

RhônEco

Observatoire Ecologique de la Restauration du Rhône

Proposition technique 2024-2028

Version du 05/12/2023



RhônEco

Observatoire Ecologique de la Restauration du Rhône

<https://asso.graie.org/portail/recherche/rhoneco/>

Proposition technique 2024-2028

Version du 05/12/2023

INRAE (Unités RiverLy, Lessem, Recover)

N. Lamouroux, M. Forcellini, D. Eme, A. Chaumot, C. González-Fernández, M. Alp, P. Janssen,
A. Gilles, M. Logez, H. Capra, S. Cauvy

UMR CNRS 5023 LEHNA

F. Colas, J. Pansu, C. Lebrun, A. Vernay, I. Pas-Vinas, P. Cruaud, R. Santos, S. Puijalon, N.
Garcia, J.M. Olivier

UMR CNRS 5600 EVS

J. Riquier, H. Piégay, F. Arnaud, L. Vaudor, S. Dunesme, F. Perret, L. REY

HEPIA Genève

F. Cattaneo, A. Boissezon, P. Prunier

avec le soutien du Graie

B. Morandi, A. Clémens

Les contacts privilégiés pour la préparation de la phase 2024-2028 sont Jérémie Riquier et Nicolas Lamouroux, avec l'appui de Bertrand Morandi. Le pilotage évoluera en début de programme.

La préparation du programme bénéficie de l'aide de collègues partant bientôt en retraite (J.M. Olivier, E. Castella, G. Carrel) et de personnels temporaires dont le positionnement futur sur RhônEco est en construction (A. Boissezon).

A) RhônEco au sein du Plan Rhône-Saône

L'observatoire scientifique de la restauration du Rhône (RhônEco) fait suite au suivi mis en place dans le cadre du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône lancé en 1998, et constitue avec l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR, 2009) l'un des programmes fédérateurs animés par la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) dans le cadre du Plan Rhône-Saône (<http://www.planrhone.fr>).

RhônEco est un programme de recherche dont l'objectif central est d'évaluer et prédire les effets des projets de restauration écologique mis en œuvre sur le Rhône. Il s'appuie sur un suivi (*monitoring*) dédié à cette problématique. Les opérations de restauration concernées sont (1) l'augmentation des débits réservés, (2) la réhabilitation physique des îles (bras alluviaux), et plus récemment (3) le démantèlement des marges alluviales (reconnexions de casiers, élargissements du chenal) et (4) les recharges sédimentaires.

Jusqu'à ce jour, les suivis et les analyses proposées dans le programme RhônEco ont concerné plus précisément l'évolution hydrosédimentaire des bras fluviaux et les réponses des communautés de poissons et de macroinvertébrés benthiques aux opérations de restauration des habitats dans les vieux-Rhône et les îles. Le suivi déployé permet une analyse à l'échelle des grands types de milieu (chenal principal et îles) et des communautés. Les protocoles permettent également de fournir des informations à l'échelle des populations.

RhônEco a une dimension d'observatoire écologique sur le temps long et contribue à la gestion de l'écosystème fluvial. Les objectifs principaux du programme sont d'analyser les effets écologiques de la restauration et de les replacer dans le contexte de changements globaux rapides actuels. Il s'agit aussi d'évaluer la capacité des équipes scientifiques à prédire les effets et de contribuer ainsi à la définition du potentiel écologique du fleuve.

Dans sa dimension d'observatoire, le programme permet en particulier de discriminer les effets relatifs des différentes mesures de restauration et les modifications induites par les changements climatiques (par ex., réchauffement de l'eau, avec des effets écologiques visibles sur plusieurs sites) ou l'arrivée de nouvelles espèces non-indigènes. Pour cette raison, l'approche comparative multi-sites et multi-secteurs est fondamentale dans RhônEco. Elle seule permet d'identifier les effets de la restauration dans un contexte de changements globaux, rapides et multifactoriels.

