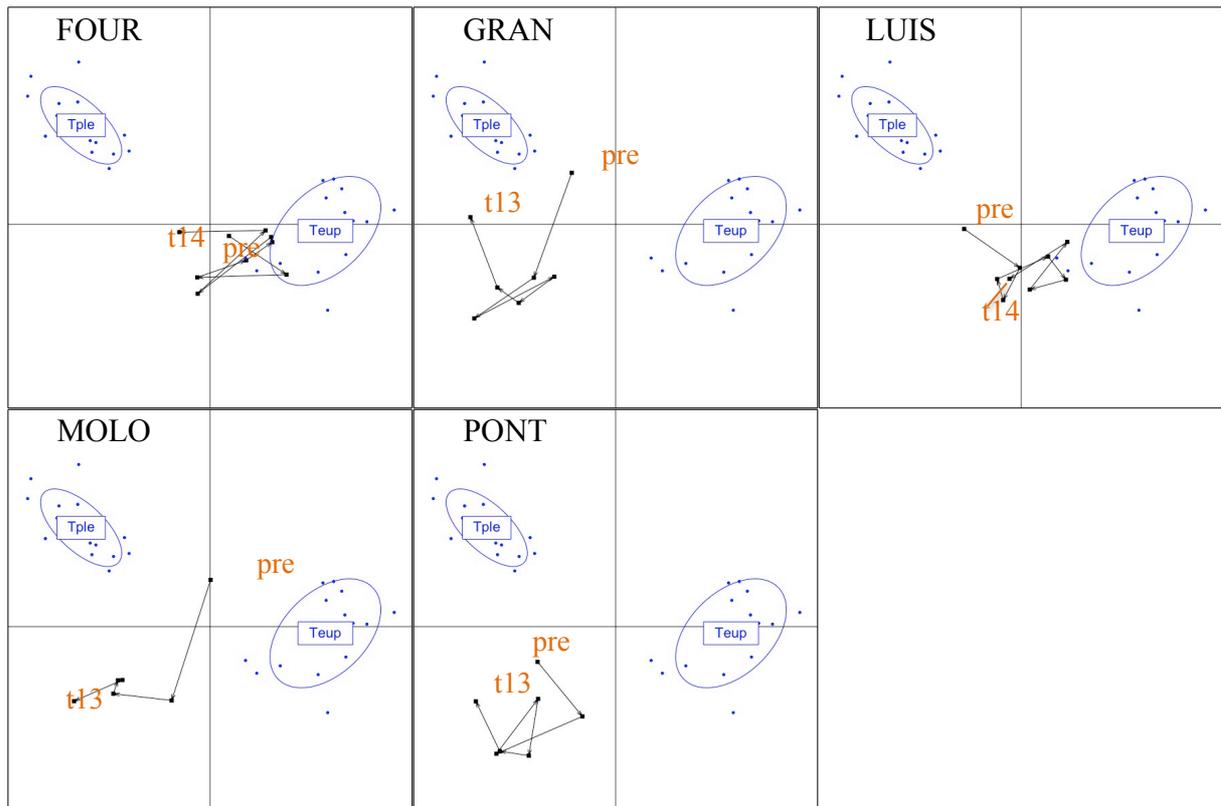


Figure 7.5 – Sur l’ordination de la Figure 7.1 sont positionnés 1) les peuplements des lônes témoins plésiopotamiques (Tple) et eupotamiques (Teup), 2) la trajectoire temporelle décrivant les changements de composition entre dates des peuplements des station parapotamiques Fournier (FOUR), Granges (GRAN), Luisette (LUIS), Molottes (MOLO) et Ponton (PONT) depuis leur situation pré-restauration (pre) jusqu’à 2019 (t13 ou t14).

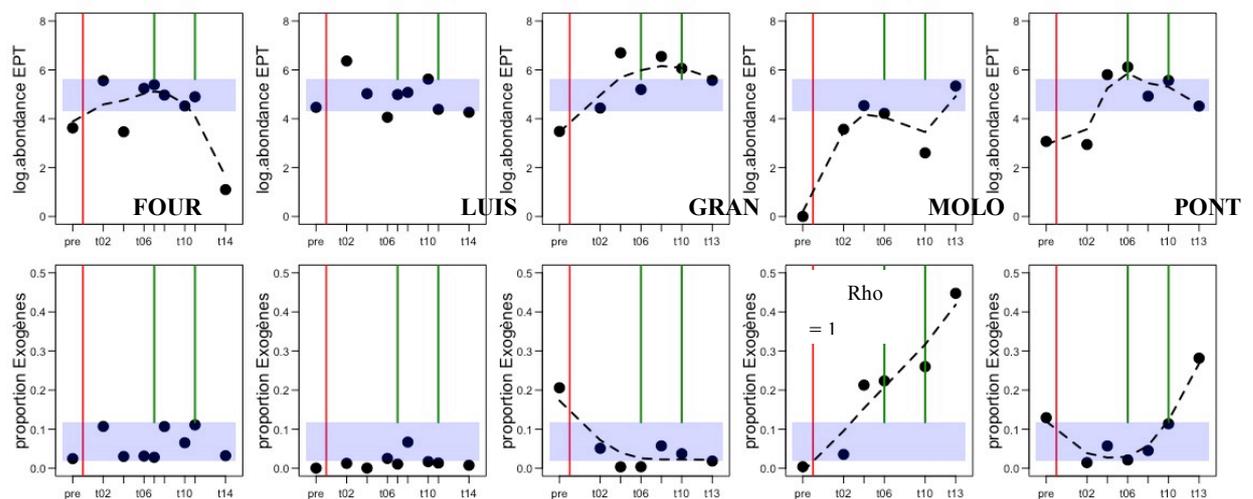


Figure 7.6 – Changements temporels de 2 métriques (abondance des insectes EPT et proportion de l’abondance des espèces exogènes dans le peuplement total) pour les stations parapotamiques listées dans la légende de la figure 5, depuis leur situation pré-restauration (pre) jusqu’à 2019 (t13 ou t14). La ligne verticale rouge indique la restauration du secteur, les lignes vertes les épisodes APAVER 2012 et 2016. Les relations linéaires significatives au seuil 5%, sont indiquées (coefficient de corrélation rho de Spearman et p-value associée). La zone mauve sert de référence en matérialisant l’intervalle interquartile (Q75-Q25) des 125 valeurs de la métrique. Les abondances sont des nombres d’individus log-transformés pour 0.75 m².

7.3.2.3.2.3. Stations eupotamiques.

Les peuplements des 4 lônes totalement connectées au Rhône (eupotamons) suivies ici montrent une grande homogénéité dans leurs trajectoires temporelles post-restauration (Figure 7.7). Ces trajectoires ne montrent ni changements importants ni tendances directionnelles cohérentes. Ces trajectoires se superposent largement avec le référentiel des témoins eupotamiques non restaurés. Seuls les états pré-restauration de ces systèmes montrent une différence marquée dans le cas de changements radicaux entraînés par la restauration (mouilles temporaires ou isolées de Mathan et Vachon) transformées en systèmes courants. On peut remarquer qu'un système « neuf » récemment reconnecté (ENIL t01) possède déjà un peuplement comparable au référentiel faunistique des milieux eupotamiques.

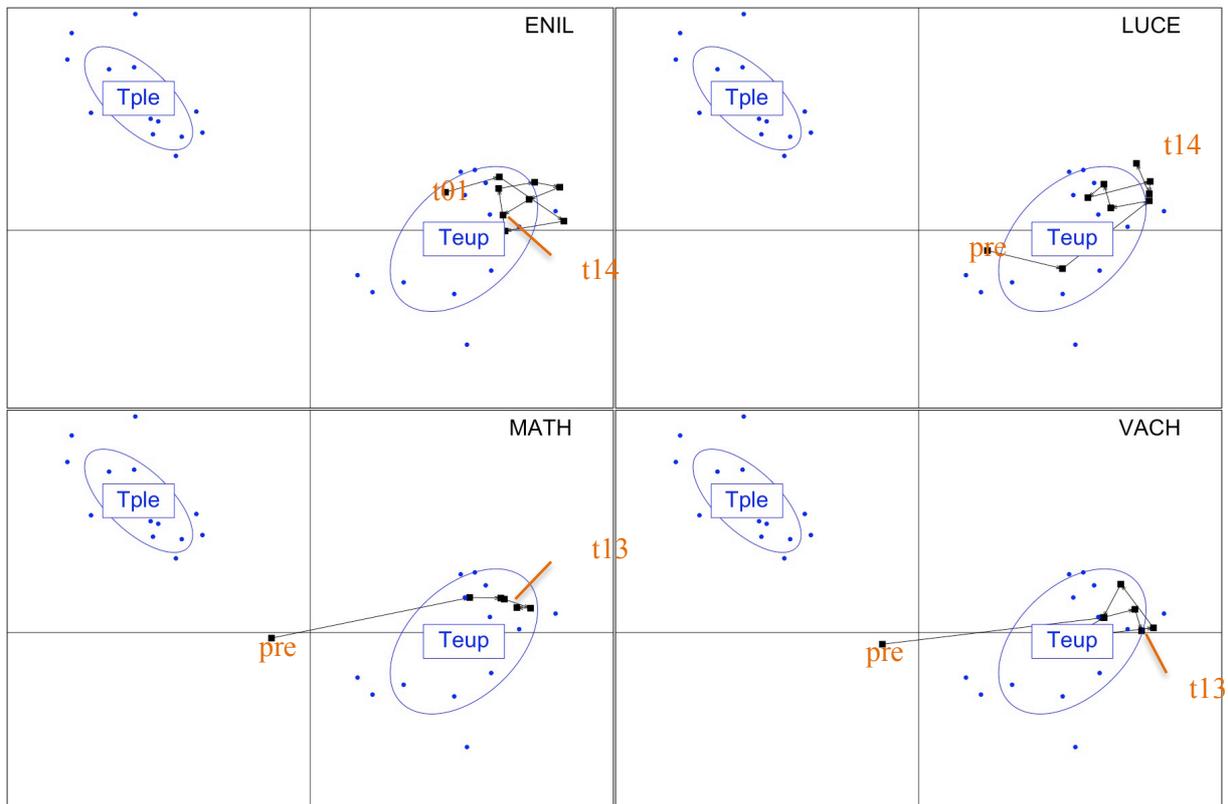


Figure 7.7 – Sur l'ordination de la Figure 1 sont positionnés 1) les peuplements des lônes témoins plésipotamiques (Tple) et eupotamiques (Teup), 2) la trajectoire temporelle décrivant les changements de composition entre dates des peuplements des station eupotamiques En l'île (ENIL), Lucey (LUCE), Mathan (MATH), Molottes (MOLO) et Vachon (VACH) depuis leur situation pré-restauration (pre) jusqu'à 2019 (t13 ou t14).

Les chroniques temporelles des métriques d'abondance et de richesse des insectes EPT (Figure 7.8) témoignent du succès de la restauration de ces milieux et du maintien, voire de la

croissance temporelle de la qualité de ces milieux lotiques. Ainsi, comme montré ci-dessus dans le cas de la composition de son peuplement, la station ENIL possède dès l'année suivant sa connexion des valeurs élevées de richesse et d'abondance EPT. Ces valeurs se maintiennent sur la durée du suivi. Les exemples de Lucey, Vachon et Mathan montrent des croissances régulières et significatives de la richesse de ce groupe d'insectes et, dans une mesure moindre de leur abondance. Il est notable que la croissance de richesse EPT se produit également dans une lône comme Lucey qui était déjà un milieu lotique avant la restauration du secteur. Le niveau de richesse atteint par ce groupe dans cette station, la place au-dessus de la gamme de référence et parmi les lônes les plus riches de l'ensemble de sites suivis.

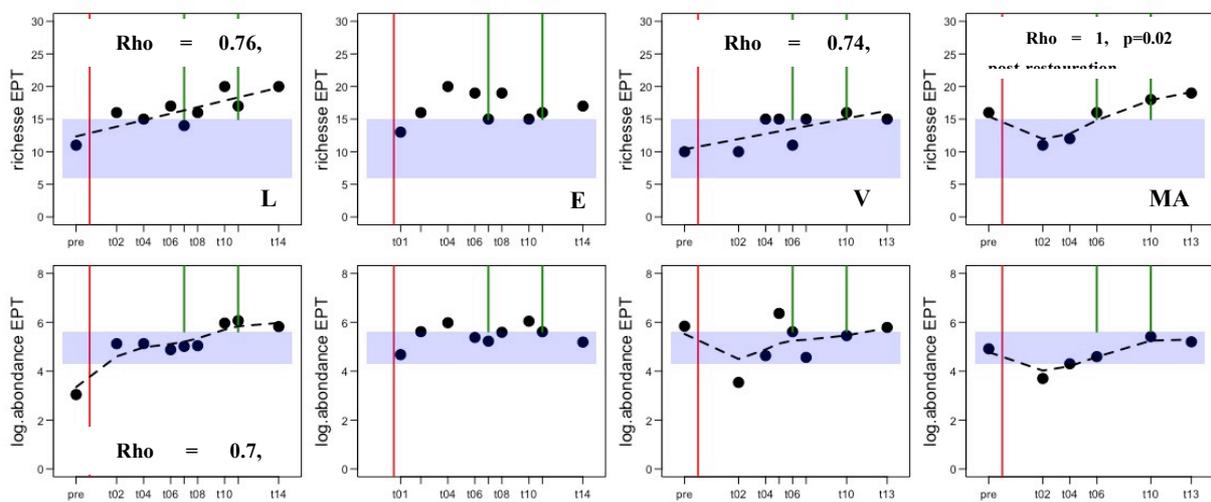


Figure 7.8 – Changements temporels de 2 métriques (richesse et abondance des insectes EPT) pour les stations eupotamiques listées dans la légende de la figure 7, depuis leur situation pré-restauration (pre) jusqu'à 2019 (t13 ou t14). La ligne verticale rouge indique la restauration du secteur, les lignes vertes les épisodes APAVER 2012 et 2016. Les relations linéaires significatives au seuil 5%, sont indiquées (coefficient de corrélation rho de Spearman et p-value associée). La zone mauve sert de référence en matérialisant l'intervalle interquartile (Q75-Q25) des 125 valeurs de la métrique. Les abondances sont des nombres d'individus log-transformés pour 0.75 m².

7.4 Conclusions.

Les résultats présentés ici constituent une analyse globale des changements temporels des peuplements de lônes restaurées à Belley et Brégnier-Cordon, ainsi que de lônes « témoins ». Ils portent sur la composition des peuplements et la mesure de métriques de richesse et d'abondance. Trois aspects majeurs peuvent être soulignés :

- Les données disponibles sur une période de 16 ans pour les suivis les plus longs soutiennent l'idée d'un succès de la restauration menée en 2005-2006. Ce succès est mesurable :
 - A la diversification des peuplements à l'échelle inter-lônes du secteur d'étude entier (Belley + Brégnier-Cordon).
 - A l'échelle individuelle des lônes, à l'augmentation de certaines métriques de richesse des peuplements. Ces augmentations se poursuivent par ailleurs dans certains sites sur la durée du suivi.
 - Au maintien de ces changements « positifs » sur la durée actuelle du suivi post-restauration.

- Sur cette image globale, certaines tendances locales « à la baisse » sont mises en évidence comme la chute linéaire de la densité de zoobenthos dans la station suivie sur la lône Moiroud, et des tendances dans le même sens de certaines métriques depuis t06 dans des sites parapotamiques (Fournier, Granges, Ponton pour les insectes EPT). De plus, même si la prégnance des espèces exogènes demeure globalement faible (voir localement très faible par rapport aux situations mesurées sur le Bas-Rhône), des croissances très rapides de ces espèces peuvent être enregistrées localement, comme dans la lône Molottes.

- Enfin, l'analyse menée ici à l'intérieur des grands types de lônes définis sur une base « simpliste » de catégories de connexion, fait apparaître la très grande hétérogénéité des trajectoires temporelles des peuplements à l'intérieur de ces catégories. L'homogénéité relative la plus forte est certainement observée pour les sites eupotamiques, elle est manifestement beaucoup plus faible dans les deux autres catégories. Cette hétérogénéité est, en partie, le fait de la diversité des actions de restauration menées sur les lônes les moins connectées au fleuve. Elle a donc conduit à la diversification globale des peuplements observée à l'échelle des secteurs. Cette diversité des trajectoires successioneuses à l'intérieurs de catégories a priori homogènes est manifestement contrôlée par des paramètres plus fins de la connexion au fleuve, mais également aux eaux souterraines. Ceci transparait fortement dans les résultats comparés des mouilles de Béard et Moiroud, ou des lônes parapotamiques de Ponton et Molottes. Ces paramètres plus fins peuvent permettre une meilleure modélisation prédictive des conséquences des actions de restauration et des

changements temporels engendrés pour les peuplements. Ce niveau de modélisation fait l'objet des travaux de Pierre Marle (Marle *et al.*, 2021 ; Marle 2021) présentés dans une autre partie de ce rapport.

8 Assemblages de poissons dans les lônes

L'objectif principal de la réhabilitation écologique des lônes est de recréer des annexes fluviales dans une plaine alluviale. L'endiguement et l'aménagement hydroélectrique du fleuve ont eu pour conséquence une restriction de la connectivité hydrologique des bras avec le chenal, entraînant leur évolution vers un atterrissement progressif. Dans un système naturel, ces annexes participent au fonctionnement écologique du fleuve en ajoutant des fonctionnalités complémentaires de celles du chenal courant : production primaire plus importante, épuration naturelle des eaux... Les caractéristiques de l'habitat (peu ou pas de contraintes hydrauliques, granulométrie du substrat, diversification des habitats, présence/absence de végétation aquatique, nature des végétaux...) confèrent à ces milieux des capacités d'accueil pour la reproduction et la croissance des juvéniles de poissons différentes de celles du chenal principal. L'analyse de la composition faunistique, de la structure en tailles des populations (en particulier l'importance de la classe d'âge de l'année), des exigences des espèces présentes par rapport au substrat de reproduction (guildes de Balon, 1975), et notamment l'importance du rôle de la végétation immergée permet de comprendre globalement les fonctions remplies par ces annexes.

La réhabilitation des annexes fluviales du Rhône a privilégié d'une part la reconnexion de bras secondaires et d'autre part la reconnexion et le dragage d'annexes connectées par l'aval en dehors des épisodes de crue (lônes de type « parapotamon »).

Le suivi de la faune piscicole des lônes comprend :

- **Haut-Rhône** (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon) :
 - o bras secondaires : Anse de Yenne, lône Vachon, lône des Cériseurs, lône Mattant
 - o bras connectés par l'aval (parapotamons) : lône du Brotalet, lône Moiroud, lône des Molottes, lône du Ponton ;
- **Rhône-Moyen et Bas-Rhône** (Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Donzère-Mondragon) :

- bras secondaires : lône de Ciselande, lône de la Platière, lône du Noyer Nord, lône du Noyer Sud, lône de la Boussarde, lône de la Grange écrasée, lône des Dames, lône du Banc Rouge
- bras connectés par l'aval (parapotamons) : lône de Jaricot, Lône de l'Ilon,
- « Casiers Girardon » : lône de la Désirade

L'échantillonnage a été réalisé entre le 25/08 et le 07/10/2020 (Tableau 8.1) par pêche électrique. En général, 25 échantillons ponctuels sont effectués dans chaque lône en bateau ou à pied selon les modalités d'accès à la lône, pour les lônes de grandes dimensions, le nombre de points peut être porté à 50. Les points de pêche sont répartis dans la lône.

L'échantillonnage dans les 2 lônes du secteur de Pierre-Bénite n'a pas pu être réalisé. La lône de Jaricot est envahie par la Jussie et en accord avec le SMILRIL, il a été décidé de ne pas intervenir afin de ne pas aggraver la propagation de cette plante invasive. L'évolution de la morphologie du chenal au droit de la lône de Ciselande (glissement vers l'aval d'un seuil naturel) a entraîné une quasi-déconnexion de l'amont de la lône. Cette dernière n'est actuellement constituée que d'une succession de petites zones en eau, d'accès difficile pour y pratiquer une pêche en respectant la méthodologie standard (voir planche photos).



Connexion amont (mars 2021)



Partie intermédiaire (mars 2021)



Partie intermédiaire (mars 2021)



Partie intermédiaire (mars 2021)



Partie aval (sept 2020)



Partie aval (sept 2020)



Absence de connexion aval (sept 2020)

Lône de Ciselande (septembre 2020 et mars 2021). La connexion amont est très réduite lorsque seul le débit réservé s'écoule dans le Vieux-Rhône, la connexion aval également (passage de l'eau essentiellement par infiltration dans le banc de galets). La lône présente une succession de petits plans d'eau très peu profonds et d'eau régulièrement déconnectés les uns des autres.

L'objectif poursuivi dans le cadre du suivi est de mesurer la fréquence des différentes espèces et guildes de reproduction au cours du temps afin d'apprécier le rôle potentiel des lônes en tant qu'habitat de nurserie et de refuge pour les poissons.

Tableau 8.1 - Dates d'échantillonnage et effort d'échantillonnage (nombre d'échantillons ponctuels d'abondance) pour les 17 lônes suivies en 2020.

Secteurs	Lônes	Dates	Nb Points
Chautagne	Brotalet	25/08/2020	25
Belley	Lône Moiroud	07/09/2020	25
	Anse de Yenne	07/09/2020	25
Brégnier-Cordon	Lône Vachon	26/08/2020	25
	Lône des Cerisiers	14/09/2020	25
	Lône des Molottes	29/09/2020	25
	Lône Mattant	14/09/2020	25
	Lône du Ponton	29/09/2020	25
Péage - de -Roussillon	Lône de la Platière	17/09/2020	30
	Lône Noyer Nord	17/09/2020	15
	Lône Noyer Sud	17/09/2020	10
	Lône de l'Ilon	17/09/2020	10
	Lône de la Boussarde	22/09/2020	25
Donzère-Mondragon	Lône de la Grange Ecrasée	06/10/2020	40
	Lône des Dames	07/10/2020	25
	Banc Rouge	05/10/2020	25
	Lône de de la Désirade	05-07/10/2020	50

8.1 Résultats

8.1.1 Haut-Rhône

Les résultats des pêches (Tableaux 8.2 et 8.3) montrent que les effectifs capturés en 2020 ont été relativement faibles dans quasiment toutes les lônes sauf dans la Lône des Molottes (valeur la plus élevée de puis la réhabilitation de la lône) (Figures 8.1 et 8.2).

En 2020, les principales espèces échantillonnées dans les bras secondaires, Anse de Yenne, Vachon, Cerisiers et Mattant, ont été le chevaine (dont 61% de juvéniles de l'année), la loche

franche et le barbeau fluviatile (dont 60% de juvéniles de l'année) (Tableau 8.2). Les effectifs échantillonnés ont été très faibles dans l'Anse de Yenne, seules 6 espèces ont été rencontrées. Cette annexe fluviale n'est plus connectée à l'amont lorsque le débit réservé s'écoule dans le Vieux-Rhône, transformant ce bras un milieu lentique. Ce manque de connectivité avec le Vieux-Rhône se traduit par l'absence ou la raréfaction des espèces rhéophiles du chenal (barbeau fluviatile, hotu, vandoise) et la présence de jeunes poissons. Six espèces ont été également échantillonnées dans la Lône Vachon et dans la Lône Mattant avec des abondances très faibles dans la première et un peu plus importantes dans la seconde, inférieures aux valeurs des années antérieures (Figure 8.2). Dans la Lône Vachon, le barbeau fluviatile, le chevaine et la perche commune ont été les 3 espèces les plus abondantes. Dans la Lône Mattant, les espèces les plus abondantes ont été le barbeau fluviatile, le chevaine, l'ablette et le spirilin, des juvéniles de hotus et de silures ont également été capturés. Parmi les bras secondaires échantillonnés, c'est dans la Lône des Cerisiers que les effectifs ont été les plus élevés, bien que relativement modestes (Figure 8.2). Le chevaine, la loche franche et l'épinoche ont été les 3 espèces les plus abondantes dans les échantillons (Tableau 8.2). Les parties les plus profondes de la lône abritent également des hotus et des vandoises adultes.

Les données collectées dans ces lônes (bras secondaires) depuis leur réhabilitation montrent que les espèces régulièrement présentes dans ces milieux sont majoritairement des espèces rhéophiles trouvées également dans les Vieux-Rhône (Figure 8.3) : chevaine, goujon, loche franche, barbeau fluviatile, vairon, vandoise, ablette, spirilin, truite fario et chabot. Cependant, le suivi de la faune piscicole de ces lônes met en évidence des évolutions des assemblages qui montrent une diminution des effectifs échantillonnés. Cette évolution peut être interprétée comme une réponse à la « fermeture » du bras dans le cas de l'Anse de Yenne, mais est plus difficile à analyser dans le cas de la Lône Vachon et de la Lône Mattant, qui sont des bras courants, avec un substrat grossier qui offre des abris pour les poissons. Ces bras devraient constituer des habitats privilégiés pour les espèces rhéophiles (hotu, barbeau, truite) dont les individus de taille intermédiaire (15-30 cm) ont une préférence marquée pour ce type de bras. Dans le cas de la Lône des Cerisiers, l'accumulation de sédiments fins au fil des épisodes de crue a modifié la structure et la disponibilité des habitats, ce qui explique l'évolution des assemblages de poissons constatée.

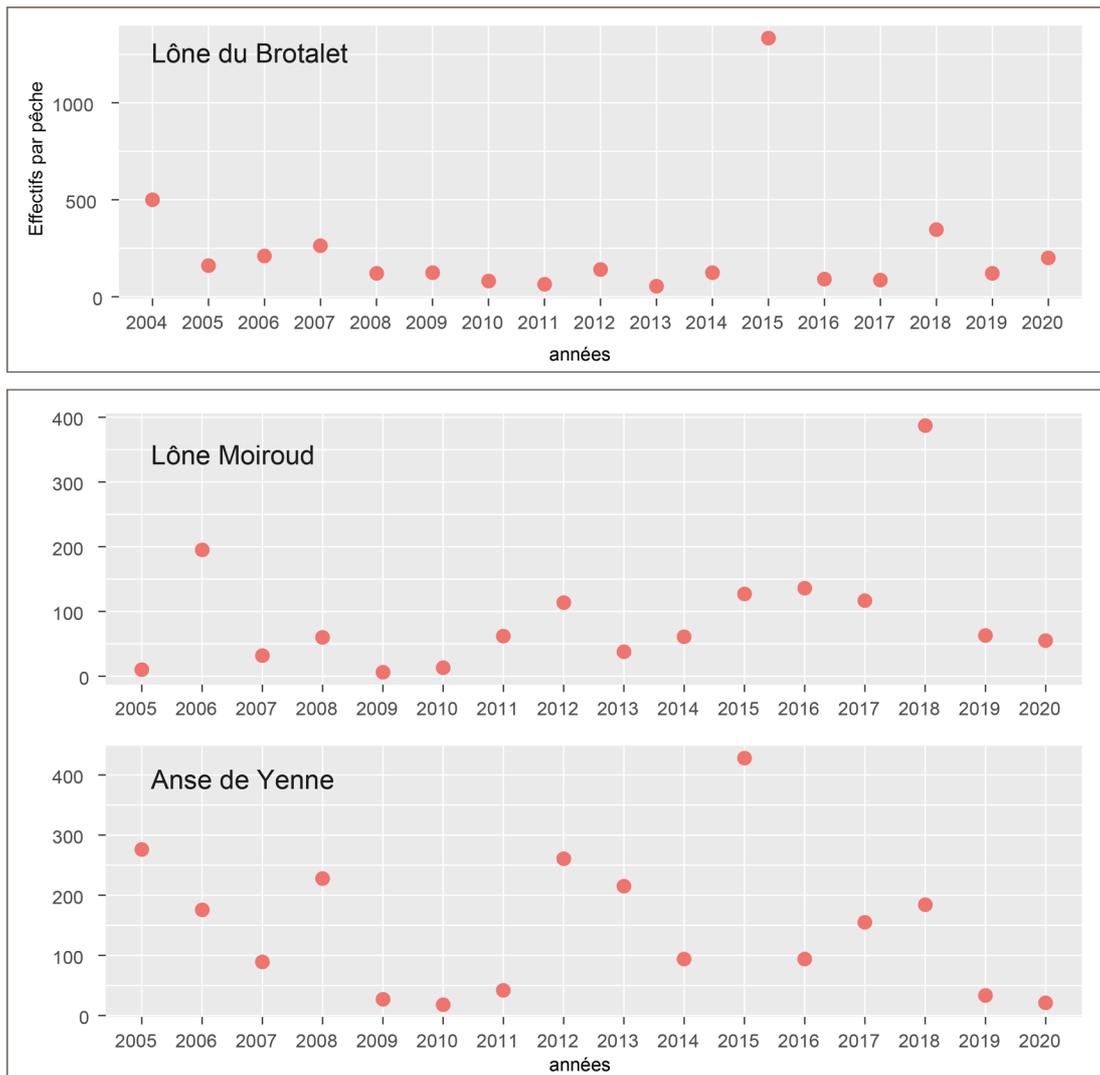


Figure 8.1 – Effectifs échantillonnés depuis la réhabilitation des lônes des secteurs de Chautagne et Belley (effort d'échantillonnage 25 E.P.A par date et par station).