Dans sa dimension prédictive, RhônEco permet d'évaluer *a priori* les effets de nouvelles mesures de restauration et leur pérennité (ex : durée de vie des restaurations de îles).

Les suivis réalisés dans le cadre de RhônEco ont débuté avant les opérations de restauration, de manière à établir des états initiaux indispensables à l'évaluation des effets de la restauration. Le programme est aujourd'hui mis en œuvre sur 9 secteurs aménagés entre la Suisse et la Méditerranée (Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon, Miribel, Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Baix-Logis-Neuf, Montélimar et Donzère-Mondragon).

D'autres sites, comme le site de Bugey ou les principaux affluents du Rhône, ont régulièrement été inclus dans les analyses de RhônEco, pour participer à l'approche comparative des tendances observées à l'échelle du fleuve. Ces caractéristiques font de RhônEco un programme unique au niveau national et international en termes d'acquisition de connaissances et de retours d'expériences quant aux effets de la restauration.

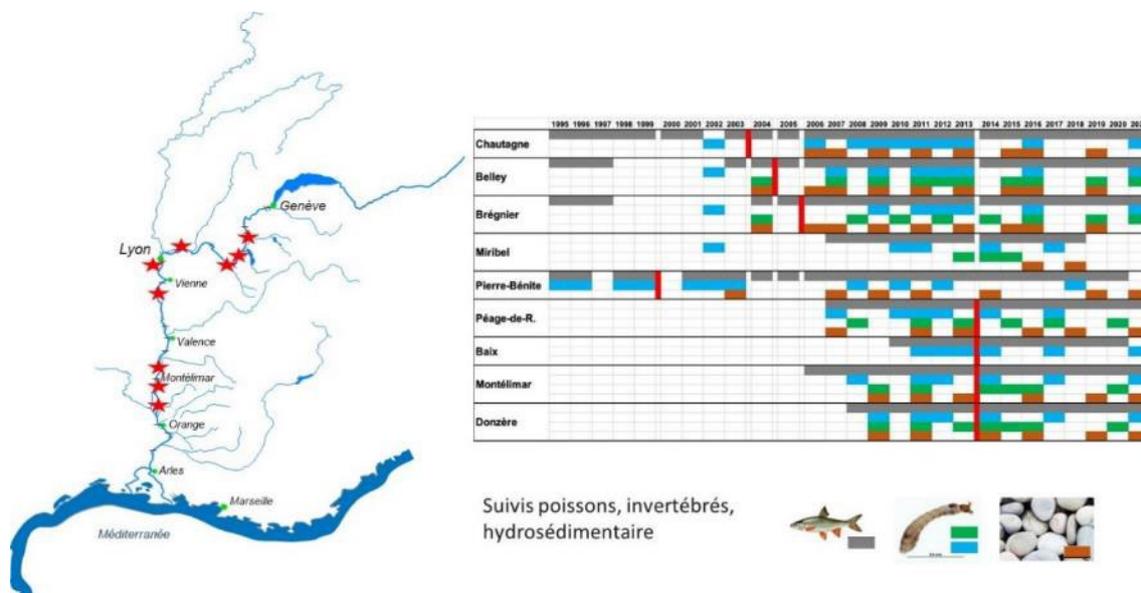


Figure 1. Les 9 secteurs principalement concernés par RhônEco. D'autres (Bugey, affluents) sont régulièrement pris en compte dans l'approche comparative. L'observation régulière, ici illustrée sur 1998-2021, sera poursuivie.

En outre, l'axe rhodanien constitue l'un des sites-ateliers de la ZABR. Les activités scientifiques y sont organisées depuis 2011 au sein de l'Observatoire Hommes-Milieus Vallée du Rhône (OHM VR), dispositif de recherche national inscrit dans le LabEx DRIIHM (Dispositif de Recherche Interdisciplinaire sur les Interactions Hommes-Milieus). L'OHM VR développe et met en lien des projets de recherche qui questionnent l'évolution contemporaine du fleuve et sa gestion.

Parmi les autres programmes structurant sur le Rhône, l'OSR aborde la compréhension des flux sédimentaires et de polluants à l'échelle du fleuve. Il amène des éléments de contexte aux descriptions d'habitats faites dans RhônEco.

RhônEco et l'OSR sont deux programmes de recherche qui contribuent au suivi opérationnel de la restauration du Rhône (et notamment des opérations de restauration des marges alluviales), sous maîtrise d'ouvrage CNR.

L'animation scientifique et technique des différents programmes de l'OHM VR ainsi que leur valorisation globale est assurée avec le soutien du Graie.

Depuis 2018, la coordination administrative et financière (multi-unités, multi-financeurs) de RhônEco est assurée par les gestionnaires du centre INRAE de Lyon (Laure Pelisson, Hervé Dumont) avec un poste mobilisé sur les dossiers ZABR (RhônEco, OSR et accord-cadre ZABR-Agence de l'eau RMC).

B) RhônEco 2024 – 2028 : Un observatoire pour guider des actions de restauration bénéfiques pour l'hydrosystème fluvial Rhône, dans un contexte de changements globaux rapides

De 1998 à 2023, le programme RhônEco a permis :

- la mise en place d'un observatoire des effets de la restauration et de protocoles appropriés ; la consolidation d'une communauté scientifique interdisciplinaire experte autour du fleuve.
- la mise en évidence de réponses écologiques significatives, diversifiées suivant les secteurs, des communautés de poissons et de macroinvertébrés, avec une augmentation de la proportion des espèces « d'eau courante » et de la biodiversité « beta » (entre types d'habitat), qui reflète la diversité des communautés et de leurs traits fonctionnels dans la plaine alluviale. Les suivis ont progressivement gagné l'ensemble des secteurs (extension sur le bas Rhône avec un effort de restauration important depuis 2014).
- le test de modèles prédictifs des effets de la restauration, et de leur durabilité. Ces tests ont montré que l'augmentation des espèces d'eau courante et de la biodiversité est en partie prévisible, et ont permis de quantifier la durabilité du stade aquatique des bras alluviaux, et l'importance particulière des bras secondaires courants.
- le transfert de connaissances, la vulgarisation et la valorisation régulière des résultats sur l'évolution du fleuve et des données associées.

La programmation 2024-2028 propose une inflexion scientifique importante du programme, afin d'aller plus loin dans la compréhension et la prédiction des effets de la restauration, tout en poursuivant les suivis en place des communautés de poissons et de macroinvertébrés. Il s'agit de comprendre pourquoi les réponses ne sont pas toujours celles prédites, de les replacer dans un contexte environnemental changeant, mais aussi de s'adapter aux nouvelles formes de restauration, dans le but d'étudier la trajectoire du fonctionnement écologique du fleuve et d'identifier les mesures de restauration qui assurent ce fonctionnement.

Les nouveautés scientifiques nous ont conduit à une proposition de programmation organisée en 5 axes de recherche interdépendants (voir détail ci-dessous). Les inflexions principales sont :