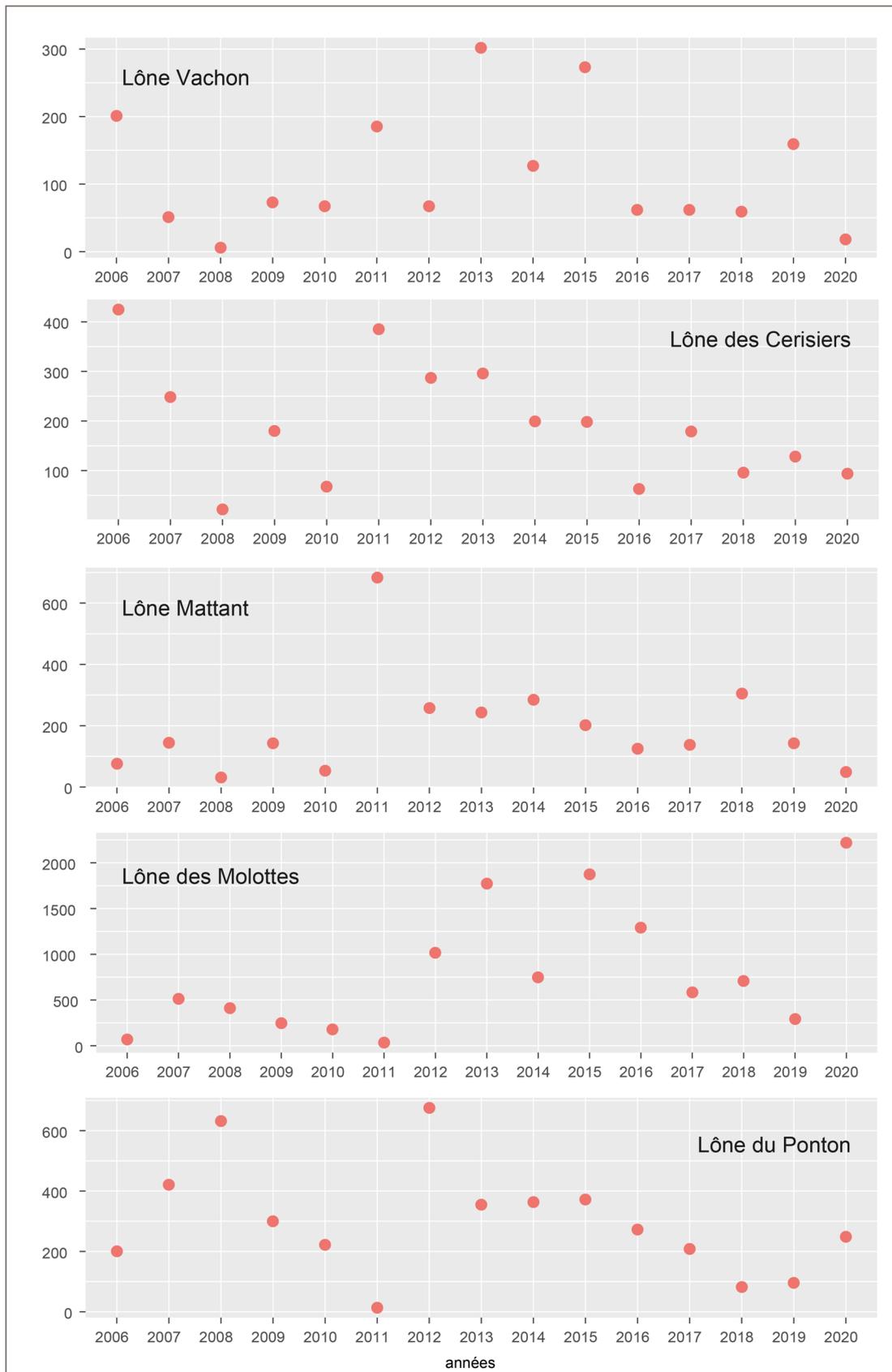


Figure 8.2 – Effectifs échantillonnés depuis la réhabilitation des lônes du secteur de Brégner-Cordon (effort d'échantillonnage 25 E.P.A par date et par station).

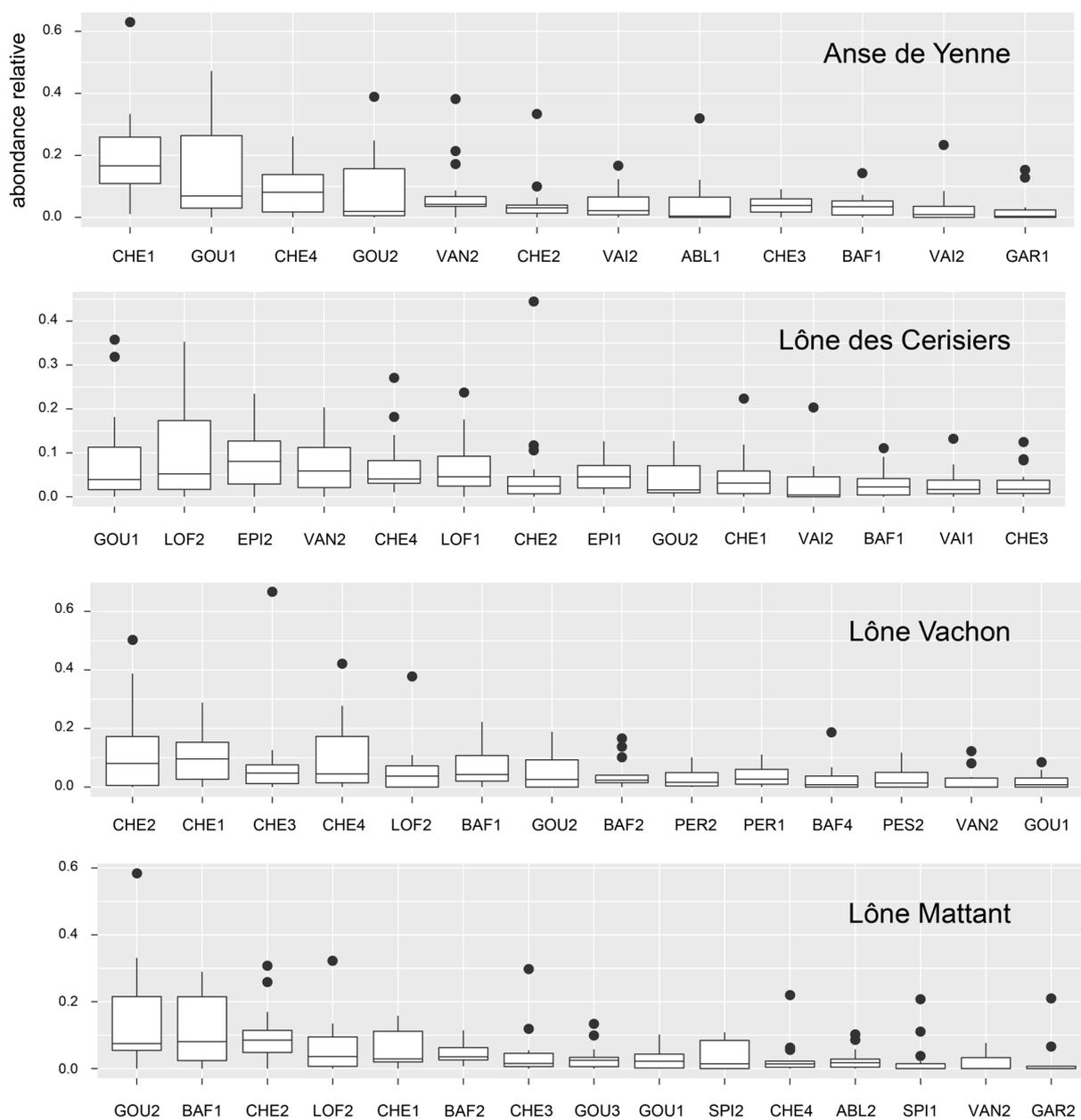


Figure 8.3 – Box-plots des abondances relatives par pêche (effort de pêche 25 E.P.A.) pour les entités « espèces - classes de tailles » dont l'abondance relative moyenne sur la période post-restauration est supérieure à 2% pour les lônes du Haut-Rhône ouvertes à leurs 2 extrémités (amont et aval)(cf. Tableau 5). Les limites des classes de tailles pour les différentes espèces sont les suivantes : la classe 1 représente les juvéniles de l'année, la classe 2 représente les individus dont la taille est immédiatement supérieure à la taille maximale des juvéniles de l'année et est inférieure à 12 cm, la classe 3 représente, quand c'est la dernière classe pour une espèce donnée, les individus de taille supérieure à 12 cm, si elle est suivie d'une classe 4, elle prend en compte les individus dont la taille est comprise entre 12 et 18 cm, la classe 4 regroupe les individus de tailles supérieures à 18 cm.

Tableau 8.2 - Effectifs de poissons échantillonnés dans les lômes du Haut-Rhône (Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon) en 2020. Pour chaque lôme, les espèces pour lesquelles l'abondance relative dépasse 10% ont été surlignées en bleu.

Espèces\Lômes	Lôme du Brotalet	Lôme Moiroud	Anse de Yenne	Lôme Vachon	Lôme des Cerisiers	Lôme Mattant	Lôme des Molottes	Lôme du Ponton	Total
ABL	0	0	0	0	0	10	105	0	115
BAF	0	0	0	5	1	19	0	0	25
BOU	0	27	0	0	0	0	669	8	704
BRB	0	0	0	0	0	0	144	2	146
BRE	2	0	0	0	0	0	33	0	35
BRO	2	2	0	0	0	0	2	4	10
CCO	0	0	0	0	0	0	0	1	1
CHA	0	0	0	1	0	0	0	0	1
CHE	164	0	7	8	36	11	276	5	507
EPI	0	19	0	0	10	0	1	0	30
GOU	3	0	9	0	7	0	83	0	102
HOT	0	0	1	0	7	2	16	0	26
LOF	0	0	2	0	25	0	1	0	28
LOE	0	0	0	0	0	0	0	1	1
PCH	0	0	0	0	0	0	15	0	15
PER	5	0	0	2	0	0	0	2	9
PES	19	0	0	1	0	0	144	35	199
PSR	0	0	0	0	0	0	658	109	767
ROT	0	4	0	0	0	0	5	33	42
SIL	0	0	1	1	2	2	0	0	6
SPI	0	0	0	0	0	5	0	0	5
TAN	0	3	1	0	1	0	66	49	120
VAI	4	0	0	0	2	0	2	0	8
VAN	0	0	0	0	3	0	0	0	3
Total	199	55	21	18	94	49	2220	249	2905
Nb espèces	7	5	6	6	10	6	16	11	24

Tableau 8.3 - Evolution de trois variables permettant de caractériser les assemblages de poissons échantillonnés dans les lômes du Haut-Rhône après restauration : effectif pêché, abondance relative des espèces phytophiles et litho-phytophiles (espèces utilisant exclusivement ou non un substrat végétal comme support de ponte) et proportion de juvéniles de l'année (0+) dans les échantillons pour chaque lôme.

Lômes		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne
Lôme du Brotalet	Effect. total	500	160	210	262	121	125	82	64	140	55	123	1334	90	86	345	121	199	236
	%age Lith. Phyt. & Phyto	7,0%	26,0%	17,0%	12,2%	30,6%	40,2%	40,2%	0,0%	35,0%	27,0%	9,8%	58,9%	13,3%	64,0%	11,0%	12,4%	4,5%	24,1%
	% 0+	66,0%	56,0%	80,0%	90,0%	79,0%	98,0%	67,1%	100,0%	50,0%	76,0%	97,6%	89,2%	93,3%	87,2%	89,0%	93,4%	88,4%	82,4%
Lôme de la Malourdie	Effect. total	58	72	401	122	135	48	66	50	305	277	-	-	-	-	-	-	-	153
	%age Lith. Phyt. & Phyto	0,0%	2,8%	8,0%	0,8%	9,6%	1,5%	1,5%	20,0%	2,0%	1,0%	-	-	-	-	-	-	-	4,7%
	% 0+	86,0%	69,0%	76,0%	71,0%	60,0%	83,0%	78,8%	36,0%	53,0%	67,0%	-	-	-	-	-	-	-	68,0%
Lôme des Luisettes	Effect. total	-	58	156	68	41	19	8	33	176	105	28	-	-	-	-	-	-	69,2
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	53,0%	38,0%	50,0%	14,6%	12,5%	12,5%	6,0%	16,0%	7,0%	3,6%	-	-	-	-	-	-	21,3%
	% 0+	-	67,0%	47,0%	28,0%	78,0%	68,0%	62,5%	48,0%	55,0%	55,0%	39,3%	-	-	-	-	-	-	54,8%
Lôme Moiroud	Effect. total	-	10	195	32	60	6	13	62	114	38	61	127	136	117	387	63	55	92
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	50,0%	34,0%	25,0%	1,7%	38,5%	38,5%	0,0%	4,0%	3,0%	13,1%	32,3%	8,1%	4,3%	54,5%	39,7%	16,4%	22,7%
	% 0+	-	30,0%	58,0%	44,0%	72,0%	83,0%	0,0%	73,0%	47,0%	45,0%	72,1%	11,0%	19,9%	69,2%	12,4%	27,0%	81,8%	46,6%
Lôme Bêard	Effect. total	-	178	13	4	12	8	1	1	26	60	-	-	-	-	-	-	-	34
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	7,0%	31,0%	50,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	85,0%	60,0%	-	-	-	-	-	-	-	59,2%
	% 0+	-	38,0%	8,0%	0,0%	25,0%	50,0%	100,0%	0,0%	23,0%	10,0%	-	-	-	-	-	-	-	28,2%
Lôme Fourmier	Effect. total	-	142	69	89	69	58	16	17	674	509	-	-	-	-	-	-	-	183
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	5,0%	4,0%	20,0%	8,7%	25,0%	25,0%	0,0%	50,0%	1,0%	-	-	-	-	-	-	-	15,4%
	% 0+	-	88,0%	94,0%	57,0%	83,0%	69,0%	25,0%	18,0%	79,0%	79,0%	-	-	-	-	-	-	-	65,8%
Anse de Yenne	Effect. total	-	276	176	89	228	27	18	42	261	215	94	428	94	155	184	33	21	146
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	9,0%	20,0%	2,2%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	16,0%	19,0%	34,0%	16,4%	10,6%	14,8%	6,5%	18,2%	4,8%	10,8%
	% 0+	-	92,0%	93,0%	24,0%	41,0%	70,0%	61,1%	59,0%	59,0%	48,0%	81,9%	49,5%	51,1%	70,6%	47,8%	54,5%	85,7%	61,8%
Lôme de Chantemerle	Effect. total	-	-	192	56	25	22	135	3	330	281	-	-	-	-	-	-	-	131
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	15,0%	25,0%	80,0%	96,3%	96,3%	33,0%	49,0%	20,0%	-	-	-	-	-	-	-	51,8%
	% 0+	-	-	86,0%	30,0%	96,0%	82,0%	94,1%	0,0%	75,0%	91,0%	-	-	-	-	-	-	-	69,3%
Lôme des granges	Effect. total	-	-	68	220	5	16	44	41	104	197	-	-	-	-	-	-	-	87
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	45,0%	20,0%	20,0%	11,4%	11,4%	37,0%	67,0%	33,0%	-	-	-	-	-	-	-	30,6%
	% 0+	-	-	76,0%	49,0%	60,0%	31,0%	40,9%	29,0%	62,0%	49,0%	-	-	-	-	-	-	-	49,6%
Lôme Vachon	Effect. total	-	-	201	51	6	73	67	185	67	302	127	273	62	62	59	159	18	114
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	19,0%	12,0%	0,0%	16,4%	16,4%	16,0%	39,0%	18,0%	4,7%	17,2%	4,8%	4,8%	13,6%	4,4%	11,1%	13,2%
	% 0+	-	-	79,0%	27,0%	0,0%	53,0%	35,8%	17,0%	22,0%	51,0%	31,5%	50,2%	29,0%	26,9%	57,6%	7,5%	55,6%	36,2%
Lôme des cerisiers	Effect. total	-	-	425	248	22	180	68	385	287	296	199	198	63	179	96	128	94	191
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	5,0%	21,0%	13,6%	5,9%	5,9%	34,0%	8,0%	4,0%	2,5%	0,5%	6,3%	33,0%	31,3%	12,5%	1,1%	12,3%
	% 0+	-	-	49,0%	56,0%	50,0%	57,0%	17,6%	37,0%	45,0%	38,0%	52,3%	72,2%	19,0%	33,5%	16,7%	19,5%	42,6%	40,4%
Lôme Mattant	Effect. total	-	-	76	145	31	143	53	683	258	243	284	202	125	138	305	143	49	192
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	16,0%	3,0%	3,2%	13,2%	13,2%	8,0%	43,0%	2,0%	10,9%	8,4%	11,2%	3,6%	3,9%	4,9%	20,4%	11,0%
	% 0+	-	-	48,0%	28,0%	35,0%	20,0%	15,1%	48,0%	12,0%	67,0%	32,4%	56,4%	27,2%	42,0%	9,5%	2,1%	53,1%	33,1%
Lôme des Molottes	Effect. total	-	-	68	513	411	246	180	35	1016	1772	748	1875	1292	584	708	293	2220	797
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	54,0%	43,0%	11,2%	16,7%	16,7%	71,0%	45,0%	46,0%	14,6%	17,4%	8,8%	51,2%	35,3%	69,6%	16,0%	34,4%
	% 0+	-	-	90,0%	88,0%	96,0%	66,0%	97,2%	49,0%	81,0%	89,0%	93,9%	91,6%	50,7%	87,2%	79,7%	68,3%	84,2%	80,8%
Lôme du Ponton	Effect. total	-	-	201	421	632	300	222	14	676	355	363	372	272	208	82	96	249	298
	%age Lith. Phyt. & Phyto	-	-	61,0%	24,0%	63,9%	42,3%	42,3%	93,0%	43,0%	49,0%	65,8%	20,4%	38,6%	40,9%	39,0%	87,5%	36,9%	49,9%
	% 0+	-	-	86,0%	71,0%	99,0%	90,0%	96,8%	71,0%	96,0%	74,0%	94,8%	80,4%	73,4%	57,0%	70,0%	79,2%	73,5%	80,8%

Les assemblages de poissons diffèrent dans les 3 lônes de type « parapotamon ». Bien que les effectifs capturés dans la Lône du Brotalet soient relativement élevés par rapport à ceux des années antérieures (Figure 8.1), les abondances de 2 des 7 espèces présentes représentaient 91% des effectifs totaux (chevaine 82,4%, perche-soleil 9,5%). Dans la Lône Moiroud, 5 espèces ont été échantillonnées, 55 poissons ont été capturés dont 27 bouvières et 17 épinoches. C'est dans la Lône des Molottes que le nombre d'espèces échantillonnées (16) et le nombre d'individus (2220) ont été les plus importants. La bouvière (30% des effectifs totaux dont 87% de 0+) et le pseudorasbora (29,6% dont 84% de 0+) sont les deux espèces les plus représentées (Figure 8.4). Cette lône, connectée au Rhône par son extrémité aval, constitue depuis sa réhabilitation une annexe fluviale très propice au développement des jeunes stades de développement des poissons d'espèces qui fraient dans le chenal (chevaine, vairon, loche franche, vandoise, hotu), d'espèces pour lesquelles la reproduction peut potentiellement avoir lieu dans la lône (ablette, gardon, goujon, brème bordelière et brème commune, perche commune) et d'espèces dont la totalité du cycle de vie peut potentiellement s'accomplir dans la lône (bouvière, poisson-chat, perche-soleil, pseudorasbora, rotengle, tanche) (Figure 8.6). Cette fonctionnalité de la Lône des Molottes se traduit par des valeurs élevées de proportions de juvéniles de l'année et de poissons appartenant à des espèces phytophiles et lithophytophiles dans les échantillons (Tableau 8.3 et Figure 8.5). Pour les espèces qui se reproduisent en dehors de la lône, l'accès des très jeunes poissons (larves) à ce milieu dépend de l'hydrologie au moment de la phase de dispersion post-éclosion (débits suffisants pour assurer la dispersion et la colonisation des annexes par les larves en dérive) et de l'absence de bouchon alluvial à l'extrémité aval de la lône. En 2020, Il est probable que l'hydrologie printanière ait favorisé ce processus de colonisation par les jeunes larves d'ablettes, de chevaines et de hotus, dont les juvéniles de l'année ont été trouvés pour la première fois depuis la réhabilitation de la lône.

La configuration de la Lône du Ponton est très similaire à celle de la Lône des Molottes avec une connexion aval directe avec le chenal principal. Les caractéristiques des assemblages de poissons sont assez similaires à celles de la Lône des Molottes avec cependant des effectifs capturés par campagne de pêche moins importants, des proportions de juvéniles d'ablettes plus importantes et des proportions de pseudorasbora plus faibles (Figures 8.5 et 8.6). En 2020, 11 espèces ont été échantillonnées dont la loche d'étang, déjà trouvée en 2019. Cette espèce figure sur la liste rouge des espèces menacées en France dans la catégorie « en danger ». Les effectifs capturés ont été plus élevés que les deux années précédentes mais les espèces concernées (pseudorasbora - 44% des effectifs totaux-, tanche -19%-, perche soleil - 14% - rotengle -13%-bouvière -3%) sont essentiellement des espèces affectionnant particulièrement les annexes

lentiques. L'accumulation progressive de sédiments à l'extrémité aval de la lône limite considérablement les possibilités de mouvements des poissons entre la lône et le chenal (figure 8.7).

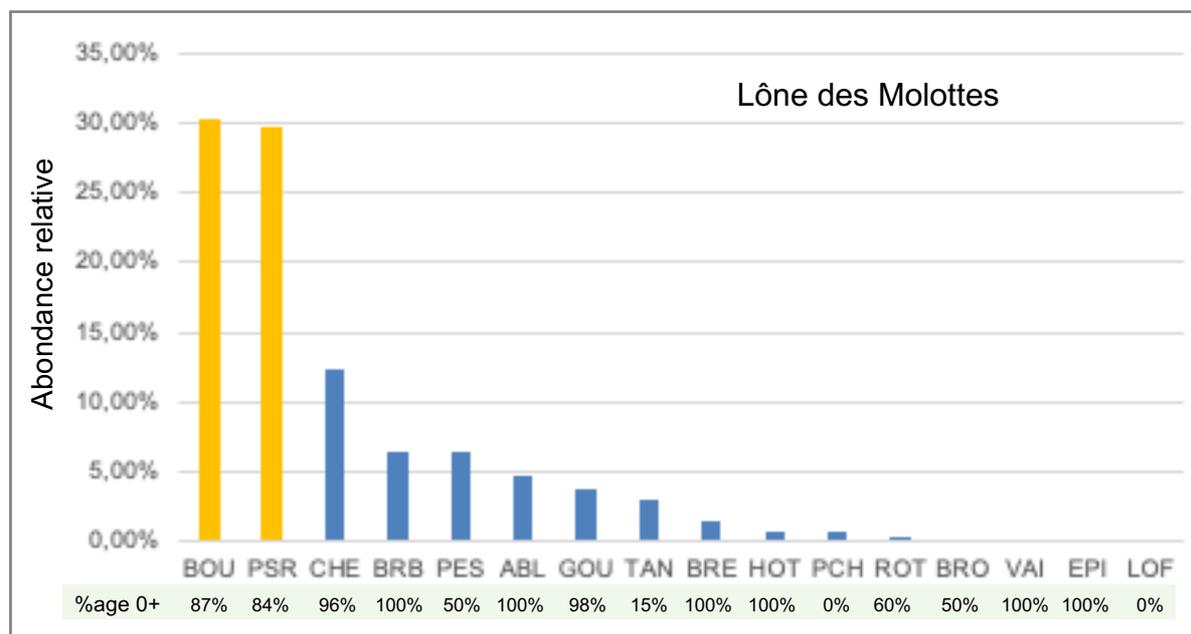


Figure 8.4 – Abondances relatives des différentes espèces échantillonnées dans la Lône des Molottes en 2020, la proportion d'individus d'âge 0+ (juvéniles de l'année) est indiquée pour chaque espèce.

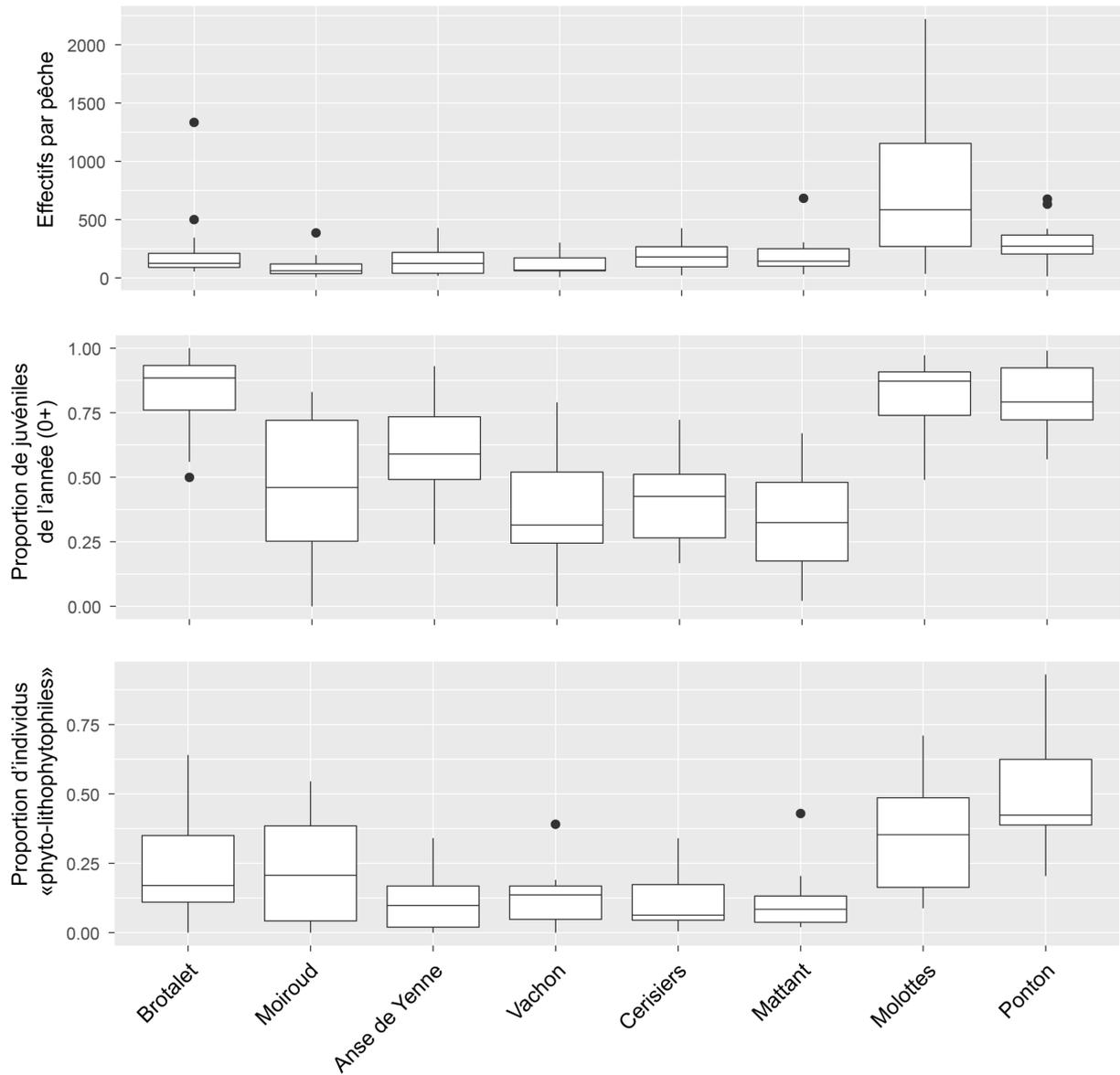


Figure 8.5 – Box-plots des abondances par pêche (effort de pêche 25 E.P.A.), de la proportion de juvéniles de l'année (0+) pour chaque pêche et de la proportion d'individus appartenant à des espèces phytophiles et litho-phytophiles pour 8 lônes suivies sur le Haut-Rhône (Brotalet 2004-2020, Moiroud 2005-2020, Anse de Yenne 2005-2020, Vachon, Cerisiers, Mattant, Molottes et Ponton 2006-2020).

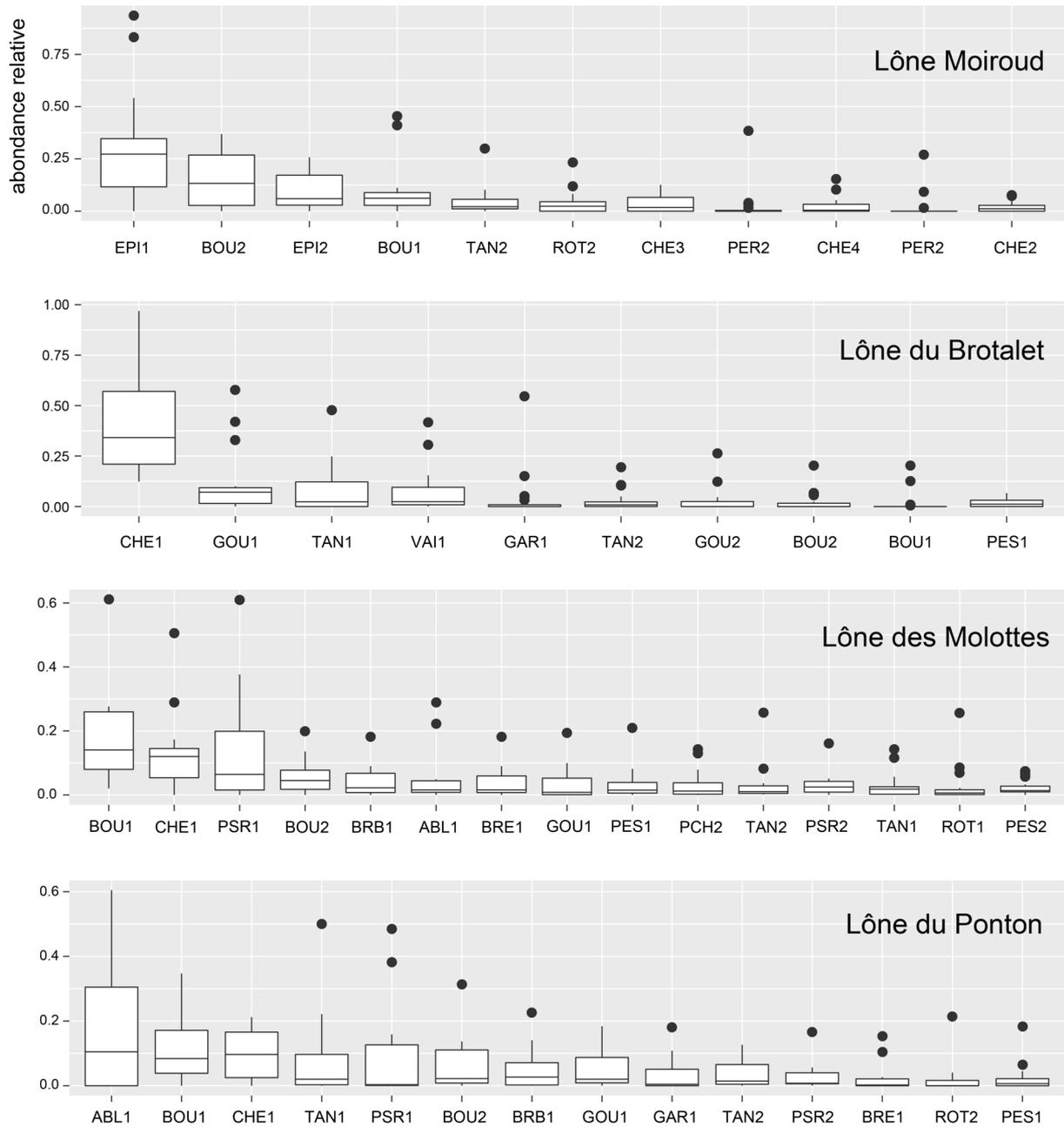


Figure 8.6 – Box-plots des abondances relatives par pêche (effort de pêche 25 E.P.A.) pour les entités « espèces - classes de tailles » dont l'abondance relative moyenne sur la période post-restauration est supérieure à 2% pour les lônes du Haut-Rhône ouvertes à leur extrémité aval (cf. Tableau 6). Les limites des classes de tailles pour les différentes espèces sont les suivantes : la classe 1 représente les juvéniles de l'année, la classe 2 représente les individus dont la taille est immédiatement supérieure à la taille maximale des juvéniles de l'année et est inférieure à 12 cm, la classe 3 représente, quand c'est la dernière classe pour une espèce donnée, les individus de taille supérieure à 12 cm, si elle est suivie d'une classe 4, elle prend en compte les individus dont la taille est comprise entre 12 et 18 cm, la classe 4 regroupe les individus de tailles supérieures à 18 cm.