- une volonté de description « multi-facteurs » des habitats, incluant une description fine de l'identité thermique des sites/secteurs étudiés, des expositions aux toxiques, de la connectivité latérale et longitudinale des habitats. Ces co-facteurs conditionnent les réponses observées (ou non) suite aux actions de restauration. Ils sont d'autant plus importants à prendre en compte qu'ils sont déjà soumis à des changements rapides.
- une volonté d'analyser les réponses des populations, dans une optique de conservation, mais surtout pour comprendre les mécanismes biophysiques (par ex., barrière à la dispersion, reproduction, réponses physiologiques) « clefs » et les facteurs environnementaux qui guident l'observation ou non des réponses biologiques attendues. Cette étape permettra une identification plus fine des facteurs et de potentiels effets seuils sur lesquels agir en priorité pour maintenir les populations.
- une volonté d'élargir les suivis pour avoir une vision intégrée de la biodiversité, en incluant dans RhônEco d'autres groupes biologiques (ex : végétation ripariennes, communautés microbiennes), parfois au moyen d'une phase « test » de faisabilité (macrophytes aquatiques, groupes d'invertébrés revisités). Ces différents groupes participent à la biodiversité globale, interagissent dans le cadre des réseaux trophiques et *in fine*, participent aux processus écosystémiques (e.g. cycle des biogéochimiques), et donnent une vision complémentaire des effets de la restauration.
- une volonté de relier les observations biologiques aux processus écologiques fondamentaux de l'écosystème (e.g. productivité, cycle du carbone), dont le maintien et/ou l'optimisation du fonctionnement fait aujourd'hui parti des enjeux de nombreux programmes de restauration.
- une volonté de développer des modèles prédictifs de réponses écologiques à la restauration qui intègrent les scénarios climatiques et ainsi d'imaginer le Rhône futur et être force de proposition pour anticiper les travaux de restauration/modalités de gestion à venir.

Au-delà de l'intérêt scientifique du programme proposé, visant à mieux identifier les leviers d'une restauration plus efficace et durable, l'inflexion de RhônEco vise deux objectifs :

(1) s'adapter à un contexte environnemental qui change rapidement : réchauffement de l'eau, intensification des étiages, modification des fréquences de crues, modification des connectivités inter-habitats et inter-secteurs, pollutions généralisées. Ce contexte est lui-même influencé par le contexte opérationnel : diversification des formes de restauration : changements de débits, reconnections de îlons, élargissements, recharges sédimentaires, passes à poissons, nouveaux aménagements structurants potentiels (Rhonergia, EPRs).

(2) renouveler une expertise scientifique interdisciplinaire sur le fleuve. Malgré le départ en retraite de plusieurs cadres scientifiques, le programme repose sur la continuité des compétences existantes (les scientifiques qui poursuivent leur implication s'assurent de la continuité des suivis et de la transmission de l'expertise sur le fleuve), et l'intégration de nouveaux scientifiques. Cette intégration de nouveaux scientifiques permet l'inflexion du programme aujourd'hui nécessaire, la poursuite de l'implication des équipes techniques qui

assurent les suivis et l'engagement des unités de recherche, dont l'autofinancement est très important.



Figure 2. RhônEco 2024-2028 : l'approche scientifique plus intégrée et multi-facteurs vise (1) à mieux identifier les facteurs limitants des réponses biologiques, (2) s'adapter à un contexte environnemental qui change rapidement, et (3) renouveler l'expertise scientifique sur le fleuve.

C) Description des 5 axes de recherche du programme RhôneEco 2024-2028

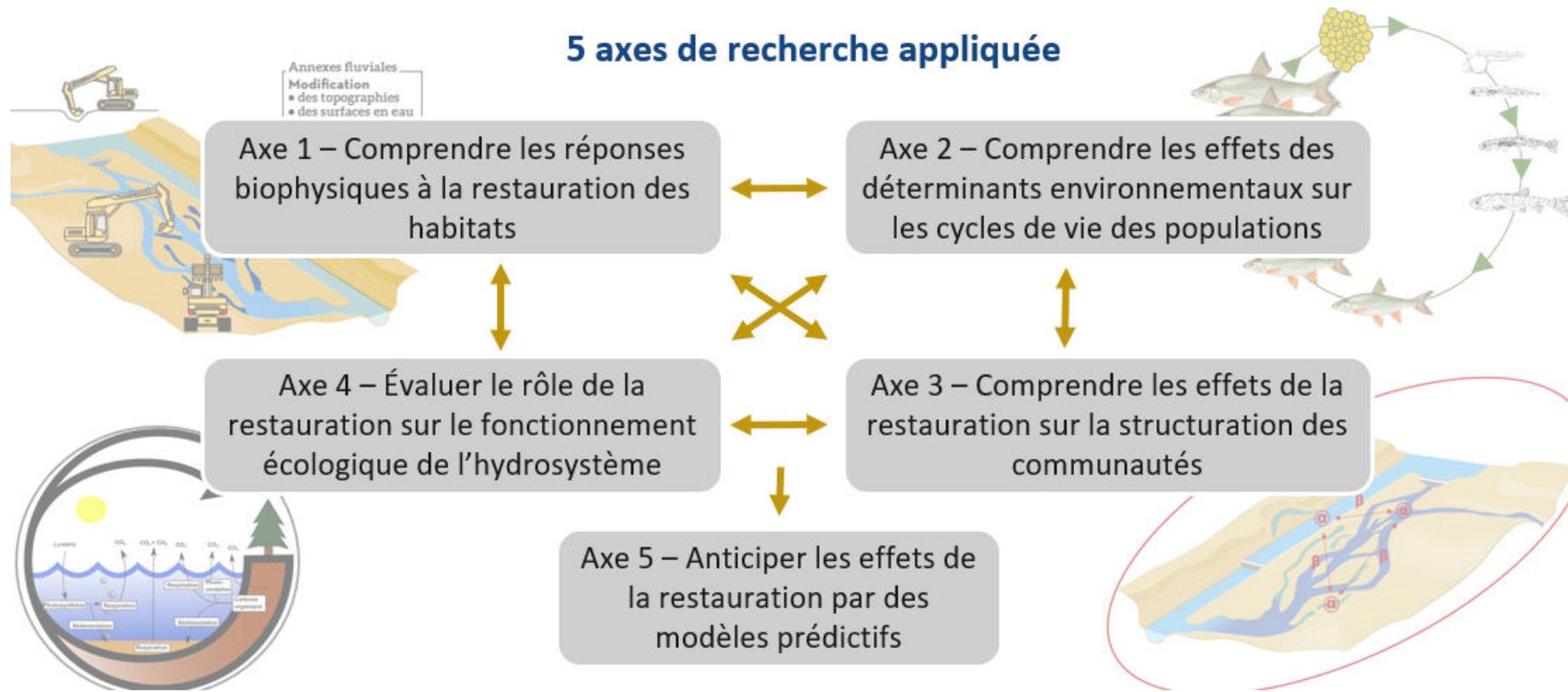


Figure 4. RhôneEco 2024-2028 : les 5 axes de recherche appliquée proposés permettent d'organiser la présentation scientifique du programme. Ils sont interdépendants et reposent en partie sur des suivis et des données mutualisées.

Axe 1 – Comprendre les réponses biophysiques à la restauration des habitats

Pilotes scientifiques : Jérémie Riquier (Université Jean Monnet Saint-Étienne, CNRS - EVS) / Arnaud Chaumot (INRAE RiverLy)

Principaux contributeurs : Jérémie Riquier (MCF), Hervé Piégay (DR), Fanny Arnaud (IR), Lise Vaudor (IR), Samuel Dunesme (IE), Franck Perret (IE), Louis REY (IE), Arnaud Chaumot (DR), Rémi Recoura-Massaquant (IE), Laura Garnero (TR), Nicolas Delorme (TR), Olivier Geffard (DR), Hervé Quéau (IE), Nicolas Lamouroux (DR), Maxime Logez (IR)

Acquis et enjeux

Des connaissances significatives ont été acquises sur cette thématique au cours des 20 dernières années, notamment concernant les descriptions physiques de conditions d'habitat dans les chenaux principaux et dans les bras latéraux (lônes). Ces descriptions sont quantifiées et ont été mises en relation avec les actions de relèvement de débit réservé et de recreusement/reconnexion de bras, pour établir des modèles prédictifs de l'ajustement des conditions physiques après restauration. Les données acquises sont utilisées pour alimenter les modèles statistiques de prédiction des réponses biologiques (cf. Axe 5). Toutefois, les enjeux de connaissances concernant la caractérisation des réponses biophysiques des habitats et l'évaluation de leur pérennité restent multiples.