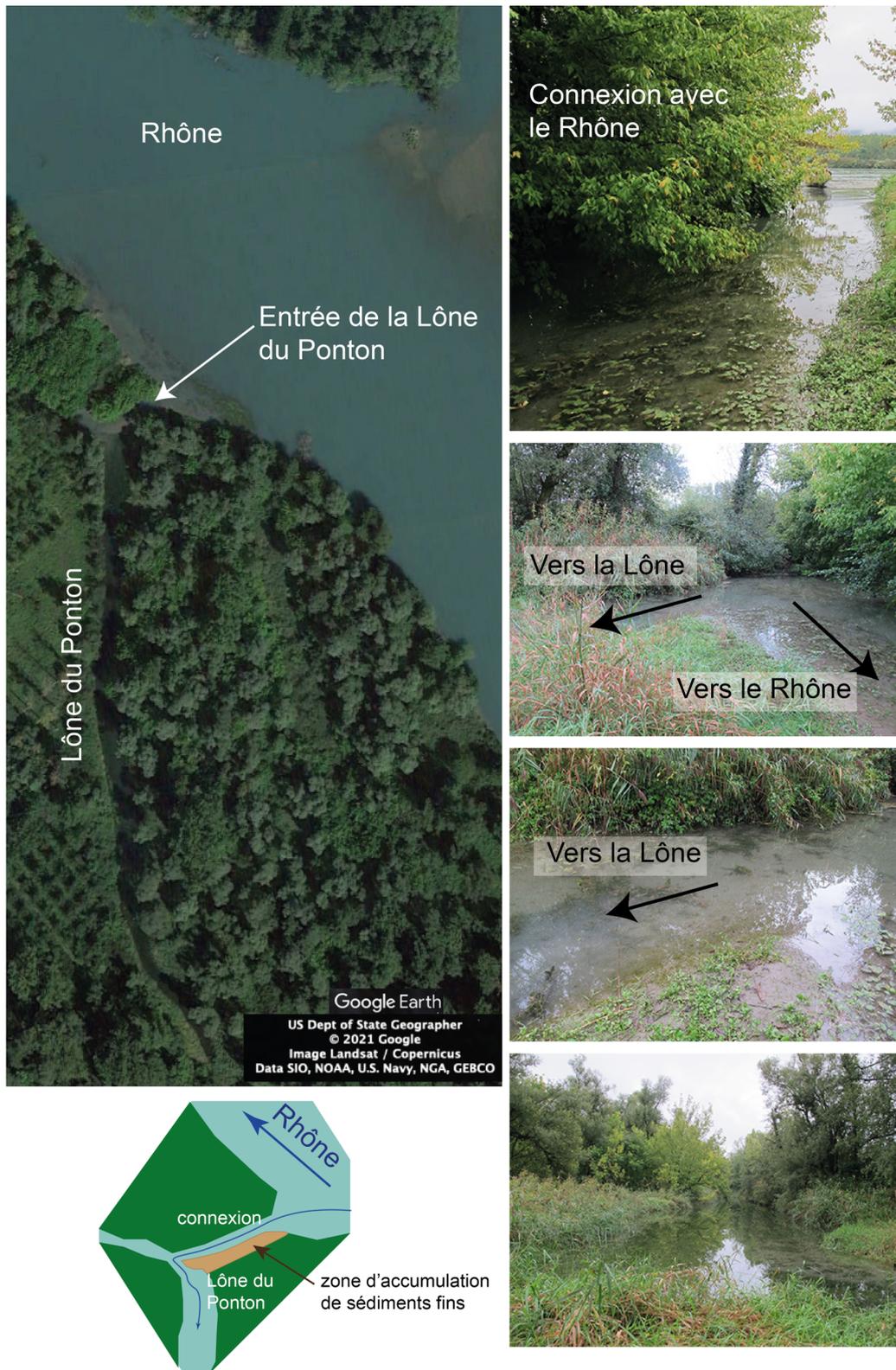


Figure 8.7 – Connexion entre le Rhône et la Lône du Ponton : les photos de droite illustrent l'intensité des dépôts de limons et la construction du bouchon aval. Le schéma en bas à gauche montre la complexité de la connexion et schématise le flux d'eau entrant lors de la montée des eaux (transport passif des larves de poissons).

Afin de mieux caractériser les différences de composition faunistique entre et les trois lônes connectées au Rhône par l'aval et leur évolution temporelle, une analyse en composantes principales a été réalisée sur les données collectées depuis leur réhabilitation (Figure 8.8).

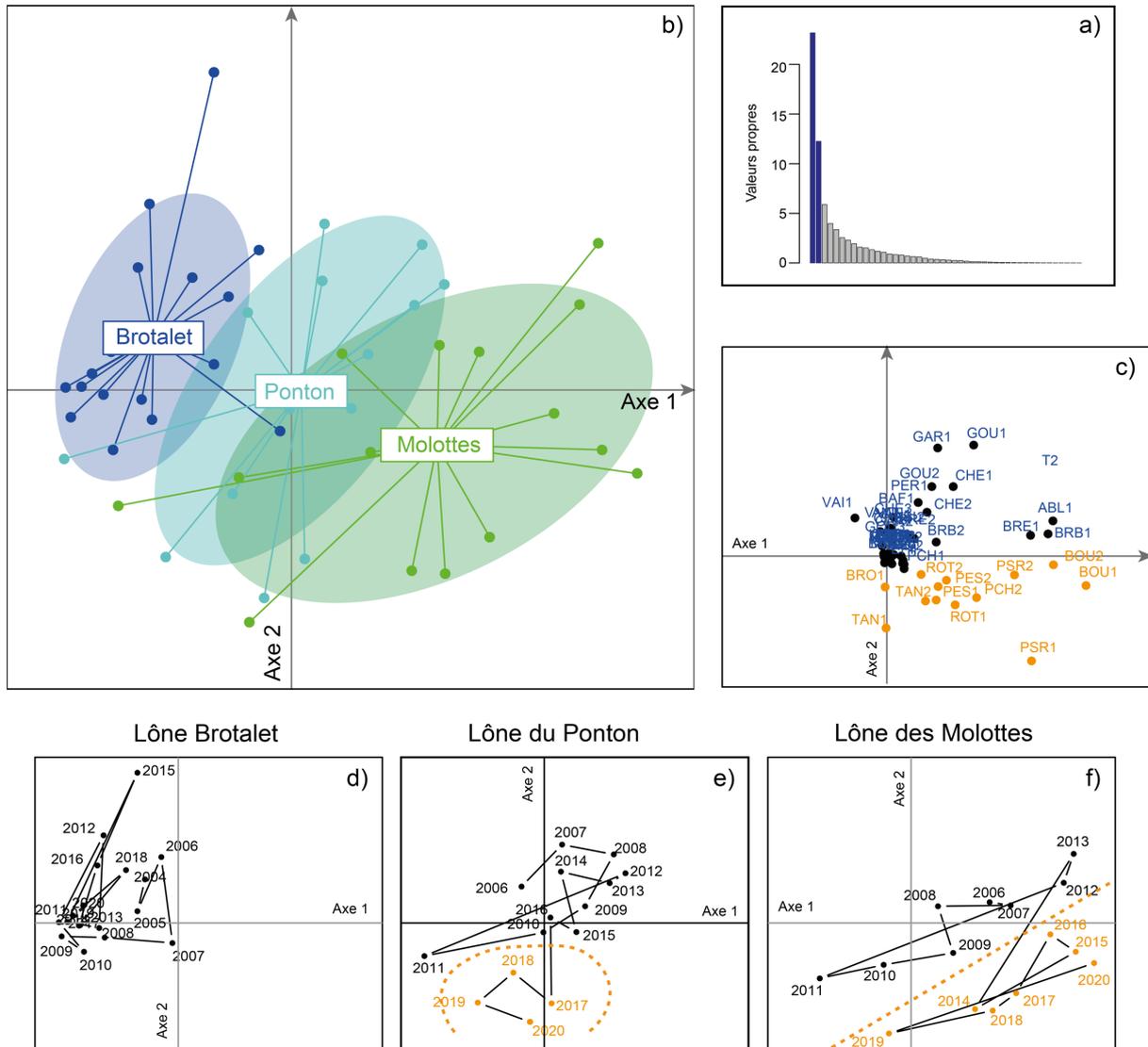


Figure 8.8 – Expression graphique des résultats de l'ACP effectuée sur les données d'abondance dans les lônes du Brotalet, des Molottes et du Ponton après leur réhabilitation. a) graphe des valeurs propres, b) projection des pêches dans le plan défini par les 2 premiers axes de l'analyse, les ellipses comprennent 95% des points d'une station donnée, c) projection des taxons (groupes espèces-Classes de tailles) dans le plan défini par les 2 premiers axes de l'analyse, d), e), f) projection des pêches dans le plan défini par les 2 premiers axes de l'analyse, les trajectoires temporelles sont indiquées pour chacune des 3 lônes. Les effectifs bruts sont transformés avant analyse ($\log_{10} [\text{effectifs} + 1]$), les effectifs représentent le nombre de poissons appartenant à une classe de tailles donnée pour une espèce donnée, le découpage en classes de tailles conduit à conserver 2, 3 ou 4 classes en fonction de la taille des poissons adultes. La première classe regroupe les poissons nés dans l'année (0+), la classe 2 représente les individus dont la taille est immédiatement supérieure à la taille maximale des juvéniles de l'année et est inférieure à 12 cm, la classe 3 représente, quand c'est la dernière classe pour une espèce donnée, les individus de taille supérieure à 12 cm, si elle est suivie d'une classe 4, elle prend en compte les individus dont la taille est comprise entre 12 et 18 cm, la classe 4 regroupe les individus de tailles supérieures à 18 cm.

Le rôle de nurserie pour les jeunes poissons de ces annexes fluviales a été constaté depuis le début du suivi post-restauration. L'analyse met en évidence une évolution temporelle pour les deux lônes de Molottes et Ponton (Figure 8.8 d, e et f) en lien avec la réduction de la connectivité aval de ces lônes en raison de la construction progressive du bouchon aval. La construction progressive d'un bouchon alluvial par dépôt de limons limite l'accessibilité de ces annexes pour les très jeunes stades de développement des poissons.

Ce phénomène a pour conséquence une importante diminution de l'abondance des juvéniles issus du frai qui s'est déroulé dans d'autres types de chenaux et qui colonisent ces annexes après éclosion. En conséquence, les assemblages de poissons sont alors dominés, en particulier dans les lônes du Ponton et des Molottes, par des espèces dont la reproduction se déroule très probablement dans ces lônes (espèces en orange sur la Figure 8.8c). Cette modification a été perceptible dès 2014 dans la lône des Molottes et depuis 2017 dans la Lône du Ponton (Figure 8.8e et f).

8.1.2 Rhône-Moyen et Bas-Rhône

8.1.2.1 Secteur de Péage-de-Roussillon

Dans le secteur de Péage-de-Roussillon, le « système Platière » constitué de la Lône de la Platière, alimentée en eau depuis le canal d'amenée de l'aménagement, de bras connectés à cet axe principal, Lône du Noyer Nord, la Lône du Noyer Sud et la Lône de l'Ilon, constitue une entité dans la mesure où les poissons peuvent circuler librement au sein de ce système de bras.

Dix-neuf espèces ont été échantillonnées en 2020 (Tableau 8.4), les espèces les plus abondantes ont été l'ablette (26% des effectifs totaux), la bouvière (16%), le goujon (15%), le gardon et le pseudorasbora (11%). Dans les bras lotiques, la proportion de juvéniles de l'année a été inférieure à 50%, ce qui témoigne de l'abondance des différentes classes d'âges dans ce système où les habitats sont très diversifiés (Figures 8.9, 8.10, 8.11, 8.12). Depuis le début du suivi en 2007, des hotus et des barbeaux de tailles intermédiaires entre les juvéniles de l'année et les adultes sont régulièrement échantillonnés dans ce système de bras (Figures 8.11 et 8.12). Dans la Lône de l'Ilon, la proportion de poissons d'âge 0+ est plus importante, la bouvière et le pseudorasbora représentant 95,45% des poissons échantillonnés. Cette lône est totalement envahie par l'élodée de Nuttall et les poissons échantillonnés sont de petites tailles.

La Lône de la Boussarde est située dans le Vieux-Rhône. Avant restauration, elle était représentée par un ensemble de plan d'eau inscrits dans les endiguements Girardon (casiers). Le démantèlement de ces casiers a créé un bras latéral au sein duquel les écoulements sont très

lents, cette lône étant située dans le remous du seuil de Peyraud. Les espèces rencontrées sont celles qui fréquentent cette partie lenticule du Vieux-Rhône, ablette, chevaine, gardon, goujon et pseudorasbora.

Tableau 8.4 - Effectifs de poissons échantillonnés dans les lônes du secteur de Péage-de-Roussillon en 2020. Pour chaque lône, les espèces pour lesquelles l'abondance relative dépasse 10% ont été surlignées en bleu.

Lone	Lône de la Platière	Lône du Noyer nord	Lône du Noyer sud	Lône de l'Ilon	Système platière	Lône de la Boussarde
ABL	145	104	33	0	282	15
BAF	12	0	0	0	12	0
BOU	0	0	0	176	176	8
BRB	4	8	6	4	22	5
BRE	14	16	4	0	34	0
BRO	0	0	0	0	0	1
CGO	0	0	0	1	1	0
CHE	34	27	22	3	86	41
EPI	1	0	0	0	1	0
GAR	20	69	26	1	116	86
GOU	90	63	6	0	159	50
GRE	1	0	0	0	1	0
HOT	7	1	4	0	12	4
LOF	8	1	20	0	29	1
PER	2	3	3	0	8	3
PES	2	1	2	1	6	7
PSR	2	0	17	98	117	24
ROT	1	0	0	3	4	2
SIL	1	1	0	0	2	1
TAN	1	0	0	0	1	0
Total	345	294	143	287	1069	248
Nb_sp	17	11	11	8	19	14
%age Phyto-Litho-Phyto	48,7%	44,6%	32,2%	2,8%	43,9%	10,5%
%age 0+	49,7%	33,2%	58,7%	71,8%	52,5%	51,6%

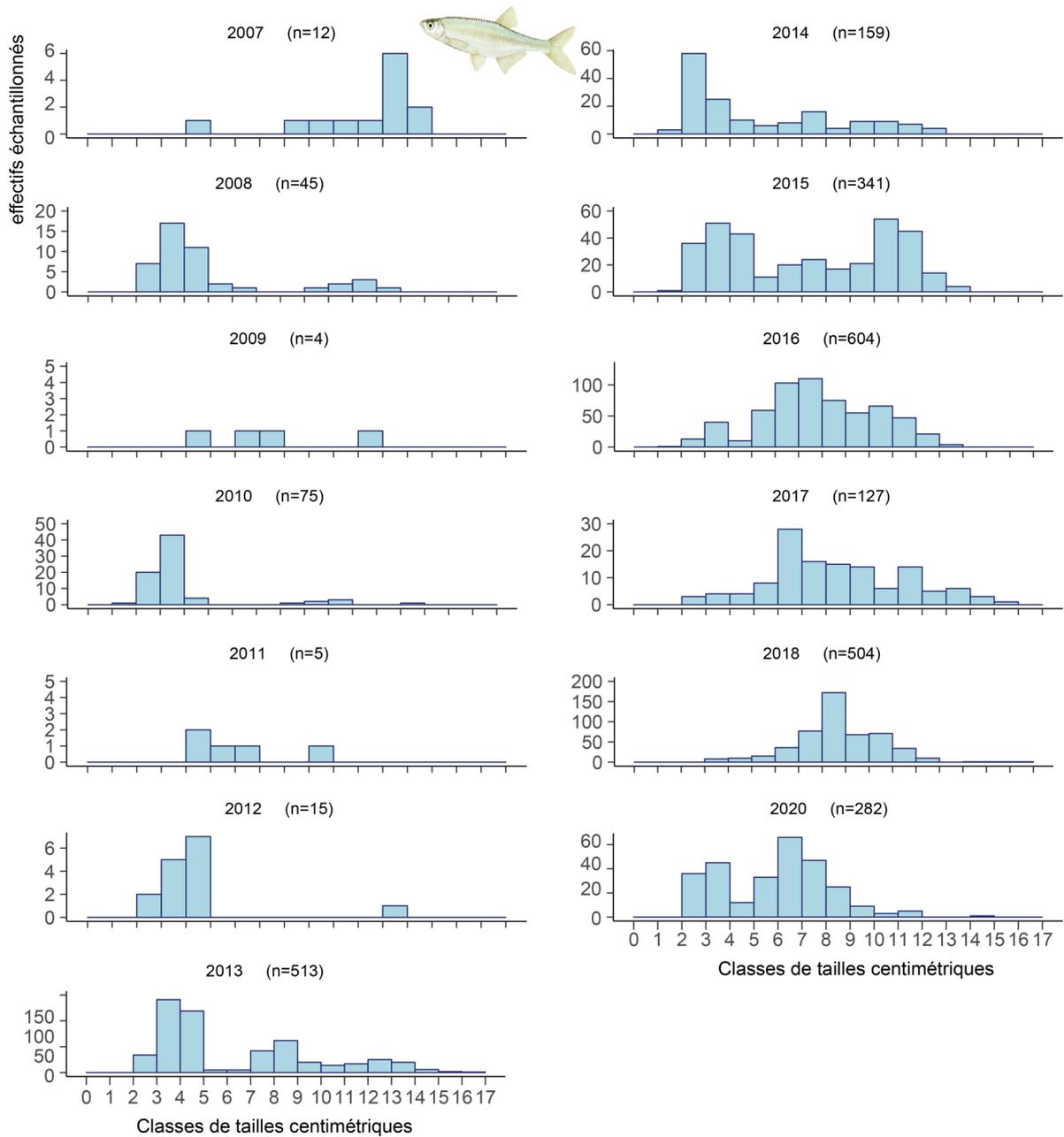


Figure 8.9 – Distribution en classes de tailles centimétriques des ablettes échantillonnées dans le système Platière (Platière, Noyer Nord, Noyer Sud, Ilon) depuis le début du suivi en 2007.

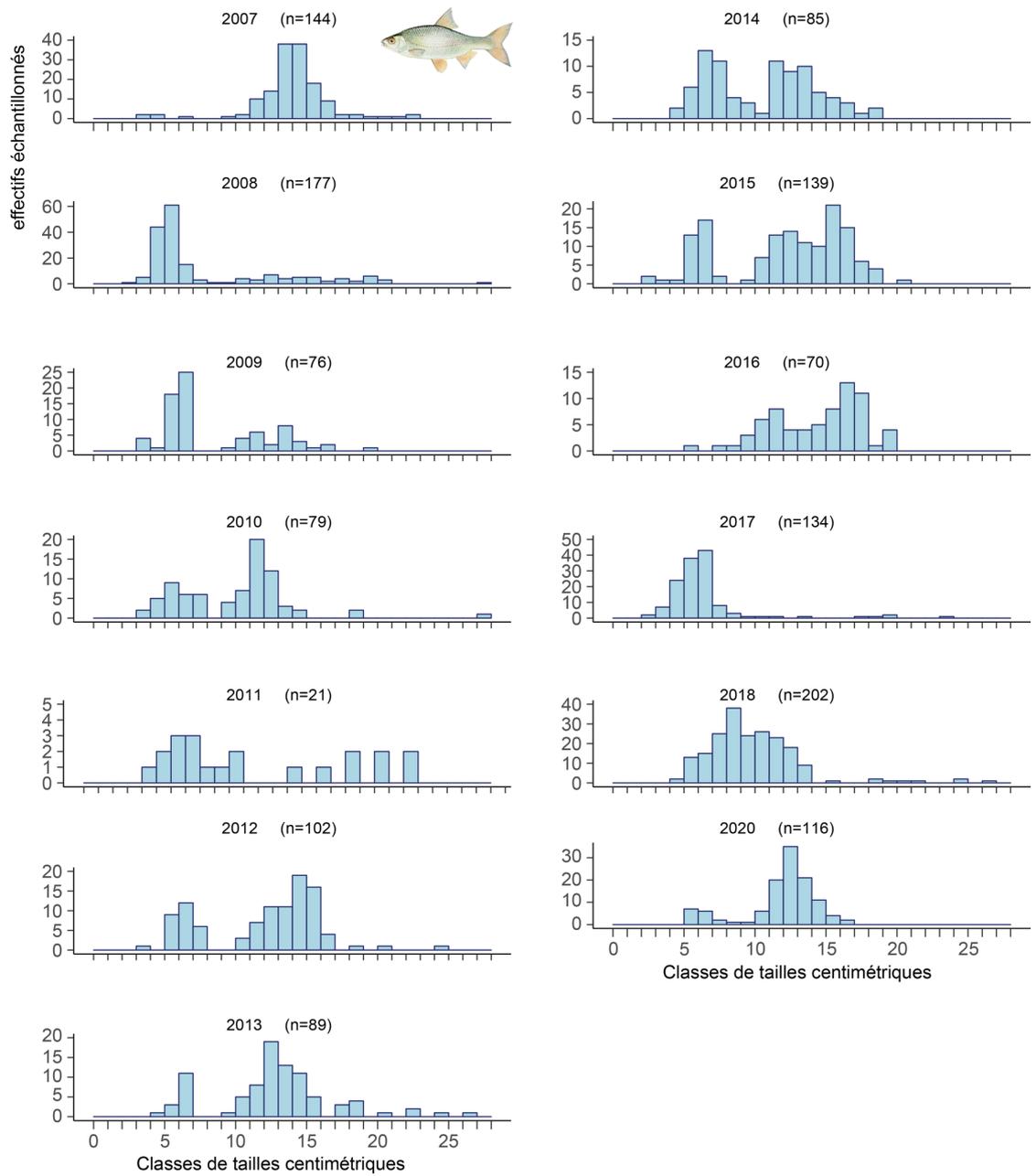


Figure 8.10 – Distribution en classes de tailles centimétriques des gardons échantillonnés dans le système Platière (Platière, Noyer Nord, Noyer Sud, Ilon) depuis le début du suivi en 2007.

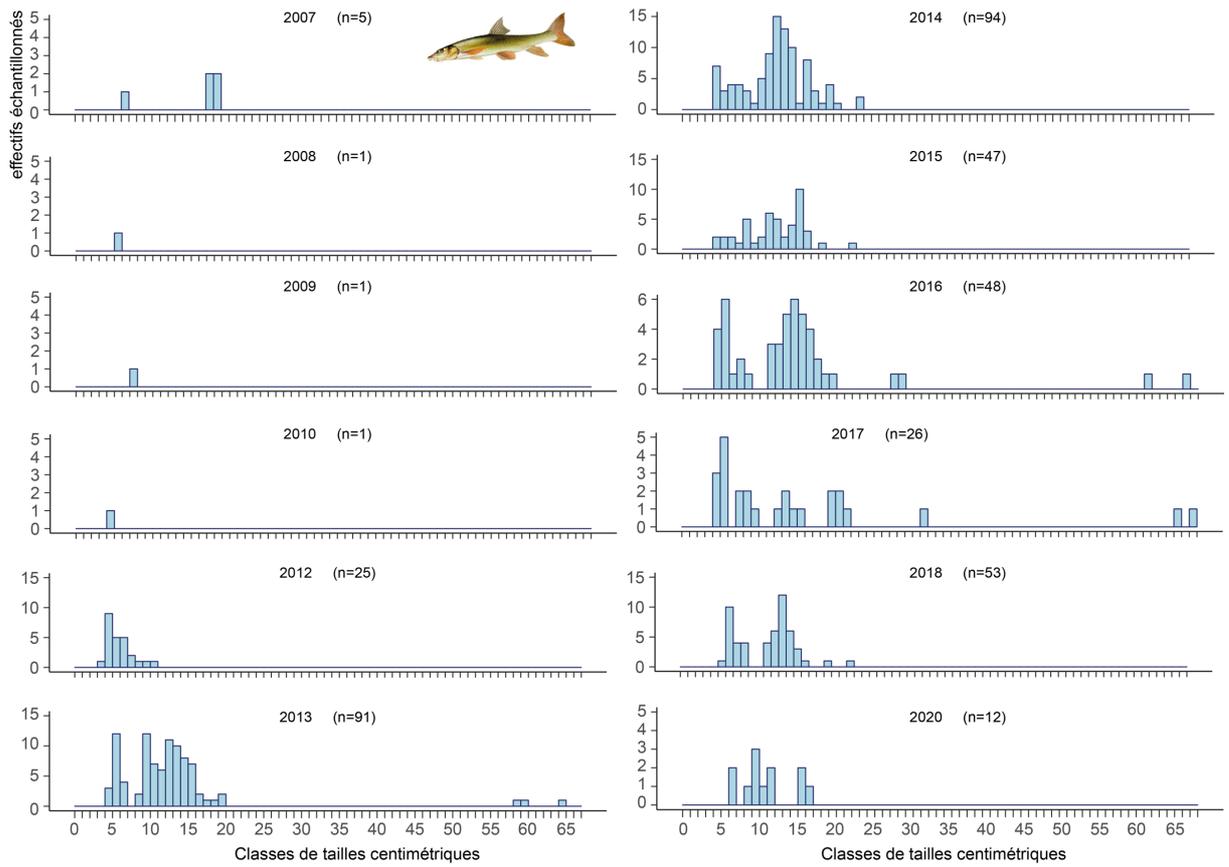


Figure 8.11 – Distribution en classes de tailles centimétriques des barbeaux fluviaux échantillonnés dans le système Platière (Platière, Noyer Nord, Noyer Sud, Ilon) depuis le début du suivi en 2007.

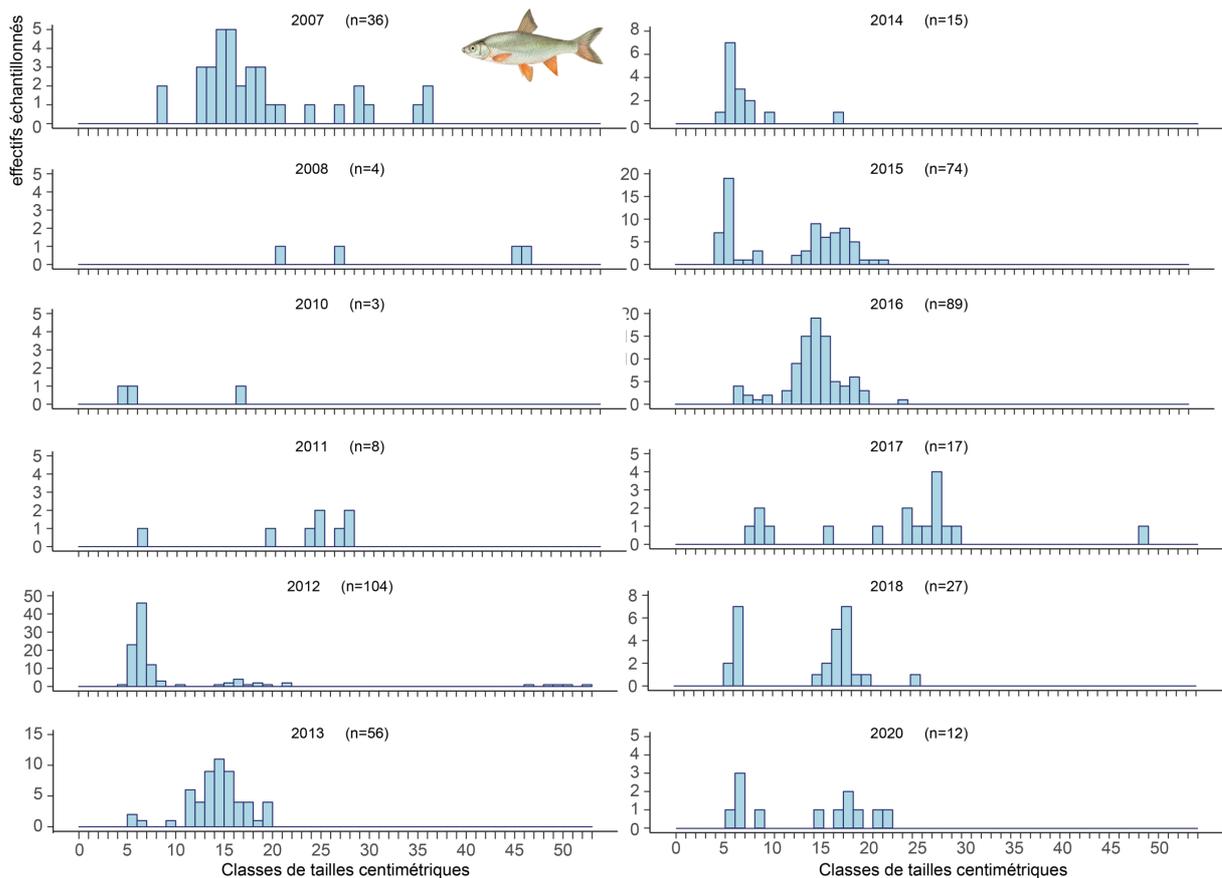


Figure 8.9 – Distribution en classes de tailles centimétriques des hotus échantillonnés dans le système Platière (Platière, Noyer Nord, Noyer Sud, Ilon) depuis le début du suivi en 2007.

8.1.2.2 Secteur de Donzère-Mondragon

Le suivi réalisé en 2020 a concerné 4 lônes :

- la lône de la Désirade dans le cadre de l’acquisition de données pré-restauration,
- les lônes du Banc Rouge, de la Grange Ecrasée, des Dames pour une première campagne d’échantillonnage post-restauration.

L’échantillonnage dans la lône de la Désirade concerne les deux plans d’eau (casiers Girardon) de part et d’autre du passage à gué. Il s’agit de milieux totalement lenticques abritant essentiellement des espèces lénitophiles comme le pseudorasbora (30%), la perche-soleil (22%), la brème commune (22%), le carassin argenté, le rotengle et la carpe (dont un individu de 85 cm) mais également des perches communes, des juvéniles de chevaines, des gardons et des anguilles (Tableau 8.5). Le projet de réhabilitation de cet ensemble de casiers Girardon prévoit la réouverture d’un bras secondaire et devrait induire un changement important de la structure de l’assemblage d’espèces dans cette lône.

Tableau 8.5 - Effectifs de poissons échantillonnés dans les lônes du secteur de Donzère en 2020. Pour chaque lône, les espèces pour lesquelles l'abondance relative dépasse 10% ont été surlignées en bleu.

Lône	Lône de la Grange écrasée	Lône des Dames	Lône du Banc Rouge	Lône de la Désirade	Total
ABL	425	50	92	0	567
ANG	0	0	3	2	5
BAF	13	6	1	0	20
BOU	6	1	6	14	27
BRB	20	1	1	0	22
BRE	8	0	0	55	63
BRO	1	0	0	1	2
CGO	0	0	8	9	17
CCO	0	2	0	1	3
CHE	203	113	144	24	484
GAR	357	88	8	13	466
GOU	40	14	17	12	83
GRE	1	0	0	0	1
HOT	111	38	20	1	170
LOF	17	14	31	0	62
PCH	0	0	0	1	1
PER	3	0	0	37	40
PES	2	0	3	83	88
PSR	8	10	242	112	372
ROT	2	0	0	8	10
SIL	1	0	0	0	1
SPI	65	43	1	0	109
VAI	19	39	25	0	83
Total	1302	419	602	373	2696
Nb_sp	19	13	15	15	23
%age Phyto-Litho-Phyto	35,3%	12,6%	16,8%	29,8%	
%age 0+	32,6%	50,1%	76,7%	25,5%	

La réhabilitation des 3 autres annexes a été réalisée en 2018-2019, elle a profondément changé la structure physique du milieu. Le Banc Rouge a été excavé et un nouveau chenal a été creusé, le bras a été reconnecté à ses 2 extrémités. Les casiers présents à l'amont de la lône de la Grange Ecrasée ont été démantelés ainsi que les tenons transversaux le long du chenal, elle a été, ainsi que la Lône des Dames, reconnectée au Rhône en amont et aval, la réhabilitation a transformé ces deux annexes en bras secondaires courants.

Au printemps 2020, l'extrémité amont du banc Rouge était à nouveau déconnectée suite à une crue. En septembre, lors de la pêche, le débit dans le Vieux-Rhône était un peu supérieur au débit réservé et la connexion était rétablie. Quinze espèces ont été échantillonnées dans ce bras, dont 3 très abondantes, le pseudorasbora (40%), le chevaine (23%) et l'ablette (15%). Les espèces rencontrées ont des exigences écologiques très variées (lénitophiles - pseudorasbora, perche-soleil, bouvière, carassin argenté -, et rhéophiles - hotu, barbeau, chevaine, vairon, spiralin). La proportion de juvéniles de l'année était relativement importante, témoignant d'une connexion avec le chenal principal et de conditions hydrauliques assez peu contraignantes. Les futures campagnes de pêche permettront de statuer sur la fonctionnalité de cette annexe fluviale en fonction de l'évolution de sa connectivité avec le Vieux-Rhône.

La création de 2 chenaux courants dans la Lône de la Grange écrasée et la Lône des Dames a mis à disposition des poissons de nouveaux habitats dont la colonisation a été rapide. Lors de cette première campagne de pêche post-restauration, la diversité spécifique a été relativement élevée, avec comme dans le Banc Rouge un mélange d'espèces dont les exigences écologiques sont variées, mais une proportion de juvéniles de l'année moins importante que dans le Banc Rouge (Tableau 8.5). Ces bras courants abritent des espèces rhéophiles comme l'ablette, le barbeau fluviatile et le hotu, appartenant à la guildes des espèces d'eau courante. L'analyse des structures en tailles révèle la présence pour ces espèces, comme dans le système de la Platière à Péage-de-Roussillon, d'individus appartenant à différentes classes d'âges et notamment, pour le hotu et le barbeau à des classes de tailles intermédiaires entre juvéniles de l'année et poissons adultes (Figures 8.13, 8.14 et 8.15). Palier à l'absence de bras secondaires courants dans ce secteur était apparu comme une priorité de restauration. Ces premiers résultats sont donc très satisfaisants. Ils mettent en évidence, entre autres, le rôle de ces milieux pour des classes d'âges particulières qui trouvent probablement des conditions de développement plus propices que dans le Vieux-Rhône.

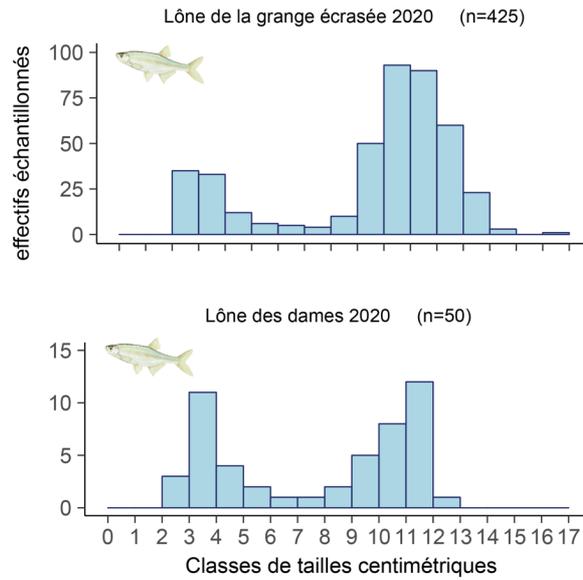


Figure 8.13 – Distribution en classes de tailles centimétriques des ablettes échantillonnées dans la lône des Dames et la lône de la Grange écrasée en 2020.

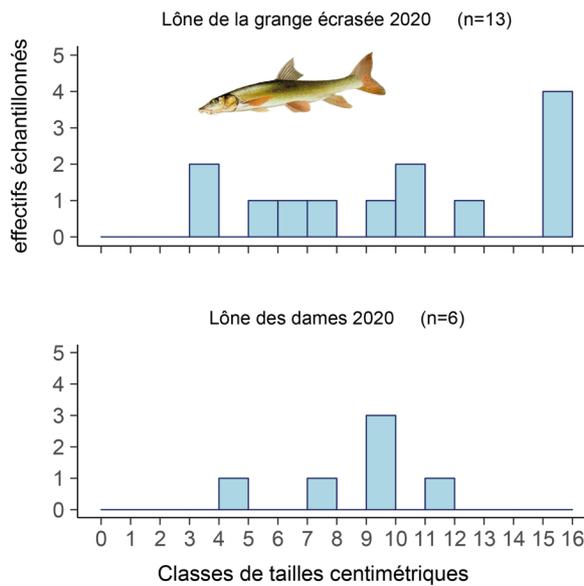


Figure 8.14 – Distribution en classes de tailles centimétriques des barbeaux fluviaux échantillonnés dans la lône des Dames et la lône de la Grange écrasée en 2020.

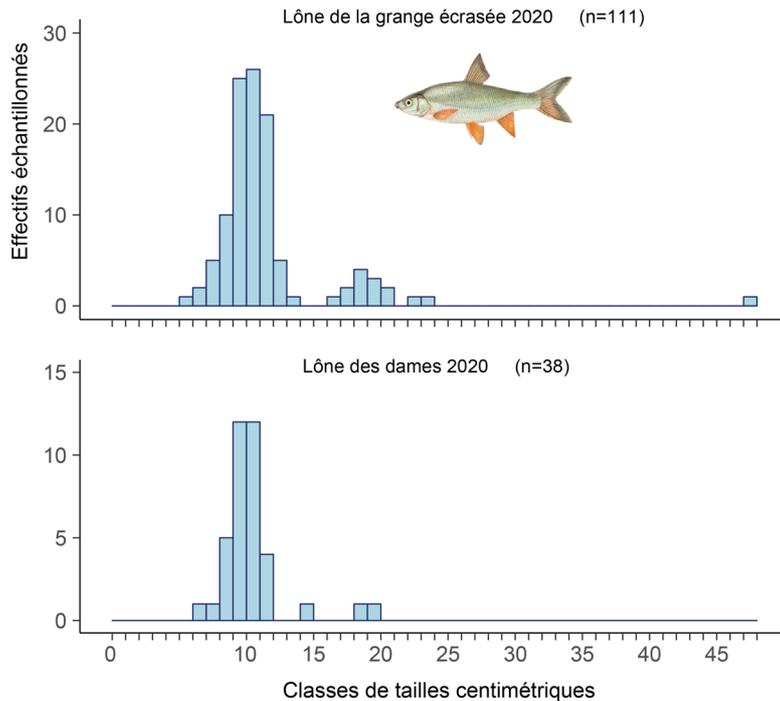


Figure 8.15 – Distribution en classes de tailles centimétriques des hotus échantillonnés dans la lône des Dames et la lône de la Grange écrasée en 2020.

8.2 Conclusion

La réhabilitation des lônes du Haut-Rhône a conduit à la re-création d'un ensemble d'annexes fluviales ayant des caractéristiques différentes : bras courants, bras stagnants plus ou moins éloignés du chenal principal. La composition faunistique et les classes de tailles de poissons échantillonnés dans ces différents milieux met en évidence le rôle fonctionnel pour la reproduction des espèces nécessitant un support végétal (espèces phytophiles ou lithophytophiles) de nurserie pour les juvéniles de poissons de certaines annexes fluviales (Brotalet, Molottes, Ponton, Cerisiers). Cependant, l'évolution de la sédimentation dans ces milieux essentiellement connectés par leur extrémité aval peut limiter leur accès par les poissons en période d'étiage. Il convient donc de porter une attention particulière à cette évolution et aux conséquences potentielles d'une limitation de la connexion aval sur la fonction de nurserie de ces annexes.

A Péage-de-Roussillon, l'intérêt pour la communauté de poissons du système Platière avec une forte diversité de types d'écoulements et une longueur importante se confirme au fil des échantillonnages. La réhabilitation de la Lône de la Boussarde par démantèlement des casiers a créé un bras latéral du Vieux-Rhône colonisé par les espèces du Vieux-Rhône.

Dans le secteur de Donzère, les résultats antérieurs obtenus dans les plans d'eau de la Désirade sont confirmés en 2020. La réhabilitation de ce secteur transformera probablement radicalement la structure physique et les modalités de connexion au Vieux-Rhône, comme cela a été le cas pour le Banc Rouge et les lône de la Grange écrasée et des Dames. Les résultats des premières pêches après restauration dans ces lônes sont très encourageants et confirment l'importance écologique des bras secondaires courants pour les populations de poissons. La déconnexion amont rapide du Banc Rouge ainsi que la fermeture progressive de la connexion aval pourraient fortement compromettre la fonctionnalité de ce bras.

9 Rôles des connexions hydrologiques et du débit sur la diversité macrobenthique et l'alimentation des juvéniles de poissons dans les bras secondaires du Haut-Rhône français

9.1 Objectif

L'objectif de ces travaux est de contribuer à la proposition d'une gestion hydraulique adaptée aux espèces de la plaine alluviale du Haut-Rhône français, à partir (1) d'une meilleure caractérisation du fonctionnement hydrologique des lônes et (2) du lien entre l'hydrologie, les traits d'histoires de vie des espèces et la fonctionnalité des milieux alluviaux.

9.2 La connectivité hydrologique latérale : une distinction des processus clé dans le fonctionnement hydrologique des lônes

Grâce à 10 années d'échantillonnage sur le Rhône et à des outils de modélisation statistiques innovants relevant de l'intelligence artificielle, il est maintenant possible de prédire la succession des peuplements en gastéropodes et en larves d'insectes d'un bras secondaire après sa restauration. Ces prédictions s'étendent sur des périodes de temps beaucoup plus longues (supérieures à 200 ans) que celles couvertes jusqu'à présent, permettant d'établir une vision des peuplements à long terme pour ce type de restauration (Figure 9.1).

Les prédictions développées ici représentent une succession d'espèces aquatiques se remplaçant au cours du temps, des stades pionniers (stade A ; Figure 9.1), intermédiaires (stade B ; Figure 9.1) vers des stades plus avancés dit « isolés » de la rivière (stade C ; Figure 9.1). Les assemblages pionniers, dominés par des espèces associées à des vitesses de courant rapides, se développent après la reconnexion complète du bras au fleuve (stade A ; Figure 9.1). La colonisation de ces espèces dites « lotiques » amène à une augmentation directe de la richesse

taxonomique (x 2.5 en moyenne) dans le bras secondaire restauré (Figure 9.1). Au cours du temps, la sédimentation dans ces bras restaurés provoque un changement des conditions hydrologiques de par l'élévation de structures sédimentaires, appelées bouchons alluviaux, qui engendrent le passage d'un état « courant » (stade A) à un état plus « stagnant » (stade B) du bras secondaire. Ce passage apparaît, dans le contexte étudié, aux alentours de vingt années après la date de restauration et provoque l'apparition de plusieurs espèces de mollusques gastéropodes, associées aux conditions plus lenticules du bras. Ces conditions permettent également le développement de végétaux aquatiques offrant support et nourriture à ces espèces. S'ensuit alors l'étape la plus longue d'atterrissement du bras isolé (Figure 9.1 ; stade C), pendant laquelle le bras continue son évolution vers des conditions semi-aquatiques ou temporaires (c'est à dire lorsque le bras subit des périodes d'assèchement). Cette étape de la succession (stade C ; Figure 9.1) peut se poursuivre pendant plus d'une centaine d'années. Alors que la sédimentation continue et élève le niveau du substrat par rapport au niveau du fleuve, à tout moment, une crue peut bouleverser le cours de cette succession et ramener les communautés biologiques au stade précédent (Figure 9.1 ; stade B). Cette propriété « d'auto-entretien » (Riquier *et al.*, 2017) est aujourd'hui activement recherchée par les gestionnaires afin d'accroître le dynamisme hydrologique de la zone alluviale et la durée de la phase aquatique des bras restaurés.

L'analyse de scénarios prédictifs apporte également de nouvelles connaissances sur le fonctionnement hydrologique des bras secondaires et de leurs effets sur les communautés biologiques. L'élévation des bouchons alluviaux amont et aval, qui engendre une diminution des durées de connexions, apparaît comme le moteur des changements de diversité. Les scénarios montrent également que les connexions amont (avec contraintes hydrauliques, dominantes au stade A) et les connexions aval (à contraintes hydrauliques très faibles voire inexistantes, dominantes au stade B et C) entraînent des réponses biologiques contrastées en fonction des groupes étudiés. De manière simplifiée, la richesse en insectes EPT (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) semble plus particulièrement favorisée par une augmentation des durées de connexions amont (stade A et B). Au contraire, la richesse en gastéropodes augmente conjointement avec l'augmentation des durées de connexions par l'aval (stade B).

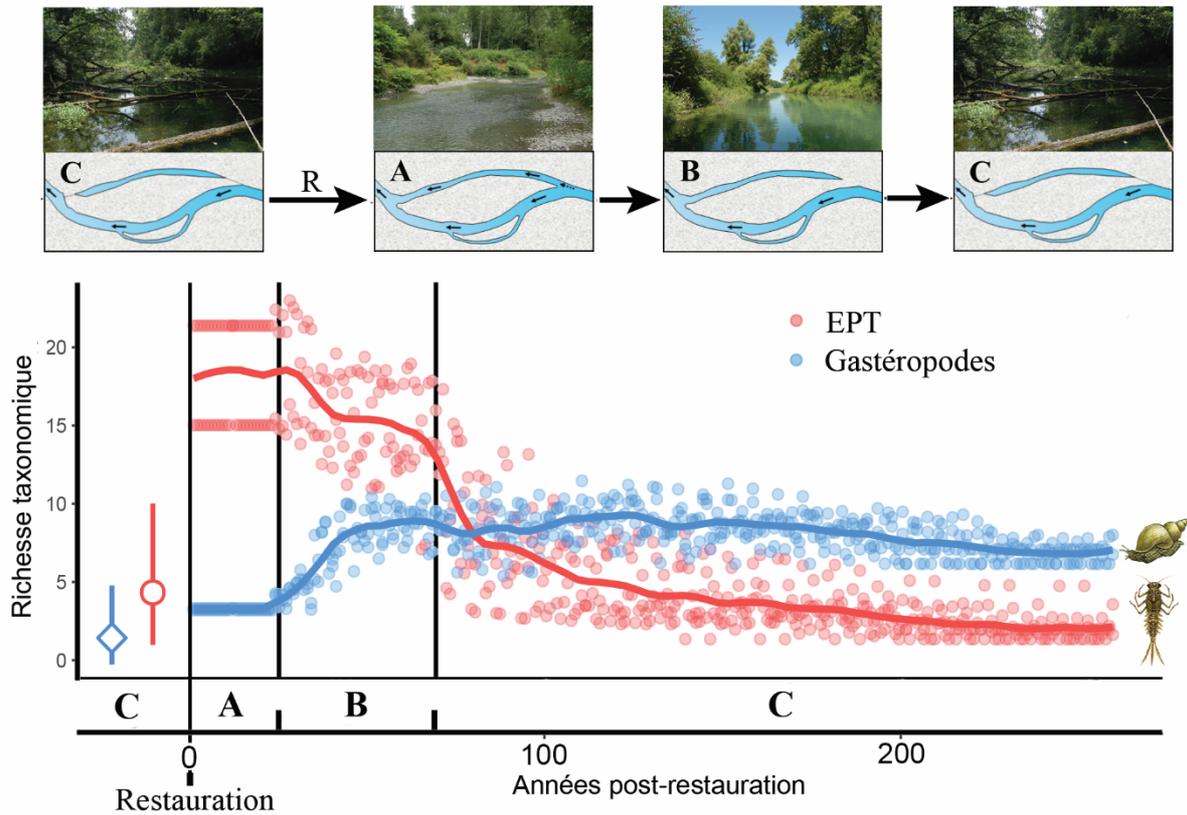


Figure 9.1 - Succession temporelle d'un chenal latéral après sa restauration (« R »). En haut, présentation illustrée de la succession. En bas, évolution temporelle de la richesse en EPT (insectes Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères; en rouge) et en gastéropodes (en bleu) le long de la succession. Description des différents stades : A=chenal lotique connecté à l'amont et à l'aval, B=chenal semi-lotique connecté seulement à l'aval et C=chenal lentique isolé du chenal principal en débit bas. Dans le graphique, les moyennes des richesses ainsi que les écarts min/max des richesses observées avant reconnexion ont été ajoutés pour comparaison. Chaque point sur le graphique représente une valeur de richesse calculée à partir du jeu de données prédit rassemblant les occurrences de 58 taxons (37 EPT et 21 gastéropodes). Crédits photo : LEBA – UNIGE.

Dans deux scénarios de reconnexion partielle de bras secondaires avec le fleuve (non présentés ici), nos simulations ont permis de quantifier l'effet de la variation des durées de connexions par l'aval sur la diversité biologique des deux groupes susmentionnés. Cette fois la réaction est semblable pour les deux groupes étudiés. Une augmentation des durées de connexion par l'aval de 0 à 25 jours/an provoque une augmentation nette des deux richesses biologiques (de 5 à 10 pour les Gastéropodes et de 0 à 7 pour les EPT). Au-delà de 25 jours/an de connexion par l'aval les deux richesses atteignent un quasi-plateau.

Ces résultats complètent les connaissances sur les préférences d'habitats des macroinvertébrés benthiques vivant dans les bras secondaires. Ces analyses soulignent l'importance des connexions par l'aval (sans contraintes hydrauliques) qui doivent être maintenues pendant au moins 25 jours par an pour entretenir un bon niveau de diversité biologique dans les bras secondaires.

Par ailleurs, l'effet des connexions aval n'est peut-être pas uniquement lié à leur durée mais dépend probablement de la date à laquelle elles interviennent. Le fait que l'influence relative des connexions par l'aval soit plus marquée sur les gastéropodes (Figure 9.2) laisse penser que les connexions de printemps semblent plus liées à la phénologie de ce groupe. En effet, l'apport de nutriments par ce type de connexion (potentiellement en adéquation avec une augmentation des températures) favoriserait la croissance du biofilm (ressource trophique) et des macrophytes (support de ponte) et donc le développement des gastéropodes dans les bras secondaires. En ce qui concerne la température, aucune relation n'a pu actuellement être mise en évidence entre les connexions par l'aval et la définition d'un minimum thermique pour garantir un effet sur les communautés biologiques.

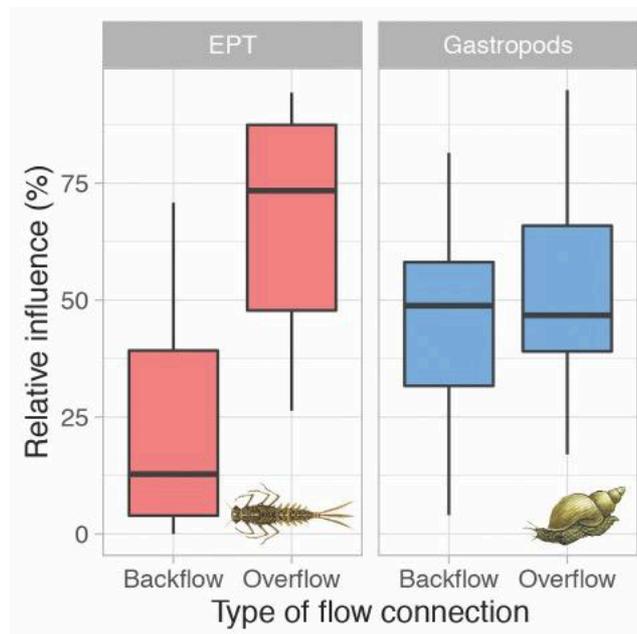


Figure 9.2 - Influence relative des connexions amont (overflow) et aval (backflow) comme prédicteurs de l'occurrence de 37 taxons d'Ephemeroptères, Plécoptères et Trichoptères et de 21 taxons de Gastéropodes.

Compte tenu de leur durée de vie majoritairement annuelle et de leur sédentarité, les macroinvertébrés constituent un modèle biologique adapté pour la mise en évidence de changements à moyen terme dans les communautés biologiques. Au contraire, les poissons ne sont pas liés à un seul habitat. Leur cycle de vie leur impose des déplacements passifs ou/et actifs entre le chenal principal et la plaine alluviale. Ils sont aussi de réels intégrateurs de la connectivité écologique et de la fonctionnalité des milieux alluviaux. Une étude des régimes alimentaires des juvéniles de poissons en lien avec la production de ressources trophiques dans ces milieux alluviaux peut permettre de donner une interprétation plus directe du rôle des connexions par l'aval mais aussi de mettre en évidence des aspects trophiques et fonctionnels qui peuvent être absents dans les études de communautés benthiques.

9.3 Les jeunes stades piscicoles, des descripteurs potentiels de la fonctionnalité des milieux alluviaux

Des travaux précurseurs menés sur la plaine alluviale ont déjà mis en évidence le caractère particulièrement productif des habitats alluviaux sur le Haut-Rhône (Carrel, 1986; Carrel & Juget, 1987). Ces études ont notamment montré une succession temporelle et saisonnière des peuplements d'alevins dans la zone alluviale et des dissemblances interannuelles dans l'abondance et la structure (âge/taille/espèces) des peuplements. Lors des quinze dernières années, le programme RhonEco (2003-2020) a permis de suivre annuellement les peuplements piscicoles de ces milieux alluviaux. Les poissons caractéristiques des écosystèmes potamiques constituent encore pratiquement la majorité des espèces présentes dans ces milieux, ajoutés à quelques espèces invasives. Selon les résultats du suivi écologique, Olivier *et al.* (2014) confirment le rôle trophique majeur du séjour dans les nurseries (bras secondaires déconnectés à l'amont) pour le développement des jeunes poissons. Il demeure cependant difficile de tirer des conclusions sur ce qui détermine la capacité d'accueil des juvéniles de poissons dans ces milieux.

Actuellement, la quasi-totalité des outils mis en place dans le programme RhonEco s'intéresse à la structure des communautés, les questions fonctionnelles étant abordées seulement de manière indirecte par les traits écologiques et biologiques des espèces. Face au déclin piscicole généralisé, il est maintenant nécessaire d'aborder l'étude des communautés sous un aspect fonctionnel, en particulier trophique, en s'intéressant directement aux besoins des stades juvéniles en termes de ressources énergétiques. L'objectif de notre étude était de caractériser la réponse trophique de certaines espèces piscicoles au stade juvénile (i) en fonction de la disponibilité des ressources et (ii) face à différentes conditions hydrologiques dans les nurseries.

Dans ce contexte, des analyses isotopiques constituent des outils qui rendent compte directement du fonctionnement trophique de ces systèmes péri-fluviaux. A titre d'exemple, la Figure 9.3 montre un changement de régime alimentaire pour l'ablette (planctonophage) et le chevesne (polyphage). En effet, même si l'ablette (ABL) et le chevesne (CHE) semblent faire les mêmes choix alimentaires dans la lône Molottes, avec le zooplancton en juillet/août puis le seston en octobre, cette tendance n'est pas retrouvée à l'aval de la lône Ponton où le biofilm semble avoir une part plus importante dans les régimes alimentaires des deux espèces. Parallèlement, le calcul d'indices de sélectivité a montré que, parmi les 4 ressources étudiées (phyto et zooplancton, biofilm, matière organique particulaire), le zooplancton est choisi en

priorité par les juvéniles. Selon la littérature, la préférence pour le zooplancton est expliquée par le fait qu'il est énergétiquement plus riche que d'autres ressources. Dès que la satiété apparaît ou que le temps de recherche, de capture et de consommation du zooplancton devient prohibitif, le juvénile (ici prédateur) dérive vers une autre source d'alimentation. Cette dérive s'effectue lorsque les densités de zooplancton dans le milieu sont inférieures à 100 individus par litre. Ce seuil peut permettre d'évaluer le potentiel trophique de la nurserie.

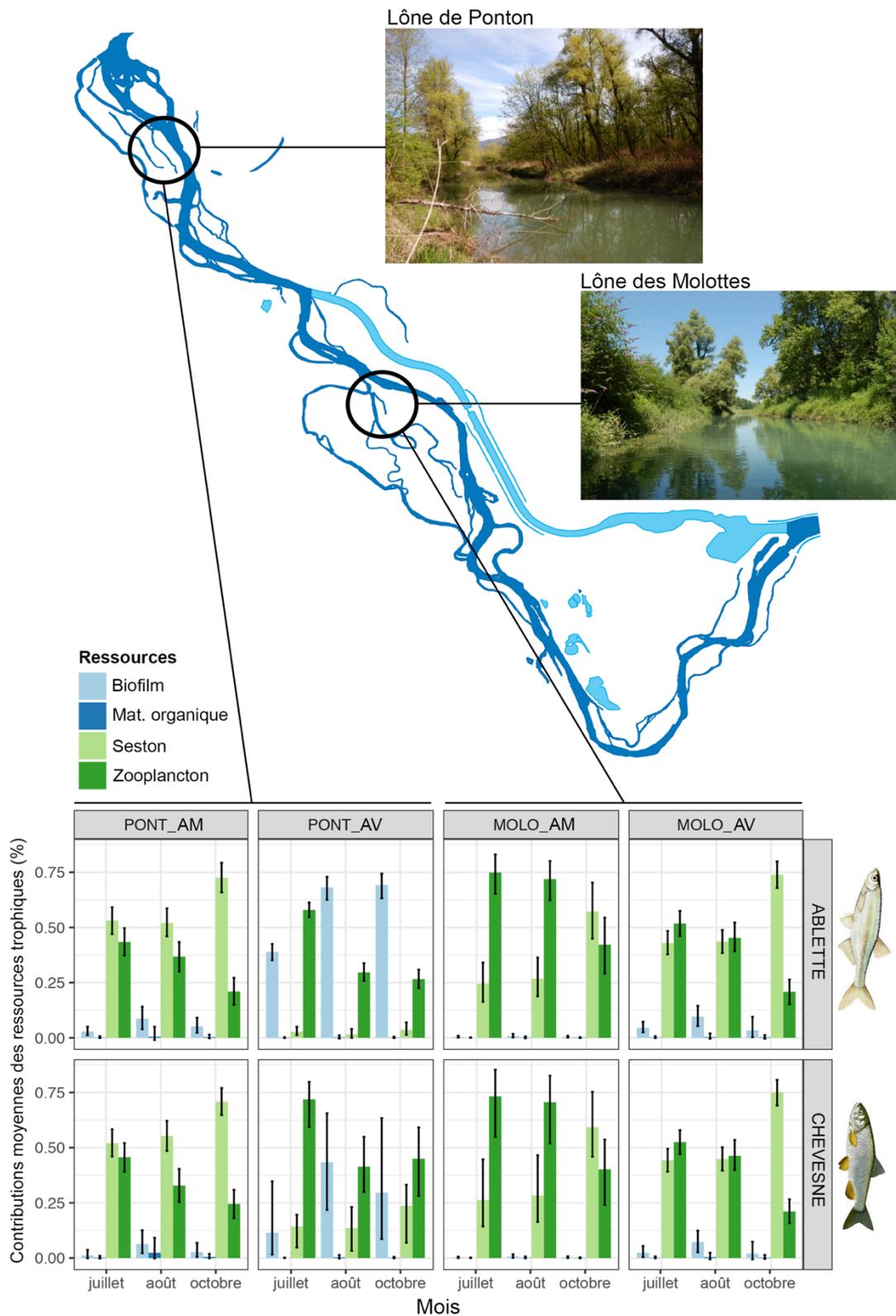


Figure 9.3 - Contributions moyennes des ressources trophiques dans les régimes alimentaires de deux espèces de juvéniles de poissons dans chacune des stations PONT (Ponton amont et aval) et MOLO (Molottes amont et aval) au cours des 3 campagnes d'échantillonnages de 2018. Les deux stations sont situées dans le secteur de Brégnier-Cordon et présentent un fonctionnement hydrologique général semblable (fréquence de connexion par l'amont avec le chenal principal faible et connexion permanente à l'aval).

Les changements de régimes alimentaires sont dus à la dynamique saisonnière (i.e. par adaptation à la disponibilité des ressources) mais aussi aux différences de fonctionnement trophique des nurseries y compris dans la mesure où l'influence du gradient latéral a été minimisée (i.e. importante variabilité trophique des nurseries pour un même niveau de connexion). Une production zooplanctonique suffisante (>100 individus par litre) a été observée lors d'une période longue (> 3 semaines ; Figure 9.4) de conditions hydrologiques stables et pour des températures de l'eau supérieure à 14°C. Une période de plus de 2 mois et demi de stabilité (de début mai à mi-juillet) a permis le développement d'un cycle successional planctonique : bloom de phytoplancton (mi-mai) puis de zooplancton (mi-juillet ; Figure 9.4). Les résultats montrent également un impact négatif des éclusées sur la production planctonique (et donc sur la disponibilité des ressources pour les juvéniles ; Figure 9.4). Les questions sur l'influence de la thermie (approvisionnement phréatique), les variations du niveau d'eau en aval d'ouvrages, l'ouverture sur le chenal, la déconnexion progressive par sédimentation des nurseries sont sans doute des pistes à privilégier. De plus, la tendance à l'homogénéisation des habitats alluviaux restaurés, par un comblement progressif par les matières fines, peut contribuer à modifier l'accessibilité des zones de reproduction et d'alimentation pour les poissons.

En complément à cette étude, une analyse des liens entre conditions environnementales, disponibilité des ressources et croissance (voire survie) des juvéniles dans un contexte d'altération hydrologique croissante (gradient d'altération ou de variabilité hydrologique) serait nécessaire pour mettre en évidence l'influence du régime hydrologique sur le développement des juvéniles. Nous encourageons également l'exploration de relations entre périodes de ponte, connexions hydrologiques et production planctonique dans les nurseries. Pour aller encore plus loin, le recours à d'autres types d'approches concernant l'origine de la matière organique peut se révéler important pour développer des indicateurs d'un état fonctionnel. Ces perspectives écologiques visent à poursuivre le travail entrepris afin de comprendre comment les mesures de gestions et de restauration doivent être conduites afin d'améliorer et de maintenir la fonctionnalité d'une nurserie piscicole.