Il est notamment nécessaire de (i) poursuivre les suivis des bras restaurés pour améliorer la compréhension de leur trajectoire évolutive sur le long terme et de poursuivre le croisement entre les données physiques et biologiques qui a été amorcé récemment pour les lônes. Nous notons également (ii) un manque de caractérisation précise des conditions thermiques des secteurs restaurés (e.g. échanges nappe/rivière et/ou latéraux, rôle de l'ombrage, patches froids) et des habitats thermiques associés dans un contexte de restauration nouveau (e.g. recharge sédimentaire, redynamisation latérale). Ces actions de restauration sont susceptibles d'avoir un impact non négligeable sur les patrons observés. En outre, l'hétérogénéité thermique des habitats peut être une source importante de résilience aux changements climatiques. Enfin, (iii) la caractérisation des pressions chimiques toxiques dans les habitats restaurés et la compréhension de leurs influences sur le vivant n'est que parcellaire, alors que ces paramètres constituent des facteurs limitants de premier ordre quant aux réponses biologiques observées à l'échelle des sites.

D'un point de vue opérationnel, ces connaissances doivent nous permettre d'affiner les stratégies de restauration mises en œuvre sur le fleuve, à l'échelle des secteurs ou à l'échelle des bras. Elles vont aussi permettre d'être force de proposition quant à la mise en œuvre d'une gestion adaptative, notamment sur les bras déjà restaurés qui tendent à évoluer progressivement au gré de leur remplissage sédimentaire et du déroulement des successions

écologiques et où des actions correctrices peuvent parfois s'imposer (par ex., lône Ciselande sur le secteur de Pierre-Bénite, lône des Cerisiers à Brégnier-Cordon).

Actions de recherche

Action 1.A. Comprendre finement la trajectoire évolutive des bras restaurés d'un point de vue hydro-sédimentaire et en termes de conditions d'habitat

Il s'agira tout d'abord de poursuivre l'analyse de la trajectoire évolutive des bras restaurés d'un point de vue hydrosédimentaire (atterrissement, comblement par les sédiments fins et les matériaux grossiers) et l'évaluation de l'évolution des conditions d'habitat et de la durée de vie des bras. Au-delà de la nécessité de disposer d'un recul temporel conséquent pour appréhender le fonctionnement complexe de ces milieux, la poursuite de l'axe historique « hydromorphologie des bras » et des protocoles associés se justifie notamment par la nécessité d'observer l'ajustement des bras à un ou plusieurs événements de crue rares. L'étude des bras vifs, initié au cours du programme 2019-2023 sera poursuivie, notamment pour évaluer la pertinence de la réouverture de bras vifs dans un contexte de redynamisation sédimentaire plus ambitieux (i.e. inter-compatibilité entre ces modalités d'actions ; impacts en termes de durée de vie potentielle des bras vifs). La fréquence globale des suivis des bras sera revue à la baisse de manière à pouvoir inclure dans les suivis de nouveaux bras qui seront restaurés sur les secteurs de Pierre-Bénite et de Donzère-Mondragon.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Amélioration de la connaissance de la structuration spatiale et de la dynamique temporelle du comblement des bras par les alluvions fines et grossières et de la dynamique d'atterrissement.
- Amélioration des modèles statistiques prédictifs existants (vitesse d'alluvionnement par les fines, vitesse d'alluvionnement par les matériaux grossiers, diversité des patrons granulométriques) et évaluation de la pérennité des actions réalisées.

Apports opérationnels

- Affiner la compréhension de l'évolution hydromorphologique et, plus largement, biophysique des bras, identifier les leviers d'actions les plus pertinents dans une perspective multiscale (du bras localement à l'échelle du secteur)
- Mieux accompagner la conception technique des nouvelles restaurations, ainsi que la gestion adaptative des bras déjà restaurés, dont l'évolution depuis les travaux peut nécessiter de nouvelles interventions.