En résumé, ces travaux apportent des éclairages nouveaux sur :

- La diversité macrobenthique
 - la diversité des invertébrés benthiques est conditionnée par l'élévation des bouchons alluviaux
 - la reconnexion complète amène à une augmentation directe de la richesse taxonomique (x 2.5 en moyenne) dans le bras secondaire restauré.

- une connexion par l'aval au printemps d'une durée d'au moins 25 jours par an pour les chenaux isolés doit être privilégiée.
- La productivité biologique piscicole dans les chenaux connectés à l'aval
 - les cycles planctoniques saisonniers constituent le principal facteur de productivité biologique dans les nurseries piscicoles
 - la productivité planctonique, dans les nurseries, s'installe lors de conditions thermiques ($> 14^{\circ}\text{C}$) et hydrologiques (faibles variations de hauteur d'eau) particulières entre mai et fin juillet.
- La capacité trophique des nurseries
 - l'alimentation des juvéniles devient majoritairement centrée sur le zooplancton (ressource préférée car la plus énergétique) lorsque les densités dépassent plus de 100 individus par litre dans la nurserie.

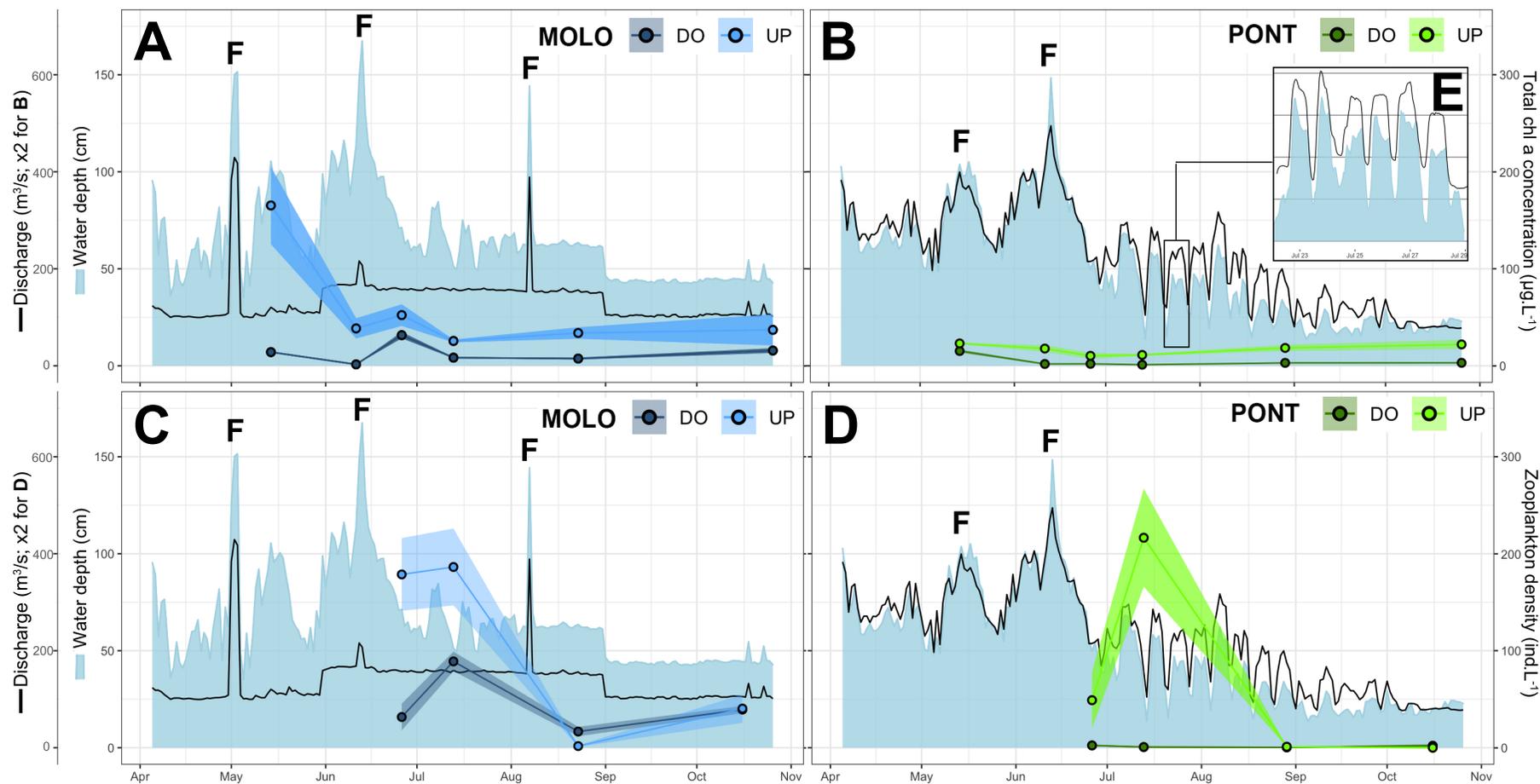


Figure 9.4 - Hauteur d'eau (cm ; zones bleues en arrière-plan) dans deux nurseries piscicoles, débit dans le canal principal ($m^3 s^{-1}$; ligne noire) et développement temporel du plancton (points colorés). Le phytoplancton est exprimé en concentration totale de chl a ($\mu g L^{-1}$; A-B) et la densité du zooplancton est exprimée en nombre d'individus par litre ($ind. L^{-1}$; C-D) de mai à octobre 2018 sur les sites des nurseries MOLO UP et DO (A-C) et PONT UP et DO (B-D). La figure E donne un exemple de fluctuations journalières du niveau d'eau enregistrées dans la nurserie PONT (du 22 au 29 juillet), causées par les éclusées du barrage. Les points colorés se réfèrent à la moyenne et la zone pointillée colorée associée à l'erreur standard de la moyenne. F: périodes d'entrée d'eau du Rhône pendant les événements de haut débit.

10 Conclusion générale

Le programme RhônEco est un des programmes de l'Observatoire Homme-Milieu (OHM) Vallée du Rhône (<https://ohm-vr.org/recherches.php>) qui est un programme de recherche interdisciplinaire qui s'articule autour des questionnements scientifiques dédiés à la compréhension de l'évolution contemporaine et la gestion durable de l'hydrosystème rhodanien. Il est intégré au « site Rhône » de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR)

Le suivi du Rhône réalisé dans le cadre du programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône a débuté en 1995 sur le site de Pierre-Bénite. Il s'est ensuite poursuivi, d'abord sur les sites de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon dans le cadre de la restauration écologique du Haut-Rhône, et a été rapidement étendu aux autres secteurs candidats à la restauration en aval de Lyon. La méthodologie d'acquisition de données a été standardisée dès le début du suivi et la base de données contient aujourd'hui un jeu de données d'une grande valeur scientifique en regard du linéaire de fleuve couvert (dans ses dimensions longitudinale et latérale) et de la durée prise en compte. La recherche méthodologique qui a été mis en œuvre, centrée sur le développement d'une approche prédictive, a permis une évaluation des changements consécutifs à la restauration des débits et des annexes fluviales, ces travaux ont été publiés en 2015 dans un numéro spécial de la revue *Freshwater Biology*. Ce retour d'expérience par rapport à la restauration écologique des grands fleuves est relativement original à l'échelle internationale.

Les premiers retours d'expérience ont montré que les effets des procédures de restauration mises en œuvre étaient d'autant plus marqués que l'amplitude des changements physiques induits par la réhabilitation des habitats était importantes et que notre capacité à les détecter dépendait en partie de l'effort d'échantillonnage mis en œuvre et notamment au cours de la période pré-restauration (Vaudor *et al.*, 2015). Les données collectées sur le site de Pierre-Bénite et sur les sites du Haut-Rhône apportent des enseignements précis sur les effets de la restauration, mettant en évidence des évolutions différentes en fonction de secteurs considérés et des types de bras restaurés. Les résultats obtenus mettent également en évidence l'intérêt des suivis à moyen long-termes pour détecter les modifications d'évolution physique des milieux (suivi hydro-morphologique des bras restaurés) et montrer l'hétérogénéité au sein des types de bras suivis, ainsi que les grands traits de l'évolution des structures de communautés aquatiques associées (Castella *et al.*, 2015).

Si les modalités d'évolution de la topographie des bras restaurés et des processus sédimentaires associés ont été très bien appréhendées à l'aide des données du suivi hydro-morpho-sédimentaire dans le cas des annexes reconnectées par l'aval (parapotamons), l'évolution physique des bras secondaires (connectés par l'amont et par l'aval) est beaucoup moins bien caractérisée. Ces lacunes dans la connaissance concernant des processus d'érosion-dépôt de sédiments grossiers seront en partie comblées dans le cadre des travaux de thèse de N. Tissot (UMR CNRS 5600). La méthodologie déployée dans le cadre de ces travaux, basée sur l'analyse des déplacements de sédiments équipés de « traceurs » en lien avec l'hydrologie devrait apporter des réponses intéressantes aussi bien dans les sites restaurés depuis une quinzaine d'année (Haut-Rhône) que pour des sites restaurés très récemment (Rhône moyen et Bas-Rhône) et dans lesquels des réinjections de sédiments ont également été pratiquées. Ces connaissances sur l'évolution hydrologique, morphologique et sédimentaire des bras constituent un socle important pour décrire et analyser l'évolution des habitats dans ces bras.

L'approche d'évaluation des effets des procédures de restauration sur les communautés aquatiques a d'abord été centrée sur les relations entre les caractéristiques de l'habitat physique (contraintes hydrauliques dans les vieux-Rhône et connectivité hydrologique dans les lônes) et les préférences écologiques des espèces aquatiques avec le développement de modèles d'habitats dédiés à la problématique de la restauration physique des habitats du fleuve. Une ré-analyse de la pertinence des modèles d'habitats en mobilisant les jeux de données acquis dans le cadre de RhônEco et d'autres programmes de recherche a pu être réalisée dans le cadre des travaux de Plichard *et al.* (2020) et Forcellini *et al.* (2020). Ces actualisations des modèles d'habitats constituent un progrès important pour mieux comprendre les évolutions des structures de communautés piscicoles et de macroinvertébrés dans les Vieux-Rhône où le débit réservé a été modifié. De même, les travaux récents réalisés dans le cadre de la thèse de Pierre Marle (Marle, 2021) montrent l'intérêt de développer des méthodes de modélisation qui s'appuient sur des données quantitatives pour caractériser l'influence des connexions hydrologiques à l'amont et à l'aval des bras restaurés sur les peuplements de macroinvertébrés des annexes fluviales. Ces avancées scientifiques constituent des atouts majeurs pour mieux interpréter les évolutions biologiques consécutives aux actions de restauration écologiques mais également pour aider à définir des objectifs écologiques pour de futurs projets de restauration.

La thèse d'A. Bouloy, débutée à l'automne 2020, a pour objectif d'analyser la réponse des communautés aquatiques (poissons et macroinvertébrés) aux actions de restauration à l'échelle des plaines alluviales, tous types de chenaux et de lônes confondus.

Dans les annexes fluviales de type parapotamon, peu soumises en dehors des épisodes de crues, à des contraintes hydrauliques fortes très impliquées dans la structuration des communautés des chenaux courants, le rôle des contraintes liées aux paramètres physiques (éclairage, transparence de l'eau, température, nature du sédiment, renouvellement de l'eau) et chimiques (teneurs en nutriments, teneur en oxygène dissous, types d'apports en matière organique) et des interactions biotiques (prédation, compétition) devient prépondérant dans la sélection et la persistance des espèces végétales et animales. Il devient alors nécessaire de bien caractériser les processus écologiques qui se déroulent dans ces milieux et d'aborder leur analyse écologique en étudiant comment se structurent les transferts de matière et d'énergie et se construisent les réseaux trophiques. Les premiers résultats obtenus dans le cadre de la thèse de P. Marle (voir chapitre 9) nous encouragent à poursuivre ces travaux.

L'ensemble de résultats acquis permet de tirer des enseignements opérationnels, *via* l'analyse des données et le développement de modèles, particulièrement utiles pour définir de futures orientations de restauration écologique. Enfin les résultats confirment que la mesure des effets de la restauration du Rhône, telle qu'elle a été conçue, doit être réalisée à plusieurs échelles spatiales et temporelles et intégrer les nouvelles procédures mises en œuvre comme le démantèlement des marges alluviales et la réinjection de sédiments.

Ainsi, les milieux réhabilités par les travaux de restauration menés dans les secteurs de Péage-de-Roussillon, de Baix-le-logis-Neuf et de Donzère, historiquement fortement impactés par les aménagements Girardon du 19^{ème} siècle, présentent-ils des caractéristiques physiques sensiblement différentes de celles des annexes réhabilitées sur le Haut-Rhône. Cette diversité de cas de figures démontre que les objectifs de restauration écologique ont évolué au cours des 20 dernières années en fonction des contextes géographiques et historiques, des progrès scientifiques et de l'élaboration d'une stratégie pour l'atteinte du bon potentiel dans les masses d'eau fortement modifiées du Rhône (en particulier les Vieux-Rhône) (Sivade *et al.*, 2018).

11 Bibliographie

- Amoros C., Richardot-Coulet M, & Pautou G. 1982. Les « ensembles fonctionnels » : des entités écologiques qui traduisent l'évolution de l'hydrosystème en intégrant la géomorphologie et l'anthropisation (exemple du Haut-Rhône français). *Revue de Géographie de Lyon*. 57 : 49-62.
- André S. & Olivier J.M. (2003). Mise en place du suivi scientifique du programme de restauration hydraulique et écologique du fleuve Rhône. Convention de prestation d'étude n° 2002.69.174 DIREN/EZUS. Rapport à la Diren Délégation de Bassin RM & C.
- Armitage P. D., Pardo I. & Brown A. (1995). Temporal Constancy of Faunal Assemblages in Mesohabitats - Application to Management. *Archiv Fur Hydrobiologie*, **133(3)**, 367-387.
- Arnaud F., Piégay H., Vaudor L., Bultingaire L., Fantino G. (2015). Technical specifications of low-frequency identification bedload tracking from field experiments: Differences in antennas, tags and operators. *Geomorphology*, Vol. 238, 37-46.
- Arnaud F., Sehen Chanu L., Grillot J., Riquier J., Piégay H., Roux-Michollet D., Carrel G., Olivier J.-M. (accepted). Historical cartographic and topo-bathymetric database on the French Rhône River (17th–20th centuries), Earth System Science Data. [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2020-274>.
- Balon E.K. (1975). Reproductive Guilds of Fishes: A Proposal and Definition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. **32**, 821-864.
- Bournaud M., & Cogerino L. (1986). Les microhabitats aquatiques des rives d'un grand cours d'eau : approche faunistique. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, **22(03)**, 285-294. doi: doi:10.1051/limn/1986026.
- Buscombe D. (2013). Transferable wavelet method for grain-size distribution from images of sediment surfaces and thin sections, and other natural granular patterns. *Sedimentology*, 60, 1709-1732.
- Buscombe D., Rubin D. M., Warrick A. (2010). A universal approximation of grain size from omages of noncohesive sediment. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, 17 p.
- Castella E., Béguin O., Besacier Monbertrand A.L., Hug Peter D., Lamouroux N., Mayor Siméant H., McCrae D., Olivier J.M. & Paillex A. 2015. Realised and predicted changes in the invertebrate benthos after restoration of connectivity to the floodplain of a large river. *Freshwater Biology*. 60 : 1131-1146.
- Chardon V., Schmitt L., Piégay H., Lague D. (2020). Use of terrestrial photosieving and airborne topographic LiDAR to assess bed grain size in large rivers: a study on the Rhine River. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 45, 2314-2330

- Chapuis M., Bright C., Hufnagel J., MacVicar B. (2014). Detection ranges and uncertainty of passive Radio Frequency Identification (RFID) transponders for sediment tracking in gravel rivers and coastal environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 39, 2109-2120.
- Cogérino L., 1989. Les rives aquatiques des grands cours d'eau : caractérisation mésologique et faunistique. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon 1, 329 p.
- Cogerino L., Cellot B., & Bournaud M. (1995). Microhabitat Diversity and Associated Macroinvertebrates in Aquatic Banks of a Large European River. *Hydrobiologia*, **304(2)**, 103-115.
- Dewson, Z. S., James, A. B. W., & Death, R. G. (2007). A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, **26(3)**, 401-415.
- Dray S. & Dufour A.B. (2007) The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, **22**, 1-20.
- Forcellini M., Plichard L., Merigoux S., Doledec S., Olivier. J.-M., Cauvy-Fraunié S. & Lamouroux N. (2020) Microhabitat selection by macroinvertebrates: synthesis, generality among rivers and functional interpretation. *Journal of Ecohydraulics*, <https://doi.org/10.1080/24705357.2020.1858724> [Accepted]
- Graham D.J., Reid I., Rice S.P. (2005). Automated sizing of coarse-grained sediments: image-processing procedures. *Mathematical geology*, Vol. 37, 1-27.
- Graham D.J., Rollet A.-J., Piégay H., Rice S.P. (2010). Maximizing the accuracy of image-based surface sediment sampling techniques. *Water Resources Research*, Vol. 46, 1-15.
- Lamouroux N., Olivier J.-M., Persat H., Pouilly M., Souchon Y. & Statzner B. (1999) Predicting community characteristics from habitat conditions: fluvial fish and hydraulics. *Freshwater Biology*, **42**, 275–299.
- Lamouroux N. & Capra H. (2002) simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Freshwater Biology*, **47**, 1543–1556.
- Lamouroux N., Olivier J.M., Capra H., Zylberblat M., Chandesris A. & Roger P. (2006) Fish community changes after minimum flow increase: testing quantitative predictions in the Rhône River at Pierre-Bénite, France. *Freshwater Biology*, **51**, 1730-1743.
- Lamouroux N. & Olivier J.-M. (2015) Testing predictions of changes in fish abundance and community structure after flow restoration in four reaches of a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*, **60**, 1118-1130.

- Lamouroux N., Gore J.A., Lepori F. & Statzner B. (Eds). 2015. Towards a predictive restoration ecology: a case study of the French Rhône River. Special Issue. *Freshwater Biology*. **60(6)**, 1069-1236.
- Marle P. 2021. Lateral Connectivity In Large River Floodplains: From Invertebrate Community Prediction To Local Foodweb Transfers. Thèse de Doctorat. Université de Genève. A paraître.
- Marle P, Riquier J., Timoner P., Mayor H., Slaveykova V. & Castella E. 2021. The interplay of flow processes shapes aquatic invertebrate successions in floodplain channels - A modelling applied to restoration scenarios. *Science of the Total Environment*. 750. 142081.
- Mérigoux S., Forcellini M., Dessaix J., Fruget J.-F., Lamouroux N., & Statzner B. (2015) Testing predictions of changes in benthic invertebrate abundance and community structure after flow restoration in a large river (French Rhône). *Freshwater Biology*, **60 (6)**, 1104-1117. <https://doi.org/10.1111/fwb.12422>
- Nelva, A., H. Persat, Chessel D. (1979). Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. *Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences. Paris, D* 289 :1295-1298.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H.H., Szoecs E. & Wagner H. 2017. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Olivier J.M. (2005) Suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône. RCC de Chautagne (2004). Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR/ EZUS / Université Lyon 1
- Olivier J.-M., André S., Dolédec S., Lamouroux N., Mérigoux S. (2004a). Suivi scientifique du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, Vieux-Rhône et îlons de Chautagne, caractérisation de l'état initial, juin 2004. Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR/ EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier J.M., Bornette G., Castella E., Dolédec S., Lamouroux N., Massé C., Mérigoux S, Piégay H. (2004b). Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du Rhône. Vieux Rhône et îlons de Belley. Caractérisation de l'état initial. Années 2003-2004. Contrat de prestation n°DPE-F 03-0093. CNR / EZUS / Université Lyon 1.
- Olivier, JM., Lamouroux N., Bornette G., Castella E., Mérigoux S., Piégay H. (2007) : analyse fonctionnelle des systèmes restaurés, développement de modèles prédictifs utilisables en restauration fluviale. Suivi scientifique du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, période 2003-2006. Rapport à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée &

Corse, la Compagnie Nationale du Rhône, la Délégation de Bassin Rhône Méditerranée & Corse, la Région Rhône-Alpes.

- Olivier JM., Lamouroux N., Sagnes P., Méricoux S., Piégay H., Bornette G., Castella E., Paillex A., Béguin O., Montbertrand A.L., Carron G., McCrae D. & Terrier A. (2009). Suivi scientifique du programme décennal de restauration écologique et hydraulique du 189 Rhône. Rapport de synthèse 2003-2008, Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon. Contrat de prestation n° DPE-F 03-0093. CNR / EZUS / Université Lyon 1.
- Paillex A., Castella E., zu Ermgassen P. S. E. & Aldridge D. C. (2015) Testing predictions of changes in alien and native macroinvertebrate communities and their interaction after the restoration of a large river floodplain (French Rhone). *Freshwater Biology*, **60(6)**, 1162-1175.
- Papangelakis E., Hassan M.A. (2016). The role of channel morphology on the mobility and dispersion of bed sediment in a small gravel-bed stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 41, 2191-2206.
- Piégay H., Arnaud F., Cassel M., Dépret T., Alber A., Michel K., Rollet A.-J., Vaudor L. (2016). Suivi par RFID de la mobilité des galets : retour sur 10 ans d'expérience en grandes rivières. *BSGLg*, **67**, 77-91.
- Plichard L., Forcellini M., Le Coarer Y., Capra H., Carrel G., Ecochard R. & Lamouroux N. (2020) Predictive models of fish microhabitat selection in multiple sites accounting for abundance overdispersion. *River Research and Applications*, **36(7)**, 1056-1075. <https://doi.org/10.1002/rra.3631>
- Poff N. L. & Zimmerman J. K. H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, **55(1)**, 194-205.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Riquier J., Piégay H. & Sulc Michalkova M. 2015. Hydromorphological conditions in eighteen restored floodplain channels of a large river: linking patterns to processes. *Freshwater Biology*. **60** : 1085-1103.
- Riquier J., Piégay H., Lamouroux N., Vaudor L. (2017). Are restored side channels sustainable aquatic habitat features? Predicting the potential persistence of side channels as aquatic habitats based on their fine sedimentation dynamics. *Geomorphology*, **295**: 507-528.
- Riquier J., Piégay H., Lamouroux N., Vaudor L. (2019). Pertinence et pérennité de la restauration de chenaux latéraux : modèles issus de 15 ans de suivi sur le Rhône. *La Houille Blanche*, p.101-108.

- Sivade E., Lamouroux N., Olivier J.-M., Moiroud C., Roux-Micholet D. (2018) La restauration du fleuve Rhône : du fleuve « vif et courant » à l'optimisation du potentiel écologique 1998-2018. Communication orale à la 3^{ème} Conférence IsRivers 4-8 juin 2018, Lyon.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Poletta P. (2010) *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*, 2nd ed. CNRS editions.
- Van Denderen R.P., Schielen R.M.J., Straatsma M.W., Kleinhans M.G., S.J.M.H. Hulscher. (2019). A characterization of side channel development. *River Research and Applications*, 35, 9, 1597-1603.
- Vaudor L., Lamouroux N., Olivier J.-M. & Forcellini M. (2015) How sampling and population characteristics influence the statistical power to detect changes in abundance after restoration in a large river. *Freshwater Biology*, 60, 1192-1207.
- Vazquez-Tarrio, D., Recking, A., Liébault, F., Tal, M., Menendez-Duarte, R. (2019). Particle transport in gravel-bed rivers: revisiting passive tracer data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44, 112-128.

12 Annexes

Annexe 1

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

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

Peuplement piscicole

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

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

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

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

Peuplement d'invertébrés du chenal

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

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

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

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

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

Les taxons limnophiles sont inféodés à des habitats présentant des contraintes hydrauliques faibles ($FST < 5$ soit une force minimum exercée au fond du cours d'eau inférieure à $1.66 \cdot 10^{-1} \text{ N.m}^{-2}$). 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 :

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

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

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

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

Géomorphologie des lônes

Les deux questions posées dans le programme sont :

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

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

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

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

Végétation aquatique des lônes

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

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

Les critères pris en compte sont :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Peuplement d'invertébrés des lônes

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Peuplement piscicole des lônes

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

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

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

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

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

Annexe 3.5 Cartes des différents secteurs échantillonnés en 2019

Annexe 3.1

Planning des pêches dans les Vieux-Rhône

Vieux Rhone	VR Chautagne	VR Belley	VR Bregnier-Cordon	Canal de Miribel	VR Pierre-Bénite	VR Péage-de-Roussillon	VR Baix Le Logis Neuf	VR Montélimar	VR Donzère
2001					1				
2002					1				
2003	1	1			1				
2004	1	1	1		1				
2005	1	1	1		1				
2006	1	1	1		1			1	
2007	1	1	1	1	1	1		1	
2008	1	1	1	1	1	1		1	1
2009	1	1	1	1	1	1		1	1
2010	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2011	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2012	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2013	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2014	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2015	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2016	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2017	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2018	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2019	1	1	1		1	1	1	1	1
2020	1	1	1		1	1	1	1	1
2021	1	1	1		1	1	1	1	1
2022	1	1	1		1	1	1	1	1
2023	1	1	1		1	1	1	1	1

Planning des pêches dans les lômes

Secteur	Lômes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Chautagne	Lone Malourdie	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Chautagne	Lone Brotalet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Belley	Lone Luisettes		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Belley	Lone Moiroud		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Belley	Lone Beard		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Belley	Lone Fournier		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Belley	Anse de Yenne		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Belley	Lone Chantemerle		1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Brégnier	Lone Vachon			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Brégnier	Lone Granges			1	1	1	1	1	1	1	1										
Brégnier	Lone Cerisiers			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Brégnier	Lone Mattant			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Brégnier	Lone Molottes			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Brégnier	Lone Ponton			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
Pierre-Bénite	Lone Cislende								1		1							1		1	
Pierre-Bénite	Lone Jaricot								1		1							1		1	
Pierre-Bénite	Lone Table Ronde								1		1										
Péage de Roussillon	Lone Platière				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	
Péage de Roussillon	Lone Noyer Nord				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	
Péage de Roussillon	Lone Noyer Sud									1	1	1	1	1	1	1		1		1	
Péage de Roussillon	Lone Ilon				1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	
Péage de Roussillon	Lone Boussarde										1	1	1	1	1	1		1		1	
Péage de Roussillon	Lone Sainte										1	1	1			1					
Baix	Lone de Baix																	1		1	
Montélimar	Lone Roussette						1	1	1		1										
Donzère	Lone Bayard							1	1	1	1										
Donzère	Lone Caderousse							1	1	1	1										
Donzère	Lone Malaubert							1	1	1	1		1	1	1			0		0	
Donzère	Lone Grange écrasée							1	1	1	1		1	1	1			1		1	
Donzère	Lone Dion												1	1	1			0		0	
Donzère	Lone Joncs							1	1	1	1										
Donzère	Lone carré							1	1	1	1										
Donzère	Lone Banc Rouge												1	1				1		1	
Donzère	Lone Désirade												1	1	1			1		1	
Donzère	Lone des Dames																	1		1	

Annexe 3.2

		Haut-Rhône				Bas-Rhône				
		Chautagne	Belley	Brégnier-cordon	Miribel	Pierre-Bénite (1)	Péage-de-Roussillon	Baix	Montélimar	Donzère
1995	Print					juin				
	été					octobre				
1996	Print					juin				
	été					octobre				
1997	Print									
	été	août*								
1998	Print					juin				
	été					octobre				
1999	Print	mai*				juin				
	été	août*				octobre				
2000	Print	mai*								
	été	août*								
2001	Print					juin				
	été					octobre				
2002	Print	juin	mai	juin	mai	juin				
	été	septembre	août	août	septembre	octobre				
2003	Print					juin				
	été					octobre				
2004	Print									
	été									
2005	Print									
	été									
2006	Print	juin								
	été	septembre								
2007	Print									
	été		septembre			octobre	septembre			
2008	Print	mai	mai			juin	mai		mai	
	été	août							août	
2009	Print	avril	avril	avril						avril
	été	août	septembre	septembre						juillet
2010	Print	mai			avril	mai	avril			
	été	octobre			juillet	septembre	juillet			
2011	Print	mai	mai	mai	avril		(mai)	avril	avril	(avril)
	été	août	septembre	août	août		(juillet)	juillet	juillet	(juillet)
2012	Print	mai	(mai)	(mai)		mai	avril	(avril)	(avril)	avril
	été	août	(août)	(août)		octobre	juillet	(juillet)	(juillet)	juillet
2013	Print	mai	mai	mai				(juin)		
	été	août	août	septembre				(septembre)		
2014	Print				avril		avril	avril	avril	mai
	été				août		septembre	septembre	septembre	septembre
2015	Print									
	été									
2016	Print	mai	mai	mai						
	été	août	août	août						
2017	Print				avril		juillet	mai	avril	avril
	été				août		septembre	août	août	août
2018	Print					x				
	été					x				
2019	Print									
	été									
2020	Print						x	x	x	x
	été						x	x	x	x
2021	Print	x	x	x		x				
	été	x	x	x		x				
2022	Print						(x)	x	(x)	(x)
	été						(x)	x	(x)	(x)
2023	Print									
	été									

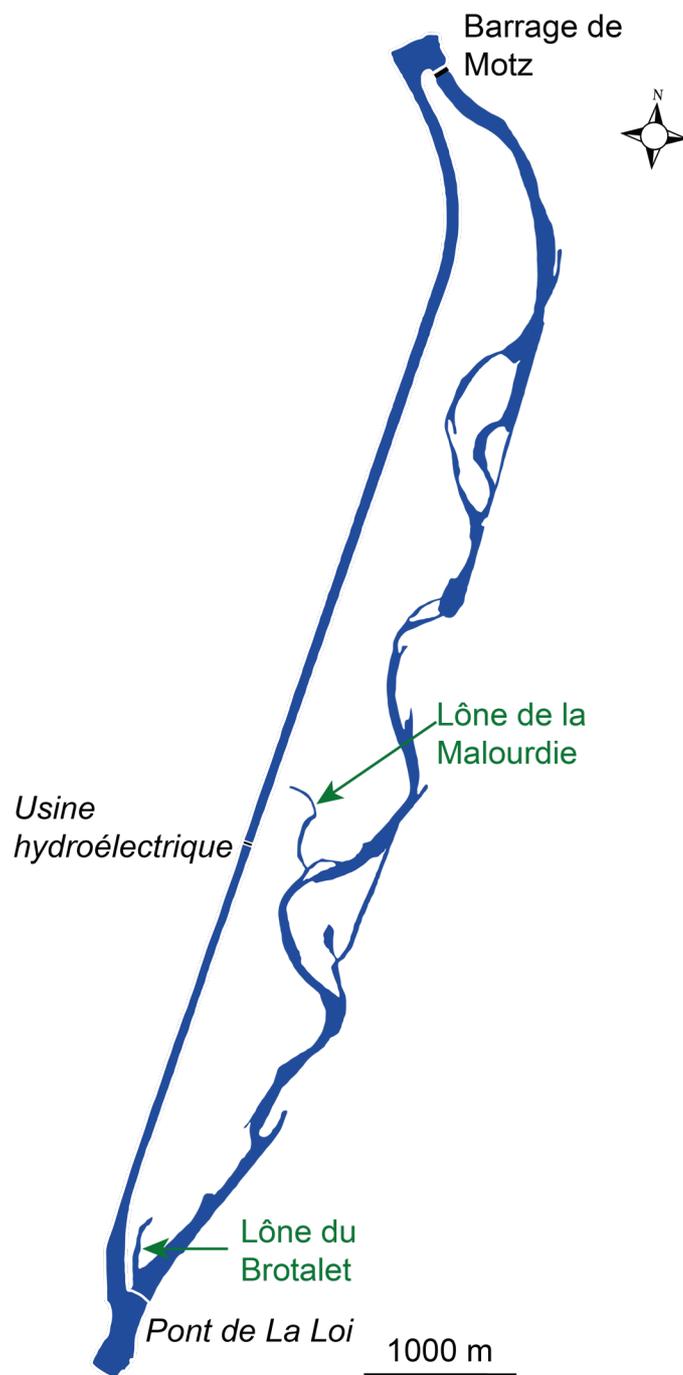
Page suivante : **Annexe 3.3**

	Réalisé													Prévisionnel				
	2003	2004	2005	fév. 2006	oct. 2006	2007	2009	2011	2013/2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Chautagne																		
Malourdie		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Brotalet		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Belley																		
Laisettes		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Moiroud		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Fournier		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Béard		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Lucey		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Anse de Yenne		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Brégnot-Cordet																		
Chantemerle		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Abandon			
Granges		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Vachon		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Censier		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Mattant		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Mollotes		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Ponton		Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T	
Pierre-Bénite																		
Ciselande	Avl T	Avl T				Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T					Avl T
Jaricot	Avl T					Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T			Avl T					Avl T
Table-Ronde	Avl T			Avl T		Avl T	Avl T	Avl T	Avl T	Avl T				Abandon				
Péage-de-Rous																		
Sainte						Avl T		Avl T			Avl T	Avl T	Avl T				Avl T	
Ilon						Avl T		Avl T (2012)	Avl T			Avl T	Avl T				Avl T	
Noyer Nord											Avl T		Avl T				Avl T	
Noyer Sud						Avl T		Avl T	Avl T		Avl T		Avl T				Avl T	
Casier d'Arcoles						Avl T								Abandon				
Platière amont						Avl T		Avl T	Avl T		Avl T		Avl T				Avl T	
Boussarde							Avl T	Avl T	Avl T		Avl T		Avl T				Avl T	
Montélimar																		
Roussettes							Avl T	Avl T	Avl T		Avl T						Avl T	
Donzère-Mondragon (suivi Phase 1)																		
Bayard							Avl T	Avl T	Avl T					Abandon				
Caderousse							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Malaubert							Avl T	Avl T	Avl T		Avl T						Avl T	
Grange écrasée							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Malatras							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Jones							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Carré							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Republique							Avl T	Avl T	Avl T								Avl T	
Donzère-Mondragon (suivi Phase 2)																		
Dames											Avl T						Avl T	
Lascombe											Avl T						Avl T	
Surelle (suivi amont Malaubert phase 1)							Avl T	Avl T	Avl T		Avl T		Avl T				Avl T	
Dion											Avl T		Avl T				Avl T	
Banc Rouge											Avl T		Avl T				Avl T	
Désirade											Avl T		Avl T				Avl T	
Miribel-Jonage																		
Jonage											Avl T		Avl T				Avl T	
Plançon													Avl T				Avl T	
Grella													Avl T				Avl T	

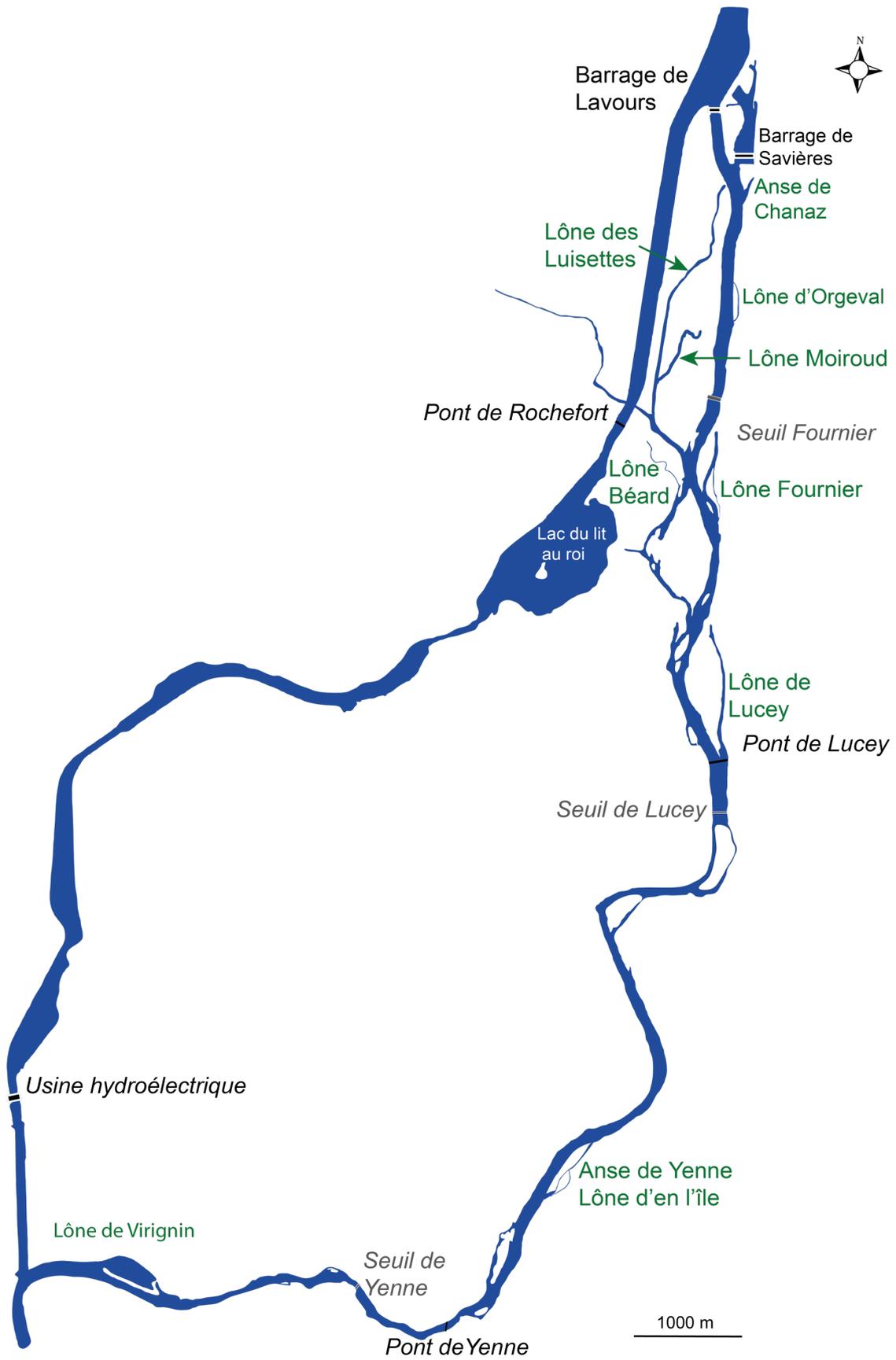
Annexe 3.4

secteur	lone	2003	2003	2004	2004	2005	2005	2006	2006	2007	2007	2008	2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011	2012	2012	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2021	2022	2022	nb de stations étudiées 2019-23		
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E			
Belley	Béard	*	*			*	*			*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	En L'île (Yenne)	*	*			*	*			*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	Fourmier	*	*							*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	Lucey	*	*							*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	Luisettes	*	*							*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	Moiroud	*	*							*	*			*	*			*	*	*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Belley	Chantemerle			*	*					*	*			*	*			*	*	*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Granges				*	*						*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Mattant		*	*								*	*			*	*			*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Brégnier	Molottes				*	*						*	*			*	*			*	*	*	*			*	*	*	*							*	*			*	*			1
Brégnier	Ponton				*	*						*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Vachon		*	*								*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Creux de Bleu	*	*									*	*			*	*			*	*	*	*			*	*	*	*						*	*			*	*			1	
Brégnier	Plaine				*	*						*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Tonkin						*	*				*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Brégnier	Vieille Lône				*	*	*					*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1	
Péage	Boussarde										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			3		
Péage	Ilon										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			2		
Péage	Noyé Nord										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1		
Péage	Noyé Sud										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1		
Péage	La Platière										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			3		
Péage	Lône des Saintes										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			1		
Baix	Lone de Baix																																	*	*			*	*			2 à 3		
Montélimar	Roussette										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			2		
Donzère	Banc Rouge																							*	*	*	*	*	*					*	*			*	*			2		
Donzère	Dames																							*	*	*	*	*	*					*	*			*	*			2		
Donzère	Désirade																							*	*	*	*	*	*					*	*			*	*			2		
Donzère	Dion																							*	*	*	*	*	*					*	*			*	*			2		
Donzère	Grange Ecrasée										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*							*	*			*	*			3		
Donzère	Lascombe																						*	*	*	*	*	*					*	*			*	*			1 à 2			
Donzère	Surelle - Malaubert										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*						*	*			*	*			3			
Donzère	Bayard										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*						*	*			*	*			1			
Donzère	Caderousse										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*						*	*			*	*			1			
Donzère	République										*	*			*	*			*	*	*	*		*	*	*	*						*	*			*	*			2			

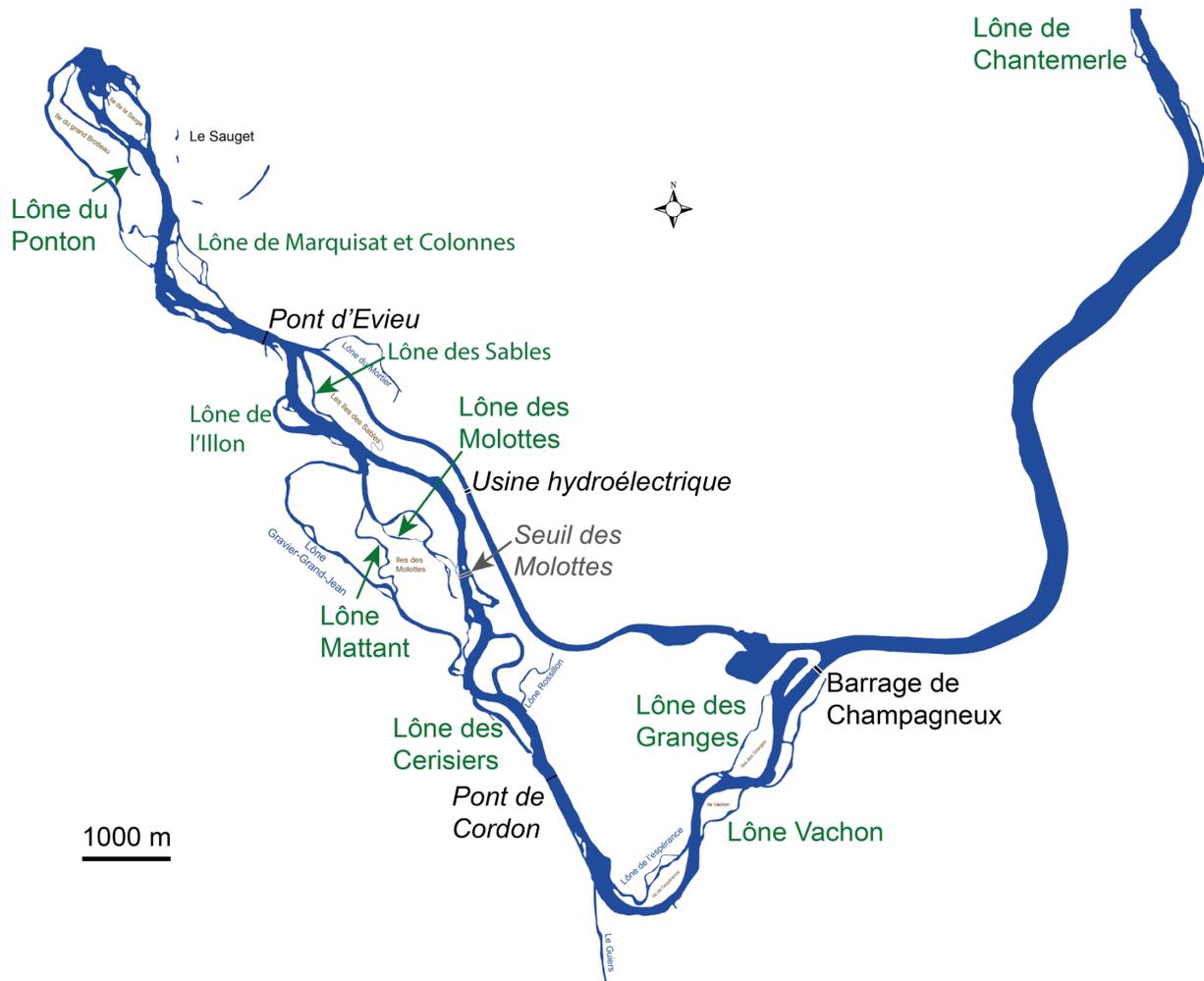
Annexe 3.5



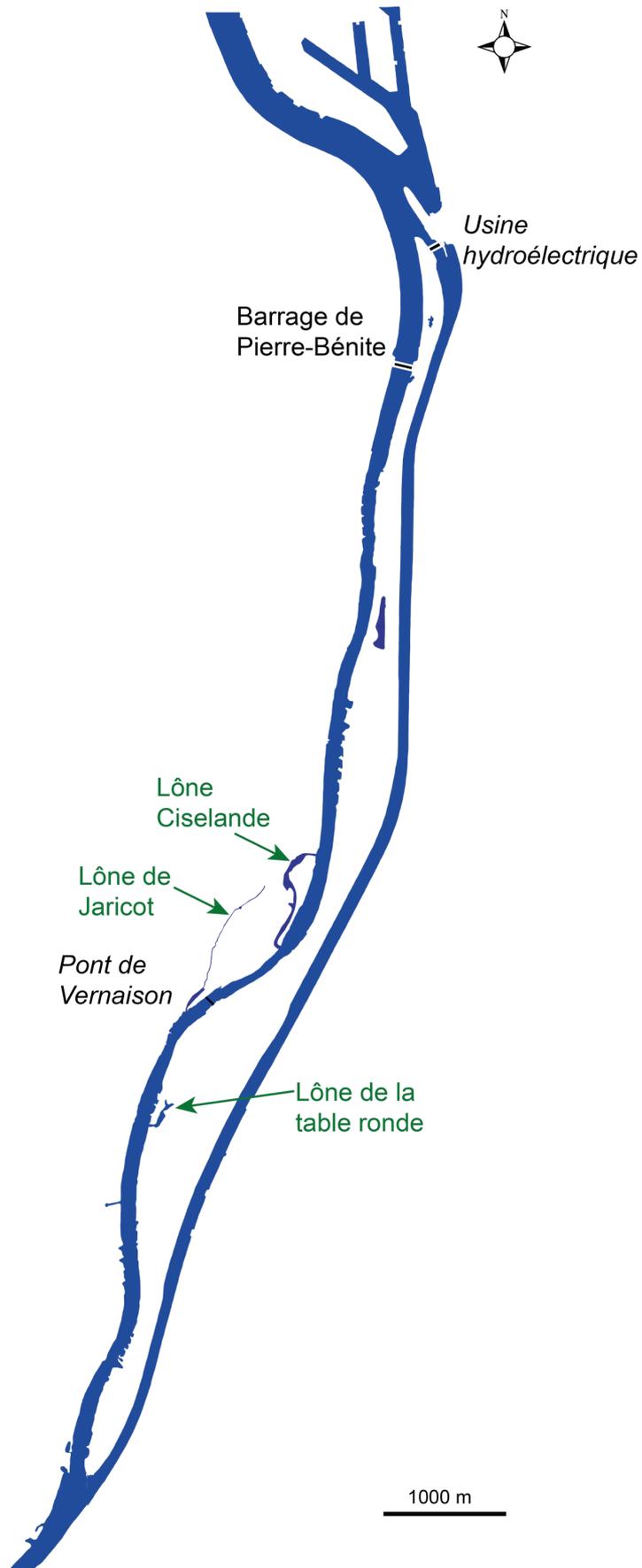
Carte du secteur de Chautagne



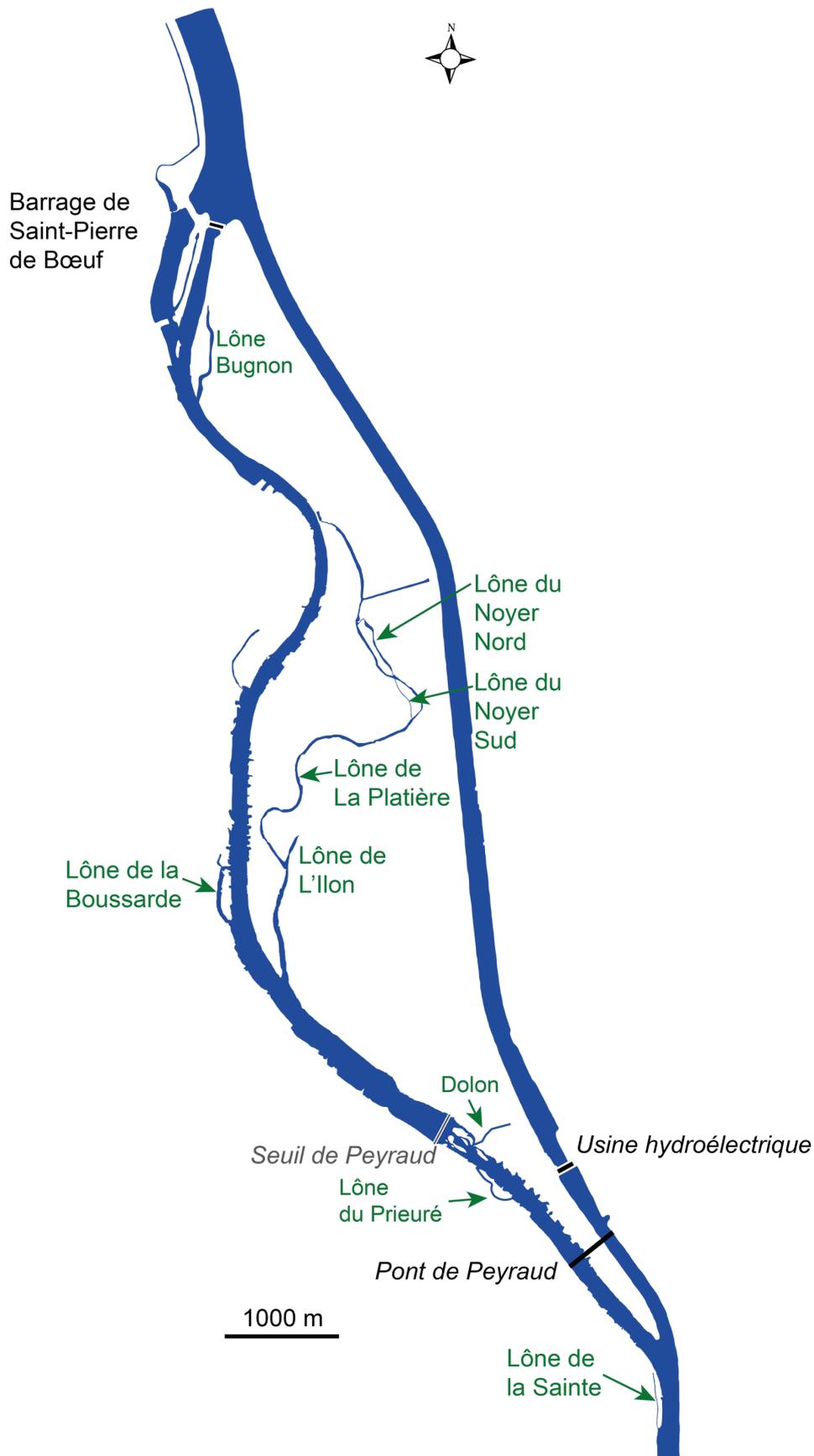
Carte du secteur de Belley



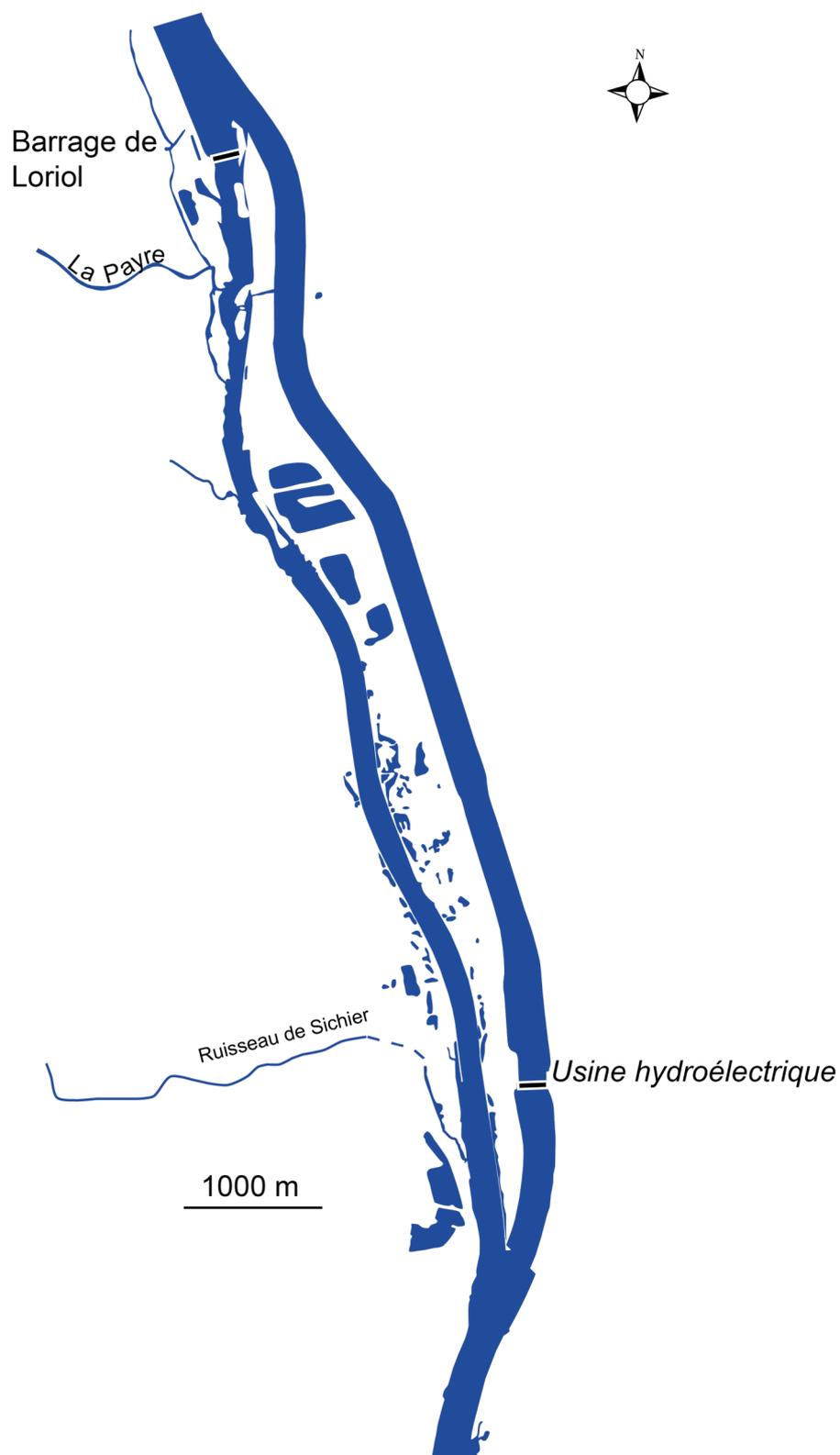
Carte du secteur de Brégnier-Cordon



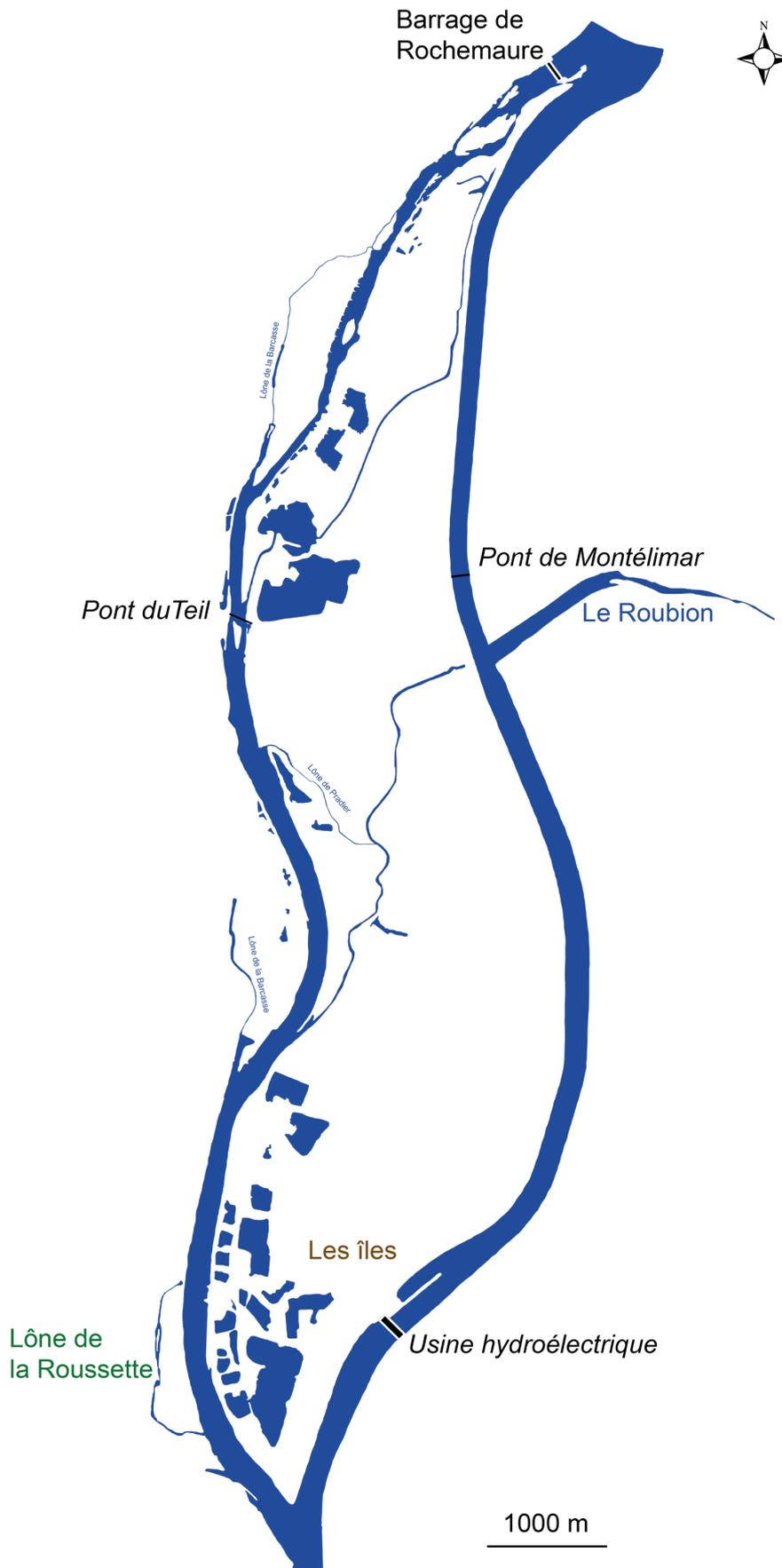
Carte du secteur de Pierre-Bénite



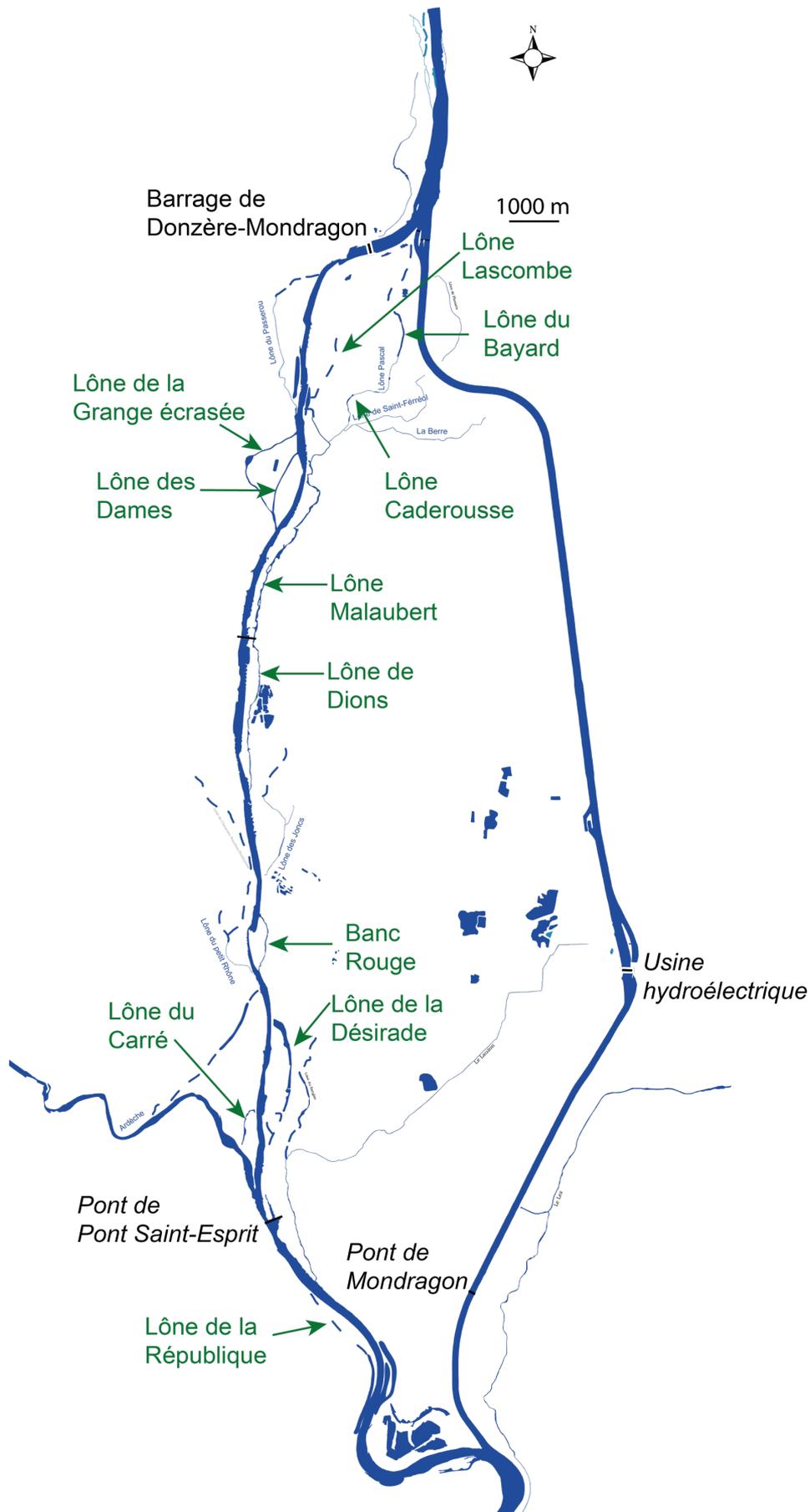
Carte du secteur de Pège-de-Roussillon



Carte du secteur de Baix-Le-Logis-Neuf



Carte du secteur de Montélimar



Carte du secteur de Donzère-Mondragon

Annexe 4

Annexe 4.1 : résultats des pêches effectuées dans les vieux-Rhône de Chautagne, Belley et Brégner-Cordon après augmentation du débit réservé.
 Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