Action 1.B. Décrire précisément l'hétérogénéité spatio-temporelle des habitats thermiques à l'échelle des tronçons restaurés

Une deuxième action, nouvelle dans la programmation RhônEco, visera à décrire précisément l'hétérogénéité spatio-temporelle des caractéristiques thermiques à l'échelle des tronçons restaurés (vieux-Rhône, bras et plus globalement marges aquatiques), à partir de l'exploitation de jeux de données existants et de nouvelles acquisitions. Il s'agira : (i) de réaliser des modèles statistiques de la température des vieux-Rhône étudiés, (ii) d'évaluer la sensibilité des tronçons restaurés aux changements climatiques en cours ; (iii) d'identifier et caractériser les refuges thermiques (i.e. patches froids) ; (iv) de déterminer s'il existe des relations entre les conditions hydrauliques observées pour le débit réservé et les patrons thermiques en période estivale ; et (v) d'évaluer l'incidence des travaux de recharge sédimentaire et de redynamisation latérale entrepris sur l'identité thermique des secteurs ciblés par ce type de travaux (e.g. vieux-Rhône de Pierre-Bénite).

Pour répondre à ces objectifs, les jeux de données existants au sein du collectif et d'autres jeux de données disponibles par ailleurs seront tout d'abord exploités (e.g. thèse de V. Wawrzyniak, post-doctorat de B. Marteau, ainsi que l'ensemble des chroniques de températures acquises par les équipes de RhônEco – LEHNA, Université de Genève et EVS, mais également les chroniques CNR et des données Météo France). Il s'agira également de pérenniser et de densifier le réseau de capteurs *in situ* (chenaux principaux et bras), de manière à assurer un enregistrement continu des températures le long des secteurs/sites suivis. L'ensemble de ces données seront exploitées pour l'élaboration de modèles statistiques de la température à l'échelle des différents vieux-Rhône étudiés. Les vieux-Rhône/bras sur lesquels l'ensemble des compartiments sont suivis seront ciblés en priorité. Enfin, des acquisitions infrarouge thermique aéroportées (IRT) viendront compléter les campagnes existantes de manière à caractériser l'hétérogénéité des patrons thermiques observés à très haute résolution spatiale en période estivale. Les vieux-Rhône pour lesquels CNR a développé ou va développer des modèles hydrauliques 2D, pour ses propres besoins, seront visés en priorité.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Modélisation de la température des principaux tronçons étudiés dans le cadre de RhônEco.
- Caractérisation de l'hétérogénéité spatio-temporelle des caractéristiques thermiques à l'échelle des tronçons restaurés (liens forts avec les axes 2, 3, 4 et 5).
- Identification et caractérisation des refuges thermiques.
- Évaluation de la sensibilité des VR aux changements climatiques et caractérisation des facteurs de contrôle (e.g. conditions hydrauliques pour le débit réservé, positionnement le long du corridor fluvial, influence des héritages géomorphologiques).

Apports opérationnels

- Améliorer la compréhension du fonctionnement thermique des vieux-Rhône ciblés.
- Mieux cerner l'incidence des changements hydroclimatiques actuels sur l'évolution des milieux et des communautés.
- Intégrer ces connaissances dans la stratégie de restauration du fleuve dans une vision long terme (Axe 5).