	Date	ABL	ANG	BAF	BBG	BLE	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	IDE	LOF	LOT	LPP	OBR	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAC	TAN	TRF	VAI	VAN	Total	Nb espèces
VR Chautagne	2004	36	0	85	0	0	1	0	0	2	3	0	0	0	439	4	301	275	17	1	0	225	0	0	9	0	4	3	0	0	0	0	59	0	1	4	272	34	1775	20
VR Chautagne	2005	243	0	108	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	272	25	49	128	8	81	0	82	0	0	1	0	5	1	2	0	0	0	2	0	9	1	384	2	1409	20
VR Chautagne	2006	20	0	174	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	593	13	41	124	1	2	0	102	0	0	0	0	23	5	4	0	0	0	117	0	5	1	326	13	1566	19
VR Chautagne	2007	143	1	16	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	165	5	9	41	22	8	0	40	0	0	12	0	5	13	2	0	0	0	63	0	0	0	121	38	707	18
VR Chautagne	2008	4	3	134	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	132	6	2	1	2	43	0	187	0	0	2	2	16	4	0	0	0	1	0	0	1	130	1	672	19	
VR Chautagne	2009	41	0	266	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	355	5	10	25	13	0	50	0	0	7	0	0	27	0	0	0	0	0	9	0	1	0	173	0	986	15
VR Chautagne	2010	58	3	183	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	317	0	37	14	8	5	0	35	0	0	0	7	3	1	0	0	1	13	0	2	7	440	3	1140	20	
VR Chautagne	2011	7	0	21	0	1	1	0	0	1	4	0	0	0	140	7	10	79	0	0	0	35	0	0	9	0	10	0	0	0	0	4	0	1	2	124	0	456	17	
VR Chautagne	2012	48	1	353	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	175	11	167	89	2	1	0	39	0	0	0	17	16	0	0	0	0	21	0	4	6	367	1	1326	19	
VR Chautagne	2013	193	3	104	0	8	0	0	3	0	2	0	0	0	93	0	235	26	7	44	0	70	0	0	1	0	9	0	3	0	1	1	22	0	1	0	47	0	873	20
VR Chautagne	2014	18	0	635	0	10	3	3	0	0	1	2	0	0	692	62	347	193	3	1	0	224	0	0	3	0	12	3	15	0	0	1	7	0	0	3	522	5	2765	23
VR Chautagne	2015	51	1	404	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	765	41	335	300	13	0	0	238	0	0	2	0	24	4	6	0	0	0	135	0	1	2	217	2	2545	20
VR Chautagne	2016	6	0	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	2	221	5	0	0	0	40	0	0	1	0	8	3	0	0	0	1	27	0	0	0	50	1	648	14
VR Chautagne	2017	0	0	242	0	2	14	0	0	0	3	0	0	0	632	18	1	81	4	0	0	77	0	0	7	0	1	2	0	0	0	6	9	0	4	0	300	10	1413	18
VR Chautagne	2018	63	0	311	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	481	0	24	20	0	4	0	32	0	0	0	0	8	2	0	0	0	5	16	0	0	190	0	1158	13	
VR Chautagne	2019	6	0	120	0	1	0	0	1	0	9	0	0	1	140	0	0	59	1	0	0	50	0	0	0	0	8	10	0	0	0	6	22	0	2	0	46	0	482	16
VR Chautagne	2020	136	0	641	0	4	7	0	0	1	0	0	0	0	448	0	11	93	0	13	0	49	0	0	2	0	16	23	0	1	0	11	26	0	0	151	7	1640	18	
Total	1073	12	3978	0	33	34	3	11	8	29	2	0	1	5941	199	1800	1553	101	203	0	1575	0	0	56	0	159	131	37	1	1	32	553	0	31	27	3860	117	21561	30	
Abond. Rel.	5,0%	0,1%	18,4%	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,6%	0,9%	8,3%	7,2%	0,5%	0,9%	0,0%	7,3%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,7%	0,6%	0,2%	0,0%	0,1%	2,6%	0,0%	0,1%	0,1%	17,9%	0,5%			
Abond. Moy.	63	1	234	0	2	2	0	1	0	2	0	0	0	349	12	106	91	6	12	0	93	0	0	3	0	9	8	2	0	0	2	33	0	2	2	227	7	1268		

	Date	ABL	ANG	BAF	BBG	BLE	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	IDE	LOF	LOT	LPP	OBR	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAC	TAN	TRF	VAI	VAN	Total	Nb espèces
VR Belley	2005	69	1	177	0	0	0	14	2	0	1	0	0	1	322	26	74	175	16	151	0	80	0	0	5	0	17	2	1	0	0	0	65	0	0	7	187	221	1614	22
VR Belley	2006	79	3	165	0	0	0	10	0	0	0	0	0	1	252	5	19	192	19	13	0	9	1	0	0	0	13	2	0	0	0	3	0	0	2	17	14	1117	1029	21
VR Belley	2007	36	0	72	0	2	4	4	1	0	4	0	0	3	178	11	87	93	19	10	0	48	1	0	5	0	8	9	0	0	0	0	74	0	4	6	113	2	794	24
VR Belley	2008	6	2	93	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	139	9	97	24	1	13	0	53	0	0	7	0	1	2	0	0	1	0	17	0	0	12	14	48	543	21
VR Belley	2009	12	1	300	0	1	9	15	1	0	5	0	0	3	374	34	16	156	10	0	0	55	1	0	0	6	3	0	1	0	0	0	140	0	2	12	27	92	1276	24
VR Belley	2010	20	1	180	0	0	0	62	1	7	9	1	0	7	340	9	24	65	1	5	0	17	6	1	9	0	13	1	1	0	1	0	18	0	1	8	17	14	839	28
VR Belley	2011	202	0	172	0	6	0	16	0	0	12	0	0	15	438	15	37	150	1	11	0	48	15	0	35	0	10	0	0	2	0	0	185	0	10	14	45	36	1475	22
VR Belley	2012	4	1	250	0	9	0	11	4	1	2	0	0	14	121	3	323	304	5	12	0	11	8	0	22	0	13	2	0	3	0	0	46	0	8	16	36	38	1267	26
VR Belley	2013	23	1	494	0	5	0	0	12	24	1	0	0	23	282	31	607	89	1	57	0	14	4	0	14	0	37	3	0	0	2	0	47	0	4	16	11	71	1873	25
VR Belley	2014	72	0	283	0	12	0	10	0	0	2	0	0	13	357	45	201	129	26	4	0	71	5	0	15	0	2	0	0	0	0	3	159	0	1	11	23	163	1607	22
VR Belley	2015	106	0	1115	0	9	0	8	3	0	0	0	0	8	1266	11	659	319	13	3	0	81	0	0	20	0	12	4	0	1	0	2	306	0	27	14	66	37	4090	23
VR Belley	2016	15	0	649	0	7	1	6	0	3	1	0	0	13	675	6	327	154	9	11	0	46	2	0	17	0	20	7	1	5	0	16	163	0	3	8	88	18	2271	27
VR Belley	2017	174	0	336	0	1	0	1	0	1	8	0	0	7	346	3	120	121	0	42	0	73	1	0	7	0	3	0	0	1	0	19	113	0	13	6	16	59	1671	23
VR Belley	2018	491	1	965	0	4	2	4	0	2	3	0	0	2	443	0	223	566	7	126	0	28	0	0	22	0	19	4	0	0	1	35	123	0	5	0	22	482	3580	24
VR Belley	2019	176	0	521	0	0	7	15	1	0	19	0	0	1	949	3	101	375	3	8	0	55	0	1	15	0	9	4	0	4	1	29	214	1	8	1	30	139	2690	27
VR Belley	2020	116	0	563	0	9	0	0	0	0	2	0	0	2	475	1	63	208	0	7	0	52	0	0	18	0	26	0	0	2	1	31	135	0	11	0	8	241	1971	20
Total	1601	11	6535	0	65	23	176	25	39	71	1	0	114	6957	212	2978	3120	131	473	0	741	44	2	217	0	206	40	4	18	10	135	1898	1	99	148	717	1778	28590	33	
Abond. Rel.	5,6%	0,0%	22,9%	0,0%	0,2%	0,1%	0,6%	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%	0,4%	24,3%	0,7%	10,4%	10,9%	0,5%	1,7%	0,0%	2,6%	0,2%	0,0%	0,8%	0,0%	0,7%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,5%	6,6%	0,0%	0,3%	0,5%	2,5%	6,2%			
Abond. Moy.	100	1	408	0	4	1	11	2	2	4	0	0	7	435	13	186	195	8	30	0	46	3	0	14	0	13	3	0	1	1	8	119	0	6	9	45	111	1787		

	Date	ABL	ANG	BAF	BBG	BLE	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	IDE	LOF	LOT	LPP	OBR	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAC	TAN	TRF	VAI	VAN	Total	Nb espèces
VR Bregner-Cordon	2006	179	1	189	0	0	0	7	22	2	1	0	0	0	265	1	9	169	14	47	0	28	0	0	0	1	8	9	0	0	0	0	96	0	9	0	4	23	1084	21
VR Bregner-Cordon	2007	68	3	33	0	0	11																																	

Annexe 4.2 : résultats des pêches effectuées dans le vieux-Rhône de Pierre-Bénite après augmentation du débit réservé. Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

Année	ABL	ANG	BAF	BLE	BOU	BRB	BRE	BRO	CAG	CAS	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAN	VAI	VAN	Total	Nb esp.	%EC
2001	155	2	38	0	0	29	0	0	0	0	0	2	151	0	7	131	4	23	28	2	12	3	0	2	1	2	19	2	0	0	613	19	35,2%
2002	133	3	23	0	2	117	0	2	0	0	0	3	290	3	407	82	6	38	43	1	7	10	0	3	0	8	17	2	37	0	1237	22	15,7%
2003	174	2	104	0	4	37	0	0	0	5	0	3	159	0	141	58	0	38	16	4	5	27	1	3	1	9	25	13	0	17	846	22	39,4%
2004	130	2	35	1	0	35	0	0	0	1	0	8	37	1	134	23	0	14	7	2	5	31	1	1	1	2	11	1	0	12	495	23	38,6%
2005	463	3	16	0	0	16	0	0	0	3	0	1	43	0	110	17	0	8	9	4	3	12	4	4	1	5	11	0	0	2	735	20	66,5%
2006	1017	2	48	1	0	22	0	2	0	0	0	1	201	0	125	107	0	12	22	0	14	26	1	0	1	3	12	0	0	0	1617	18	66,6%
2007	277	0	8	0	0	11	0	0	0	0	0	6	53	0	41	39	1	4	19	0	6	10	0	0	0	2	8	0	0	1	486	15	59,7%
2008	96	5	33	1	0	41	0	3	0	0	0	4	206	4	71	18	16	9	19	0	38	19	0	0	1	5	108	0	1	2	700	21	20,0%
2009	61	1	42	0	0	12	0	0	0	0	0	4	41	0	62	17	2	4	17	0	3	0	0	1	1	1	53	0	0	0	322	16	33,2%
2010	40	3	49	0	0	4	0	0	0	0	0	0	85	0	35	9	6	82	2	0	17	7	0	0	0	5	115	0	4	10	473	16	38,3%
2011	341	1	31	0	0	41	0	1	3	0	1	1	57	0	217	26	1	86	3	0	12	2	0	0	1	3	0	0	1	3	832	20	55,4%
2012	45	1	11	0	0	12	0	1	0	0	1	0	73	0	35	5	0	3	0	0	10	5	2	0	0	0	8	0	4	0	216	15	27,3%
2013	203	0	15	0	0	77	0	0	0	0	0	0	23	0	29	8	3	0	0	0	3	9	0	0	1	1	40	0	0	1	413	13	53,0%
2014	268	1	18	0	2	21	0	0	0	0	0	1	86	0	483	67	6	339	12	0	9	3	0	0	0	0	17	0	0	6	1339	16	47,1%
2015	1197	0	65	0	0	36	0	0	0	0	0	0	81	0	102	15	1	47	4	0	3	2	0	0	0	2	84	0	1	6	1646	15	79,9%
2016	652	1	30	0	2	3	0	0	0	0	0	0	57	0	59	13	3	23	5	0	3	21	0	0	0	7	8	0	0	1	888	16	86,3%
2017	159	1	10	1	1	10	0	1	1	0	0	0	149	0	183	62	2	29	28	0	16	19	4	0	0	0	38	6	0	25	745	20	26,6%
2018	507	0	32	0	0	15	0	0	0	0	1	0	72	0	48	4	1	14	2	0	11	9	0	0	0	1	4	0	0	1	722	15	76,7%
2019	903	2	59	1	0	62	1	2	0	0	0	0	136	0	261	16	2	11	5	0	2	10	4	0	0	0	29	0	18	15	1539	19	64,2%
2020	56	0	23	0	2	13	0	0	0	0	0	1	44	0	121	1	0	10	6	0	2	27	0	0	0	2	3	0	9	1	321	16	28,0%
Abondance totale	6877	30	690	5	13	614	1	12	4	9	3	35	2044	8	2671	718	54	794	247	13	179	252	17	14	9	58	610	24	75	103	16185	29	53,4%
Abondance relative	42,5%	0,2%	4,3%	0,0%	0,1%	3,8%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%	12,6%	0,0%	16,5%	4,4%	0,3%	4,9%	1,5%	0,1%	1,1%	1,6%	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	3,8%	0,1%	0,5%	0,6%			
Abondance moyenne	344	2	35	0	1	31	0	1	0	0	0	2	102	0	134	36	3	40	12	1	9	13	1	1	0	3	31	1	4	5	809		

Annexe 4.3 : résultats des pêches effectuées dans le vieux-Rhône de Péage-de-Roussillon. Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

Année	ABL	ANG	BAF	BLE	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	IDE	LOF	PCH	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAN	VAI	VAN	Total	Nb esp.	%EC
2007	345	12	14	0	0	57	1	0	0	0	0	0	115	0	383	94	4	15	0	107	49	48	72	19	0	0	3	0	0	0	0	1338	16	28,0%
2008	515	11	23	0	0	92	35	6	0	4	0	0	293	0	386	75	12	3	0	138	8	12	26	69	7	1	8	0	0	0	0	1724	20	31,4%
2009	550	4	4	0	0	315	6	48	3	59	17	0	385	1	708	91	6	83	0	169	1	31	87	325	118	0	9	1	3	0	1	3025	25	21,1%
2010	186	2	11	0	0	197	23	4	1	13	0	0	141	0	196	63	13	32	0	61	6	21	235	158	15	0	11	2	5	1	0	1397	23	16,4%
2011	229	3	5	1	0	251	20	3	8	18	1	0	196	15	560	53	5	17	0	133	1	68	151	65	24	1	11	0	4	0	0	1843	25	13,6%
2012	393	2	34	0	0	172	3	0	0	3	2	2	112	0	168	140	4	123	1	28	1	19	63	10	2	0	5	0	0	0	0	1287	21	42,7%
2013	866	1	32	0	0	438	44	1	0	0	0	0	214	0	46	320	2	7	0	19	2	0	94	102	3	0	2	1	1	0	0	2197	20	41,2%
2014	623	2	6	0	0	715	6	4	1	6	2	1	205	8	520	171	0	82	2	162	0	8	41	208	9	0	19	1	0	0	0	2802	23	25,4%
2015	2590	2	72	1	0	794	188	1	0	39	26	0	246	0	93	709	0	104	0	20	1	7	42	934	0	0	55	16	1	3	2	5946	23	46,6%
2016	411	0	44	0	1	888	35	2	0	6	0	0	261	0	41	400	6	2	0	16	0	5	51	274	2	0	22	39	0	0	0	2506	19	18,2%
2017	678	0	15	0	0	224	248	11	5	8	0	0	72	1	2859	285	5	36	4	18	0	5	13	271	26	0	22	1	1	0	2	4810	23	15,2%
2018	488	0	5	0	0	73	34	2	0	0	0	0	134	0	278	292	14	7	1	12	0	33	83	29	7	0	24	3	0	0	3	1522	19	33,0%
2019	1559	1	4	0	0	533	329	127	4	10	0	0	352	1	1528	147	3	125	0	43	0	8	122	251	62	0	11	5	3	0	0	5228	22	32,3%
2020	319	0	14	0	0	243	126	23	0	12	3	0	329	0	1258	168	3	115	0	125	0	9	53	189	10	0	12	3	2	0	5	3021	21	15,0%
Abondance totale	9752	40	283	2	1	4992	1098	232	22	178	51	3	3055	26	9024	3008	77	751	8	1051	69	274	1133	2904	285	2	214	73	20	5	13	38646	31	27,9%
Abondance relative	25,2%	0,1%	0,7%	0,0%	0,0%	12,9%	2,8%	0,6%	0,1%	0,5%	0,1%	0,0%	7,9%	0,1%	23,4%	7,8%	0,2%	1,9%	0,0%	2,7%	0,2%	0,7%	2,9%	7,5%	0,7%	0,0%	0,6%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%			
Abondance moyenne	697	3	20	0	0	357	78	17	2	13	4	0	218	2	645	215	6	54	1	75	5	20	81	207	20	0	15	5	1	0	1	2760		

Annexe 4.4 : résultats des pêches effectuées dans le vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf. Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

Année	ABL	ANG	BAF	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAN	VAI	Total	Nb esp.	%EC		
2010	14	7	12	2	18	4	1	0	5	1	2	0	76	0	6	35	0	15	74	4	0	29	0	0	0	2	0	1	1	364	672	20	6,1%
2011	100	1	8	0	6	5	0	1	0	3	1	1	98	6	122	139	1	112	85	2	0	34	0	0	2	1	1	373	1102	22	20,0%		
2012	36	5	23	0	39	0	3	0	0	0	0	0	56	0	23	12	0	22	15	0	0	17	0	0	2	3	0	211	467	14	17,3%		
2013	126	8	44	2	31	27	0	1	0	0	1	1	99	1	6	112	0	22	100	0	0	46	0	1	0	11	0	120	759	19	25,3%		
2014	12	3	1	0	39	6	0	0	0	0	0	2	27	0	19	29	0	4	77	3	2	9	1	0	1	0	0	38	273	17	6,2%		
2015	225	1	68	0	6	15	0	0	0	0	0	0	74	0	14	72	0	9	81	3	0	16	0	0	3	6	0	286	879	15	34,4%		
2016	718	4	60	3	58	8	0	0	0	0	0	0	103	0	2	50	0	14	95	3	6	47	1	0	5	371	0	278	1826	18	43,4%		
2017	164	2	18	6	11	0	19	1	0	1	0	0	70	0	119	67	0	23	32	0	0	8	0	0	8	41	0	79	669	17	30,6%		
2018	219	5	9	0	49	74	0	0	0	5	1	0	35	0	33	106	0	52	5	0	1	11	1	0	3	42	0	78	729	18	38,4%		
2019	55	2	13	0	4	2	0	1	0	0	0	0	20	0	4	70	1	24	18	2	0	4	0	0	4	10	0	31	265	17	34,7%		
2020	17	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11	0	9	36	2	15	1	0	1	3	0	0	0	5	0	11	114	14	28,9%		
Abondance totale	1686	39	257	13	261	142	23	4	5	10	5	4	669	7	357	728	4	312	583	17	10	224	3	1	30	490	2	1869	7755	28	29,1%		
Abondance relative	21,7%	0,5%	3,3%	0,2%	3,4%	1,8%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	8,6%	0,1%	4,6%	9,4%	0,1%	4,0%	7,5%	0,2%	0,1%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	6,3%	0,0%	24,1%				
Abondance moyenne	153	4	23	1	24	13	2	0	0	1	0	0	61	1	32	66	0	28	53	2	1	20	0	0	3	45	0	170	705				

Annexe 4.5 : résultats des pêches effectuées dans le vieux-Rhône de Montélimar. Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

Année	ABL	ANG	BAF	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	LPP	PER	PES	PSR	ROT	SAN	SIL	SPI	TAN	TOX	VAI	VAN	Total	Nb esp.	%EC
2006	129	9	66	17	174	9	0	2	2	3	0	140	0	87	38	2	38	15	0	18	6	31	3	2	1	93	2	0	3	0	888	24	26,2%
2007	227	35	33	0	6	4	0	0	0	0	1	129	0	21	19	2	115	130	0	10	1	0	1	0	1	14	0	0	1	0	750	18	50,0%
2008	110	23	22	2	17	0	0	3	0	0	1	148	2	69	14	0	30	22	1	11	0	17	0	1	3	20	1	1	0	0	518	21	31,5%
2009	223	12	152	2	63	1	0	3	0	1	0	159	0	23	15	0	139	63	0	11	2	2	0	3	5	30	0	0	0	0	909	19	56,5%
2010	241	26	51	1	382	1	1	0	3	1	0	196	0	10	67	13	43	40	0	15	2	12	0	0	7	9	0	0	6	0	1127	21	29,7%
2011	212	10	44	8	75	2	0	0	5	1	2	253	0	63	122	1	72	48	0	5	11	22	5	0	5	3	0	0	1	0	970	22	33,8%
2012	512	6	87	13	13	0	0	0	2	0	3	184	0	64	94	0	43	11	0	4	1	4	1	0	0	4	0	0	0	0	1046	17	61,4%
2013	345	4	72	2	10	0	0	0	0	2	0	68	0	25	17	0	12	14	0	5	0	1	0	1	4	24	0	0	0	0	606	16	70,8%
2014	174	7	29	5	7	0	0	0	0	0	1	187	0	204	81	0	63	87	0	0	0	81	0	0	3	51	0	0	0	0	980	14	27,1%
2015	354	2	26	24	39	1	1	0	0	0	0	125	0	22	145	0	27	14	0	37	6	77	0	0	5	52	0	0	2	0	959	18	42,0%
2016	702	4	130	19	7	0	0	0	0	1	0	55	0	1	107	0	6	54	0	1	1	5	0	0	2	67	1	0	0	0	1163	17	72,1%
2017	608	3	21	3	45	0	0	1	0	2	0	5	0	15	46	1	23	33	0	1	1	15	1	0	4	10	0	0	0	0	838	19	77,8%
2018	122	0	19	21	149	0	0	0	1	0	0	117	0	36	51	0	18	22	0	6	2	27	1	0	8	14	0	0	0	2	616	17	26,1%
2019	173	2	12	73	7	0	0	0	0	1	0	51	0	37	30	21	85	27	0	3	1	37	2	0	3	25	0	0	0	0	590	18	45,8%
2020	32	4	14	7	13	0	0	0	1	0	0	36	0	8	75	1	12	6	0	1	0	25	2	0	1	14	0	0	0	0	252	17	23,0%
Abondance totale	4164	147	778	197	1007	18	2	9	14	12	8	1853	2	685	921	41	726	586	1	128	34	356	16	7	52	430	4	1	13	2	12212	30	46,4%
Abondance relative	34,1%	1,2%	6,4%	1,6%	8,2%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	15,2%	0,0%	5,6%	7,5%	0,3%	5,9%	4,8%	0,0%	1,0%	0,3%	2,9%	0,1%	0,1%	0,4%	3,5%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%			
Abondance moyenne	278	10	52	13	67	1	0	1	1	1	1	124	0	46	61	3	48	39	0	9	2	24	1	0	3	29	0	0	1	0	814		

Annexe 4.6 : résultats des pêches effectuées dans le vieux-Rhône de Donzère. Les espèces appartenant à la guide des espèces d'eau courante sont surlignées en bleu.

Année	ABL	ANG	BAF	BLN	BOU	BRB	BRE	BRO	CAA	CGO	CCO	CHA	CHE	EPI	GAR	GOU	GRE	HOT	LOF	PCH	PER	PES	PSR	SAN	SIL	SPI	TAN	VAI	Total	Nb esp.	%EC
2008	66	33	80	0	2	0	0	1	0	0	2	0	103	0	10	12	0	11	110	0	0	0	1	0	4	69	0	3	507	15	31,0%
2009	222	11	252	0	0	12	0	0	3	0	0	2	263	0	51	87	0	659	184	1	3	2	16	0	3	2	0	8	1781	18	63,6%
2010	600	14	140	1	4	13	0	0	0	7	3	3	412	0	25	100	0	100	159	0	7	4	43	0	8	47	5	22	1717	21	48,9%
2011	382	9	56	0	42	65	1	0	0	0	5	2	392	1	126	163	1	373	158	0	5	0	41	0	3	17	0	117	1959	20	41,4%
2012	164	10	25	0	4	5	0	0	0	0	1	0	152	0	8	40	0	7	4	0	3	0	1	1	3	53	1	12	494	18	39,7%
2013	536	9	378	0	4	13	0	0	0	4	2	0	119	0	5	45	0	8	37	0	1	0	20	0	10	80	0	1	1272	17	72,5%
2014	337	36	38	0	9	7	0	0	0	2	1	3	374	0	82	55	0	84	521	0	5	0	42	0	4	35	0	10	1645	18	27,9%
2015	1102	9	422	0	57	26	0	0	0	1	10	2	297	0	7	416	0	25	152	0	2	1	184	0	1	148	1	4	2867	20	54,0%
2016	1155	11	340	0	9	2	0	0	0	9	28	0	128	0	0	271	0	1	231	0	1	1	396	0	5	466	0	47	3101	17	48,2%
2017	439	9	69	2	11	14	0	0	0	6	11	0	97	0	72	266	2	26	122	0	4	0	178	2	3	160	0	60	1553	20	34,4%
2018	390	8	163	1	7	56	0	0	0	1	4	0	127	0	24	75	0	11	11	0	15	0	96	0	6	36	0	3	1034	18	54,5%
2019	219	5	49	0	3	7	0	0	0	5	0	1	119	0	33	73	0	81	67	0	2	3	30	0	2	7	0	9	715	18	48,8%
2020	64	6	11	1	4	13	0	0	0	10	1	0	165	0	73	22	2	178	54	0	0	0	50	0	3	19	0	30	706	18	35,8%
Abondance totale	5676	170	2023	5	156	233	1	1	3	45	68	13	2748	1	516	1625	5	1564	1810	1	48	11	1098	3	55	1139	7	326	19351	28	47,9%
Abondance relative	29,3%	0,9%	10,5%	0,0%	0,8%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,4%	0,1%	14,2%	0,0%	2,7%	8,4%	0,0%	8,1%	9,4%	0,0%	0,2%	0,1%	5,7%	0,0%	0,3%	5,9%	0,0%	1,7%			
Abondance moyenne	437	13	156	0	12	18	0	0	0	3	5	1	211	0	40	125	0	120	139	0	4	1	84	0	4	88	1	25	1489		

Annexe 5

Annexe 5.1 - Courbes de préférences HFST pour les 113 taxa collectés sur le Rhône. Avec AVG_HFST : valeur d'HFST moyenne ; * : valeurs modifiées pour corriger les effets de bords).

Annexe 5.2 - Courbes de préférences Vitesse (V40 en m/s) pour les 73 taxa collectés sur le Rhône. Avec AVG_V40 : valeur de vitesse moyenne ; * : valeurs modifiées pour corriger les effets de bords).

Annexe 5.1

Family	Genus	Taxa	Taxa code	Habitat variable	Total abundance modelled	Occurrences	Number of samples	Number of surveys	AVG_HFST	HFST_0	HFST_1	HFST_2	HFST_3	HFST_4	HFST_5	HFST_6	HFST_7	HFST_8	HFST_9	HFST_10	HFST_11	HFST_12	HFST_13	HFST_14	HFST_15	HFST_16	HFST_17	HFST_18	HFST_19	
Athericidae	Atrichops	Atrichops crassipes	ACRA	HFST	205	38	45	2	3.51	0.51	0.69	0.87	1	1	0.82	0.53	0.29	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	
Athyidae	Atyaephyra	Atyaephyra desmarestii	ADES	HFST	18	8	40	2	16.23	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.22	0.29	0.37	0.47	0	0.61	0.78	1
Glossosomatidae	Agapetus	Agapetus fuscipes	AFUS	HFST	68	13	55	2	13.62	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.06	0.16	0.33	0.56	0.78	0.94	1	0.96	0.84	0.71	0.58	0.47	0.38	
Glossosomatidae	Agapetus	Agapetus spp_tot	AGAP	HFST	167	35	87	3	12.31	0.07	0.09	0.13	0.18	0.25	0.34	0.44	0.55	0.67	0.77	0.86	0.93	0.98	1	1	0.99	0.97	0.94	0.91	0.89	
Athericidae	Atherix	Atherix spp_tot	ATHE	HFST	72	42	94	3	11.68	0.05	0.08	0.12	0.17	0.25	0.35	0.48	0.62	0.76	0.88	0.96	1	1	0.97	0.91	0.84	0.76	0.69	0.62	0.56	
Baetidae (non Baetis)	Baetidae	Baetidae_(non_Baetis)	BAET	HFST	472	29	120	5	0.8	1	0.42	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Baetidae	Baetis	Baetis spp_tot	BAETI	HFST	184081	1918	2083	88	11.43	0.13	0.17	0.22	0.29	0.37	0.46	0.56	0.67	0.78	0.87	0.94	0.98	1	0.99	0.96	0.92	0.86	0.8	0.73	0.66	
Baetidae	Baetis	Baetis fuscatus	BFUS	HFST	41292	1161	1433	62	10.92	0.11	0.16	0.21	0.28	0.37	0.48	0.6	0.73	0.84	0.93	0.98	1	0.98	0.93	0.86	0.78	0.69	0.6	0.51	0.44	
Bithyniidae	Bithynia	Bithynia spp_tot	BITH	HFST	401	104	240	10	11.28	0.22	0.28	0.34	0.41	0.49	0.58	0.68	0.76	0.84	0.9	0.95	0.98	1	1	0.99	0.98	0.97	0.95	0.94	0.92	
Baetidae	Baetis	Baetis lutheri	BLUT	HFST	74	24	77	3	13.72	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.12	0.18	0.26	0.35	0.46	0.57	0.66	0.75	0.82	0.87	0.91	0.94	0.96	0.98	1	
Baetidae	Baetis	Baetis muticus	BMUT	HFST	2729	86	94	3	11.86	0.09	0.12	0.17	0.23	0.31	0.4	0.51	0.63	0.75	0.85	0.92	0.98	1	1	0.98	0.95	0.91	0.87	0.82	0.78	
Taeniopterygidae	Brachyptera	Brachyptera spp_tot	BRAC	HFST	1136	67	134	5	12.38	0.02	0.03	0.05	0.08	0.13	0.2	0.3	0.43	0.57	0.72	0.85	0.94	1	1	0.96	0.89	0.8	0.7	0.6	0.5	
Baetidae	Baetis	Baetis rhodani	BRHO	HFST	31020	710	1064	41	12.54	0.08	0.1	0.14	0.18	0.24	0.31	0.39	0.48	0.57	0.67	0.76	0.84	0.9	0.95	0.98	1	1	0.99	0.97	0.95	
Bithyniidae	Bithynia	Bithynia tentaculata	BTEN	HFST	366	103	240	10	11.31	0.1	0.14	0.2	0.27	0.37	0.48	0.61	0.74	0.85	0.93	0.98	1	0.99	0.96	0.91	0.85	0.79	0.74	0.69	0.64	
Baetidae	Baetis	Baetis vardarensis	BVAR	HFST	2993	312	780	33	14.7	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.1	0.17	0.25	0.36	0.47	0.59	0.71	0.81	0.89	0.94	0.98	0.99	1	
Caeniidae	Caenis	Caenis spp_tot	CAEN	HFST	55658	1047	1414	62	6.77	1	0.85	0.72	0.62	0.53	0.46	0.4	0.36	0.32	0.3	0.28	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Calopterygidae	Calopteryx	Calopteryx spp_tot	CALO	HFST	49	11	135	6	1.71	1	0.48	0.24	0.12	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium curvispinum	CCUR	HFST	1702	141	235	10	11.21	0.19	0.24	0.31	0.38	0.47	0.57	0.67	0.76	0.85	0.92	0.96	0.99	1	0.99	0.97	0.94	0.91	0.88	0.84	0.81	
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium curvispinum_sowinskyi	CCUSO	HFST	2407	80	95	5	10.65	0.25	0.31	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.84	0.92	0.97	1	1	0.99	0.96	0.92	0.87	0.82	0.77	0.72	0.68	
Limnephilidae	Chaetopterygini	Chaetopterygini	CHAE	HFST	771	64	136	5	4.1	1	0.65	0.43	0.29	0.2	0.14	0.11	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium spp_tot	CHEL	HFST	4394	206	294	13	10.68	0.28	0.34	0.4	0.48	0.57	0.66	0.75	0.84	0.91	0.96	0.99	1	0.99	0.97	0.94	0.9	0.86	0.81	0.77	0.73	
Chironomidae	Chironomini	Chironomini	CHIR	HFST	23019	588	799	32	4.12	1	0.71	0.51	0.37	0.27	0.2	0.15	0.12	0.1	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
Hydropsychidae	Cheumatopsyche	Cheumatopsyche lepida	CLEP	HFST	2402	132	269	12	16.34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.13	0.18	0.25	0.35	0.5	0.71	1	
Caeniidae	Caenis	Caenis lactuosa	CLUC	HFST	5037	480	839	37	5.55	1	0.81	0.65	0.53	0.44	0.36	0.3	0.26	0.22	0.2	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	
Caeniidae	Caenis	Caenis lactuosa_macrura	CLUMA	HFST	4951	274	484	21	5.62	1	0.73	0.53	0.39	0.3	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	
Baetidae (non Baetis)	Centropitulum	Centropitulum lueolium	CLUT	HFST	585	23	56	2	1.96	1	0.76	0.56	0.41	0.28	0.19	0.11	0.06	0.03	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Caeniidae	Caenis	Caenis macrura	CMAC	HFST	3336	378	584	27	7.44	1	0.87	0.76	0.66	0.58	0.52	0.46	0.42	0.39	0.37	0.35	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
Philopotamidae	Chimarra	Chimarra marginata	CMAR	HFST	352	27	70	2	15.82	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.12	0.17	0.23	0.29	0.37	0.46	0.56	0.68	0.83	1	
Limnephilidae	Chaetopteryx	Chaetopteryx villosa_fusca	CVIFU	HFST	55	19	62	2	2.46	1	0.83	0.68	0.54	0.42	0.3	0.21	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	
Perilidae	Dinocras	Dinocras cephalotes	DCEP	HFST	311	79	167	5	11.96	0.1	0.13	0.18	0.23	0.3	0.39	0.49	0.59	0.7	0.8	0.88	0.94	0.98	1	1	0.98	0.94	0.9	0.85	0.79	
Perilidae	Dinocras	Dinocras spp_tot	DINO	HFST	311	79	167	5	11.96	0.1	0.13	0.18	0.23	0.3	0.39	0.49	0.59	0.7	0.8	0.88	0.94	0.98	1	1	0.98	0.94	0.9	0.85	0.79	
Dreissenidae	Dreissena	Dreissena polymorpha	DPOL	HFST	1391	303	625	27	11.69	0.26	0.28	0.31	0.34	0.38	0.41	0.45	0.49	0.53	0.57	0.61	0.65	0.69	0.73	0.78	0.82	0.86	0.91	0.95	1	
Dugesidae	Girardia	Girardia tigrina	DTIG	HFST	20007	709	1045	44	13.49	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.3	0.35	0.4	0.45	0.51	0.58	0.65	0.73	0.81	0.9	1	
Dugesidae	Dugesia	Dugesia spp.	DUGE	HFST	518	54	70	2	7	1	0.77	0.54	0.46	0.31	0.21	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	
Elmidae_a	Elmis_a	Elmis_aena_a	EAEI_a	HFST	735	100	172	6	11.6	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42	0.48	0.54	0.6	0.66	0.71	0.76	0.8	0.83	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96	0.98	1	
Elmidae	Elmis	Elmis spp_tot	ELMI	HFST	9550	635	981	37	12.86	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.3	0.33	0.37	0.42	0.47	0.53	0.6	0.68	0.77	0.88	1	
Elmidae_a	Elmis_a	Elmis_a spp_tot	ELMI_a	HFST	1549	159	303	10	14.25	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.1	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.26	0.3	0.36	0.43	0.5	0.6	0.71	0.84	1	
Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella octoculata	EOCT	HFST	3035	410	873	34	6.39	1	0.84	0.7	0.59	0.5	0.43	0.37	0.33	0.29	0.27	0.24	0.23	0.22	0.21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.19	0.2	
Heptageniidae	Epeorus	Epeorus spp_tot	EPEO	HFST	1726	150	261	10	15.26	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.33	0.4	0.49	0.59	0.71	0.84	1	
Ephemereididae	Ephemerella	Ephemerella spp_tot	EPHEM	HFST	8976	212	242	8	9.24	0.52	0.58	0.65	0.73	0.8	0.87	0.93	0.98	1	1	0.98	0.95	0.9	0.84	0.77	0.7	0.64	0.57	0.51	0.45	
Limoniidae	Eriopterini	Eriopterini	ERIO	HFST	15	4	50	2	1.39	1	0.63	0.39	0.24	0.14	0.08	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella spp_tot	ERPO	HFST	4205	521	1027	42	6.23																					

Annexe 5.1 (suite)

Family	Genus	Taxa	Taxa code	Habitat variable	Total abundance modelled	Occurrences	Number of samples	Number of surveys	AVG_HFST	HFST_0	HFST_1	HFST_2	HFST_3	HFST_4	HFST_5	HFST_6	HFST_7	HFST_8	HFST_9	HFST_10	HFST_11	HFST_12	HFST_13	HFST_14	HFST_15	HFST_16	HFST_17	HFST_18	HFST_19	
Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche_pellucidula_incognita	HPEIN	HFST	2935	208	324	11	13.68	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.19	0.24	0.3	0.36	0.43	0.49	0.56	0.63	0.7	0.76	0.82	0.88	0.94	1	
Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche_silatai	HSIL	HFST	4174	320	652	27	16.36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.17	0.24	0.34	0.49	0.7	1	
Glossiphoniidae	Helobdella	Helobdella_stagnalis	HSTA	HFST	982	54	260	10	0.86	1	0.44	0.19	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	
Heptageniidae	Heptagenia	Heptagenia_sulphurea	HSUL	HFST	6187	624	1014	44	12.51	0.11	0.14	0.17	0.21	0.25	0.31	0.36	0.43	0.49	0.56	0.62	0.69	0.74	0.79	0.84	0.88	0.92	0.95	0.98	1	
Hydraenidae_a	Hydraena_a	Hydraena_a_spp_tot	HYDR_a	HFST	874	162	294	12	11.92	0.09	0.12	0.16	0.22	0.3	0.39	0.49	0.6	0.71	0.81	0.89	0.95	0.99	1	0.99	0.96	0.92	0.87	0.81	0.75	
Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche_spp_tot	HYDRPS	HFST	97644	1572	2001	84	13.51	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.22	0.28	0.36	0.45	0.53	0.62	0.7	0.78	0.84	0.89	0.93	0.96	0.99	1	
Perlodidae	Isoperla	Isoperla_spp_tot	ISOP	HFST	1265	217	330	11	12.18	0.17	0.2	0.23	0.26	0.3	0.34	0.38	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.66	0.71	0.76	0.81	0.85	0.9	0.95	1	
Janiridae	Jaera	Jaera_istri	JIST	HFST	157556	339	354	17	10.58	0.23	0.29	0.36	0.44	0.54	0.65	0.75	0.85	0.92	0.98	1	1	0.98	0.94	0.89	0.83	0.78	0.72	0.67	0.62	
Mysidae	Limnomysis	Limnomysis_benedeni	LBEN	HFST	39	13	70	3	1.38	1	0.63	0.39	0.24	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Leuctridae	Leuctra	Leuctra_spp_tot	LEUC	HFST	26954	907	1350	57	11.77	0.23	0.26	0.3	0.33	0.38	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.76	0.8	0.84	0.87	0.91	0.94	0.97	1	
Leuctridae	Leuctra	Leuctra_geniculata	LGEN	HFST	72	21	57	2	2.91	1	0.76	0.57	0.43	0.33	0.25	0.18	0.14	0.1	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0	
Elmidae_a	Limnius_a	Limnius_a_spp_tot	LIMN_a	HFST	376	151	290	9	11.46	0.28	0.31	0.35	0.4	0.44	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.74	0.79	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.96	0.98	1	
Elmidae	Limnius	Limnius_opacus	LOPA	HFST	357	39	70	2	12.04	0.12	0.15	0.2	0.26	0.33	0.41	0.51	0.6	0.7	0.79	0.87	0.93	0.97	0.99	1	1	0.99	0.98	0.97	0.96	
Elmidae_a	Limnius_a	Limnius_volkmaria_a	LVOL_a	HFST	108	51	106	3	12.49	0.05	0.08	0.11	0.15	0.21	0.28	0.37	0.47	0.59	0.7	0.81	0.89	0.96	0.99	1	0.99	0.95	0.91	0.86	0.8	
Leptoceridae	Mystacides	Mystacides_azurea	MAZU	HFST	24	12	107	4	2.3	1	0.79	0.61	0.47	0.35	0.25	0.17	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	
Corixidae	Micronecta	Micronecta_spp_tot	MICRO	HFST	439	65	267	11	1.78	1	0.51	0.26	0.14	0.08	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Mysidae	Mysi	Mysi_tot	MFST	HFST	267	41	110	5	5.8	1	0.68	0.45	0.32	0.23	0.17	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	
Leptoceridae	Mystacides	Mystacides_spp_tot	MYST	HFST	13	8	57	2	3.36	0.18	0.37	0.66	0.96	1	0.68	0.27	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Leptoceridae	Oecetis	Oecetis_spp_tot	OECET	HFST	54	15	97	4	5.67	0.08	0.15	0.27	0.46	0.69	0.9	1	0.9	0.63	0.34	0.15	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	
Gomphidae	Onychogomphus	Onychogomphus_spp_tot	ONYC	HFST	29	20	92	3	4.36	1	0.99	0.97	0.92	0.85	0.75	0.63	0.49	0.37	0.25	0.17	0.11	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	
Chironomidae	Orthocladiinae	Orthocladiinae	ORTHO	HFST	1683210	1427	1446	65	10.13	0.46	0.51	0.57	0.64	0.71	0.77	0.84	0.9	0.94	0.98	1	1	0.99	0.97	0.94	0.9	0.86	0.81	0.76	0.71	
Elmidae_a	Oulimnius_a	Oulimnius_troglydytes_a	OTRO_a	HFST	716	64	79	2	13.65	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.33	0.38	0.44	0.52	0.61	0.72	0.85	1	
Elmidae_a	Oulimnius_a	Oulimnius_a_spp_tot	OULI_a	HFST	716	64	79	2	13.65	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.33	0.38	0.44	0.52	0.61	0.72	0.85	1	
Physidae	Haitia	Haitia_acuta	PACU	HFST	1186	120	290	14	2.58	1	0.66	0.44	0.29	0.2	0.14	0.1	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
Baetidae (non Baetis)	Procladius	Procladius_bifidum	PBIF	HFST	228	31	133	5	1.38	1	0.6	0.36	0.21	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus_flavomaculatus	PFLA	HFST	945	137	285	11	5.46	1	0.86	0.73	0.63	0.54	0.47	0.4	0.35	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12	0.1	0.09	0.08	
Philopotamidae	Philopotamus	Philopotamus_spp_tot	PHIL	HFST	455	37	107	4	14.24	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.11	0.18	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.74	0.82	0.88	0.92	0.96	0.98	1	
Sphaeriidae	Pisidium	Pisidium_spp_tot	PISI	HFST	1052	208	579	25	4.89	1	0.78	0.62	0.49	0.39	0.31	0.26	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	
Dytiscidae	Platambus	Platambus_maculatus	PMAC	HFST	249	24	76	3	1.61	1	0.57	0.33	0.19	0.12	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	
Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus_spp_tot	POLYC	HFST	1035	155	304	12	5.46	1	0.88	0.78	0.69	0.6	0.53	0.47	0.41	0.36	0.31	0.27	0.24	0.2	0.18	0.15	0.13	0.11	0.1	0.08	0.07	
Psychomyiidae	Psychomyia	Psychomyia_pusilla	PPUS	HFST	179536	1299	1533	67	10.38	0.32	0.37	0.44	0.51	0.6	0.68	0.77	0.85	0.92	0.96	0.99	1	0.99	0.96	0.91	0.86	0.8	0.74	0.68	0.61	
Baetidae (non Baetis)	Procladius	Procladius_spp_tot	PROC	HFST	228	31	133	5	1.38	1	0.6	0.36	0.21	0.13	0.07	0.04	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nemouridae	Protonemura	Protonemura_spp_tot	PROTO	HFST	4175	153	243	10	15.13	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	0.2	0.25	0.32	0.4	0.5	0.63	0.79	1	
Psychodidae	Psychodidae	Psychodidae	PSYC	HFST	261	60	121	6	8.6	0.17	0.23	0.32	0.44	0.57	0.72	0.86	0.96	1	0.97	0.89	0.78	0.65	0.52	0.4	0.31	0.23	0.17	0.13	0.09	
Lymnaeidae	Radix	Radix_spp_tot	RADI	HFST	4359	281	556	23	6.02	1	0.88	0.77	0.67	0.59	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	0.3	0.27	0.24	0.22	0.2	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	
Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena_spp_tot	RHIT	HFST	6615	334	593	22	14.95	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.33	0.4	0.48	0.58	0.7	0.83	1	
Rhyacophilidae	Rhyacophila	Rhyacophila_spp_tot	RHYA	HFST	6900	778	1285	51	13.5	0.04	0.06	0.07	0.1	0.13	0.16	0.21	0.26	0.32	0.38	0.45	0.52	0.59	0.65	0.72	0.78	0.84	0.89	0.95	1	
Lymnaeidae	Radix	Radix_ovata	ROVA	HFST	2999	133	209	8	5.69	1	0.94	0.88	0.82	0.76	0.7	0.64	0.57	0.5	0.44	0.37	0.32	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12	0.1	0.08	0.07	
Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena_semicolorata	RSEM	HFST	5886	259	409	15	14.51	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.1	0.12	0.15	0.18	0.22	0.27	0.32	0.38	0.45	0.53	0.62	0.73	0.85	1	
Sialidae	Sialis	Sialis_spp_tot	SIAL	HFST	54	15	89	3	1.8	1	0.49	0.24	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	
Simuliidae	Simulium	Simulium_spp_tot	SIMU	HFST	5106	156	237	9	17.21	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.1	0.16	0.25	0.39	0.63	1
Simuliidae_n	Simulium	Simuliidae_n	SIMU_n	HFST	475	67	202	6	13.5	0.1	0.11	0.12	0.12	0.1																

Annexe 5.2

Family	Genus	Taxa	Taxa code	Habitat variable	Total abundance modelled	Occurrences	Number of samples	Number of surveys	AVG_V40	V_0	V_0.1	V_0.2	V_0.3	V_0.4	V_0.5	V_0.6	V_0.7	V_0.8	V_0.9	V_1	V_1.1	V_1.2	V_1.3	V_1.4	V_1.5	V_1.6	V_1.7	V_1.8	V_1.9	V_2
Limoniidae	Antocha	Antocha spp._tot	ANTO	V40	375	153	406	16	0.98	0.23	0.30	0.38	0.49	0.60	0.72	0.83	0.92	0.98	1.00	0.99	0.95	0.88	0.80	0.71	0.62	0.53	0.45	0.37	0.31	0.26
Baetidae (non Baetis)		Baetidae (non Baetis)	BAET	V40	472	29	120	5	0.06	1.00	0.29	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0* 0*										
Baetidae	Baetis	Baetis spp._tot	BAETI	V40	109162	1254	1383	63	1.07	0.22	0.28	0.36	0.45	0.55	0.66	0.76	0.86	0.93	0.98	1.00	1.00	0.97	0.93	0.87	0.81	0.74	0.67	0.60	0.53	0.47
Baetidae	Baetis	Baetis fuscatus	BFUS	V40	33830	970	1168	52	1.02	0.15	0.21	0.29	0.39	0.51	0.65	0.78	0.89	0.97	1.00	0.99	0.95	0.88	0.79	0.70	0.61	0.52	0.45	0.38	0.32	0.28
Bithyniidae	Bithynia	Bithynia spp._tot	BITH	V40	400	103	231	10	0.94	0.24	0.33	0.44	0.57	0.71	0.84	0.94	0.99	1.00	0.97	0.91	0.83	0.75	0.67	0.59	0.52	0.46	0.41	0.36	0.32	0.29
Baetidae	Baetis	Baetis rhodani	BRHO	V40	1034	215	513	21	1.34	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.27	0.34	0.41	0.50	0.58	0.65	0.73	0.79	0.85	0.90	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00
Bithyniidae	Bithynia	Bithynia tentaculata	BTEN	V40	365	102	231	10	0.78	0.08	0.15	0.25	0.41	0.62	0.82	0.96	1.00	0.95	0.82	0.67	0.51	0.38	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
Baetidae	Baetis	Baetis vardarensis	BVAR	V40	2896	294	719	31	1.42	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.17	0.27	0.38	0.52	0.65	0.77	0.87	0.94	0.98	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95
Caenidae	Caenis	Caenis spp._tot	CAEN	V40	16426	803	1088	50	0.75	1.00	0.79	0.63	0.51	0.42	0.35	0.31	0.28	0.26	0.25	0.25	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium curvispinum	CCUR	V40	1544	133	226	10	0.73	0.10	0.17	0.29	0.46	0.68	0.88	1.00	1.00	0.90	0.75	0.58	0.42	0.29	0.20	0.14	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium curvispinum-so	CCUSO	V40	2407	80	95	5	1.45	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45	0.51	0.58	0.67	0.76	0.87	1.00
Corophiidae	Chelicorophium	Chelicorophium spp._tot	CHEL	V40	4236	198	285	13	0.74	0.20	0.30	0.43	0.60	0.77	0.92	1.00	1.00	0.93	0.80	0.66	0.52	0.40	0.30	0.22	0.16	0.12	0.09	0.06	0.05	0.03
Hydroptilidae	Cheumatopsyche	Cheumatopsyche lepida	CLEP	V40	347	69	179	9	1.69	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.27	0.35	0.45	0.59	0.77	1.00
Caenidae	Caenis	Caenis luctuosa	CLUC	V40	4442	402	695	32	0.64	1.00	0.73	0.54	0.41	0.31	0.25	0.21	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*
Caenidae	Caenis	Caenis luctuosa-macrura	CLUMA	V40	4889	251	434	19	0.63	1.00	0.66	0.42	0.29	0.21	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*	0.13*
Caenidae	Caenis	Caenis macrura	CMAC	V40	3322	372	562	26	0.84	1.00	0.83	0.70	0.59	0.51	0.45	0.41	0.39	0.38	0.37	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*	0.37*
Limoniidae	Dicranota	Dicranota spp._tot	DICR	V40	77	17	38	3	0.41	0.05	0.17	0.47	0.86	1.00	0.79	0.46	0.21	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dugesidae	Girardia	Girardia tigrina	DTIG	V40	19985	702	1013	43	1.30	0.10	0.13	0.17	0.21	0.27	0.33	0.40	0.48	0.55	0.63	0.70	0.76	0.82	0.87	0.91	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00
Pontogammaridae	Dikerogammarus	Dikerogammarus villosus	DVIL	V40	46673	892	1008	46	0.93	0.54	0.61	0.69	0.77	0.85	0.92	0.97	0.99	1.00	0.98	0.95	0.90	0.85	0.79	0.72	0.66	0.59	0.54	0.49	0.44	0.40
Elmidae	Elmis	Elmis spp._tot	ELMI	V40	1699	348	607	24	1.35	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.49	0.55	0.60	0.65	0.71	0.76	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Elmidae	Elmis	Elmis spp._a_tot	ELMI_a	V40	40	15	70	2	1.26	0.00	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.29	0.48	0.68	0.85	0.96	1.00	0.98	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.46
Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella octoculata	EOCT	V40	847	280	699	27	0.69	1.00	0.76	0.59	0.46	0.37	0.30	0.26	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*	0.19*
Heptageniidae	Epeorus	Epeorus spp._tot	EPEO	V40	152	17	44	3	1.17	0.01	0.03	0.07	0.14	0.26	0.41	0.58	0.75	0.88	0.97	1.00	0.98	0.93	0.86	0.78	0.71	0.65	0.59	0.53	0.49	0.44
Erpobdellidae	Erpobdella	Erpobdella spp._tot	ERPO	V40	1980	389	853	35	0.74	1.00	0.80	0.65	0.53	0.44	0.37	0.33	0.29	0.27	0.26	0.25	0.25	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*	0.25*
Elmidae	Esolus	Esolus spp._tot	ESOL	V40	10017	782	1121	49	1.46	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25	0.29	0.34	0.39	0.45	0.51	0.59	0.67	0.77	0.88	1.00
Elmidae	Esolus	Esolus spp._a_tot	ESOL_a	V40	273	101	310	12	1.65	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.17	0.22	0.28	0.36	0.46	0.60	0.77	1.00
Polymitarcyidae	Ephoron	Ephoron virgo	EVIR	V40	56	22	59	3	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.14	0.27	0.52	1.00	
Planorbidae	Ferrissia	Ferrissia clessiniana	FFRA	V40	220	62	110	5	0.65	0.23	0.36	0.52	0.72	0.89	0.99	1.00	0.93	0.79	0.64	0.49	0.36	0.26	0.18	0.13	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01
Glossosomatidae	Glossosoma	Glossosoma boltoni	GBOL	V40	403	101	270	12	1.03	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.30	0.50	0.72	0.90	1.00	1.00	0.91	0.77	0.61	0.47	0.34	0.25	0.18	0.13	0.10	0.07
Glossiphoniidae	Glossiphonia	Glossiphonia complanata	GCOM	V40	453	92	281	10	0.50	1.00	0.83	0.68	0.57	0.47	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
Glossiphoniidae	Glossiphonia	Glossiphonia spp._tot	GLOS	V40	587	102	301	11	0.45	1.00	0.74	0.55	0.41	0.31	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04
Glossosomatidae	Glossosoma	Glossosoma spp._tot	GLOSSO	V40	1328	157	299	14	1.12	0.01	0.02	0.05	0.09	0.17	0.30	0.47	0.66	0.84	0.95	1.00	0.97	0.89	0.78	0.66	0.54	0.44	0.36	0.29	0.24	0.19
Planorbidae	Gyraulus	Gyraulus parvus	GPAR	V40	46	18	60	3	0.26	1.00	0.69	0.48	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Goeridae	Goera	Goera pilosa	GPIL	V40	46	21	90	3	0.37	1.00	0.81	0.65	0.52	0.42	0.34	0.27	0.21	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Gammaridae	Gammarus	Gammarus pulex	GPUL	V40	1511	335	694	29	0.73	1.00	0.88	0.78	0.69	0.61	0.55	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22
Planorbidae	Gyraulus	Gyraulus spp._tot	GYRA	V40	313	107	320	13	0.64	1.00	0.72	0.53	0.39	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*	0.15*
Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche contubernalis	HCONT	V40	5772	477	755	33	1.09	0.14	0.19	0.26	0.35	0.46	0.58	0.71	0.83	0.92	0.98	1.00	0.99	0.95	0.89	0.82	0.74	0.66	0.59	0.53	0.47	0.42
Heptageniidae	Heptagenia	Heptagenia spp._tot	HEPT	V40	10290	775	1073	47	1.21	0.12	0.17	0.22	0.30	0.39	0.49	0.60	0.70	0.80	0.88	0.94	0.98	1.00	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84	0.81
Hydropsychidae	Hydropsyche	Hydropsyche exocellata	HEXO	V40	4849	456	754	35	1.18	0.04	0.07	0.11	0.18	0.27	0.39	0.53	0.67	0.81	0.91	0.97	1.00	0.99	0.94	0.88	0.80	0.72	0.64	0.58	0.51	0.46

Annexe 5.2 (suite)

Family	Genus	Taxa	Taxa code	Habitat variable	Total abundance modelled	Occurrences	Number of samples	Number of surveys	AVG_V40	V_0	V_0.1	V_0.2	V_0.3	V_0.4	V_0.5	V_0.6	V_0.7	V_0.8	V_0.9	V_1	V_1.1	V_1.2	V_1.3	V_1.4	V_1.5	V_1.6	V_1.7	V_1.8	V_1.9	V_2
Leuctridae	Leuctra	Leuctra spp._tot	LEUC	V40	3597	467	818	38	1.40	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.27	0.32	0.38	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.73	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00
Elmidae	Limnius	Limnius spp._tot	LIMN	V40	580	225	485	19	1.41	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.30	0.34	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.67	0.74	0.82	0.91	1.00
Corixidae	Micronecta	Micronecta spp._tot	MICRO	V40	421	61	230	10	0.12	1.00	0.37	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Mysidae		Mysidae_tot	MYSI tot	V40	267	41	110	5	0.57	1.00	0.51	0.27	0.16	0.11	0.09	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*	0.9*
Nemouridae	Nemoura	Nemoura spp._tot	NEMO	V40	28	14	50	2	1.64	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.24	0.29	0.36	0.44	0.54	0.67	0.82	1.00
Chironomidae		Orthoclaidiinae	ORTHO	V40	1595562	1364	1383	63	0.99	0.52	0.59	0.66	0.73	0.80	0.87	0.92	0.97	0.99	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.85	0.80	0.75	0.69	0.64	0.59	0.54
Gyrinidae	Orectochilus	Orectochilus villosus	OVIL	V40	480	158	310	13	1.02	0.34	0.41	0.49	0.58	0.67	0.77	0.86	0.93	0.98	1.00	1.00	0.97	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70	0.64	0.58	0.53	0.49
Physidae	Haitia	Haitia acuta	PACU	V40	1186	120	289	14	0.20	1.00	0.51	0.26	0.14	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*
Baetidae (non Baetis)	Procloeon	Procloeon bifidum	PBIF	V40	221	27	100	4	0.06	1.00	0.39	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus flavomaculatus	PFLA	V40	224	30	79	4	0.28	1.00	0.68	0.47	0.32	0.23	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sphaeriidae	Pisidium	Pisidium spp._tot	PISI	V40	779	157	488	21	0.40	1.00	0.77	0.60	0.47	0.37	0.29	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Polycentropodidae	Polycentropus	Polycentropus spp._tot	POLYC	V40	314	48	98	5	0.42	1.00	0.72	0.52	0.38	0.28	0.22	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Psychomyiidae	Psychomyia	Psychomyia pusilla	PPUS	V40	172102	1153	1333	60	0.94	0.24	0.31	0.41	0.51	0.63	0.76	0.87	0.95	0.99	1.00	0.97	0.91	0.82	0.73	0.63	0.53	0.44	0.36	0.29	0.23	0.19
Baetidae (non Baetis)	Procloeon	Procloeon spp._tot	PROC	V40	221	27	100	4	0.06	1.00	0.39	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lymnaeidae	Radix	Radix spp._tot	RADI	V40	1348	140	301	14	0.54	1.00	0.71	0.51	0.37	0.27	0.21	0.17	0.14	0.13	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*
Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena spp._tot	RHIT	V40	866	147	362	14	1.43	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.11	0.17	0.25	0.34	0.45	0.56	0.68	0.78	0.86	0.93	0.97	1.00	1.00	0.99	0.97	0.94
Rhyacophiliidae	Rhyacophila	Rhyacophila spp._tot	RHYA	V40	3027	374	701	30	1.22	0.06	0.10	0.14	0.20	0.28	0.38	0.50	0.62	0.74	0.84	0.92	0.98	1.00	1.00	0.97	0.92	0.86	0.79	0.71	0.64	0.57
Heptageniidae	Rhithrogena	Rhithrogena semicolorata	RSEM	V40	428	79	178	7	1.47	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06	0.10	0.17	0.26	0.37	0.50	0.63	0.75	0.86	0.94	0.98	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87
Ephemerellidae	Serratella	Serratella ignita	SIGN	V40	9376	456	672	29	1.08	0.35	0.41	0.48	0.56	0.65	0.74	0.82	0.89	0.94	0.98	1.00	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.86	0.82	0.79	0.75	0.72
Simuliidae		Simuliidae_tot	SIMULI	V40	63500	874	1323	60	1.54	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.26	0.33	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.79	0.86	0.93	1.00
Tabanidae		Tabanidae	TABA	V40	32	9	40	2	0.13	1.00	0.78	0.56	0.33	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chironomidae		Tanytarsini	TANYT	V40	138265	1116	1313	60	0.70	1.00	0.81	0.65	0.53	0.44	0.37	0.32	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21*	0.21*	0.21*	0.21*	0.21*	0.21*	0.21*
Tipulidae	Tipula	Tipula spp._tot	TIPU	V40	449	26	60	3	0.27	1.00	0.53	0.28	0.16	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*	0.02*
Valvatidae	Valvata	Valvata cristata	VCRI	V40	77	38	140	6	0.94	0.05	0.09	0.15	0.24	0.37	0.54	0.73	0.89	0.98	1.00	0.94	0.83	0.69	0.55	0.42	0.32	0.23	0.17	0.12	0.09	0.07