Action 1.C. Caractériser l'exposition à la contamination chimique pour évaluer son effet potentiellement limitant pour les réponses à la restauration

Une troisième action, ouvrant également une nouvelle thématique pour RhônEco, sera consacrée à la caractérisation de l'exposition à la contamination chimique dans les vieux-Rhône et les chenaux latéraux, en tant que facteur de l'habitat pouvant limiter les bénéfices de la restauration pour les populations aquatiques. L'évaluation du niveau d'exposition à la contamination chimique dans les différents secteurs restaurés le long du corridor fluvial sera réalisée à partir d'encagements de gammares, sur lesquels des analyses écotoxicologiques (bioaccumulation de contaminants, marqueurs de toxicité) seront réalisées. Ces mesures seront interprétées en termes d'indicateurs d'exposition au regard des référentiels nationaux utilisés par l'ensemble des Agences de l'eau qui utilisent cet outil. Les chenaux principaux de 8 secteurs (de Chautagne à Donzère) seront étudiés au cours de 2 saisons en début de programme, complétés par 8 lônes choisies principalement dans les secteurs du Haut-Rhône. Les attendus sont une première cartographie de la pression chimique toxique en 2024, permettant d'appréhender d'éventuels contrastes inter-secteurs, ainsi qu'une évaluation de la variabilité possible intra-secteur, i.e. entre chenal et bras latéraux (cas d'étude sur Belley, Brégnier-Cordon et Péage-de-Roussillon). Un redéploiement en 2026 sera réalisé sur la moitié des stations investiguées, afin d'évaluer la variabilité inter-annuelle des pressions identifiées en 2024.

En deuxième partie de programme, les indicateurs d'exposition à la pression chimique ainsi établis seront mis en regard avec les réponses communautaires à la restauration enregistrées sur les différents secteurs (lien avec l'axe 3), ainsi qu'avec l'évolution démographique et les premiers marqueurs d'état de santé des populations de poissons étudiés dans l'axe 2.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Production d'indicateurs de la contamination biodisponible (mesure de bioaccumulation de métaux, HAP, PCB, Pfos, insecticides organochlorés, herbicides chez les gammares) et de la pression toxique en générale (inhibition alimentaire des gammares) sur les chenaux principaux de 8 secteurs court-circuités, ainsi que sur une dizaine de bras latéraux (Haut-Rhône).

Apports opérationnels

- Capacité de vérifier si les effets de la restauration hydromorphologique peuvent être limités voire inhibés par des facteurs ayant des effets antagonistes, notamment la pression chimique susceptible de perturber les organismes aquatiques exposés voire les populations.

Axe 2 – Comprendre les effets des déterminants environnementaux sur les cycles de vie des populations des secteurs restaurés

Pilotes scientifiques : Franck Cattaneo (HEPIA) / Maria Alp (INRAE RiverLy) / Raphaël Santos (ENTPE, LEHNA)

Principaux contributeurs : Aurélie Boissezon (Adj. Sci.), Franck Cattaneo (PR), Eliane Demierre (Laborantine), David Eme (CR), Maxence Forcellini (IE), Hervé Pella (IE), Bertrand Launay (AI), Anaël Marchand (AI), Abdelkader Azougui (AI), Guillaume Le Goff (TR), Maria Alp (IR), Arnaud Chaumot (DR), Carmen Gonzalez Fernandez (CR), Davide Degli Esposti (CR), Olivier Geffard (DR), Rémi Recoura-Massaquant (IE), Laura Garnerio (TR), Nicolas Delorme (TR), Anabelle Espeyte (IE), Camille Lebrun (IE, doctorante), Jean-Michel Olivier (IR), Ivan Paz-Vinas (MC), Sara Puijalon (PR), Raphaël Santos (CR), André Gilles (MC)

Acquis et enjeux

Les réponses des communautés biotiques aux actions de restauration (notamment poissons et macro-invertébrés) sont aujourd’hui mieux comprises grâce aux suivis scientifiques de RhônEco. Les analyses réalisées dans le cadre du programme ont montré, par exemple, l’augmentation des abondances relatives des espèces de poissons d’eaux courantes en réponse aux relèvements de débits réservés. Toutefois, elles ont aussi montré que ces réponses étaient liées à certaines espèces, différentes selon le site considéré (par ex., l’ablette sur le Vieux-Rhône de Pierre Bénite, ou le barbeau sur le Vieux-Rhône de Chautagne), alors que d’autres espèces montraient peu de sensibilité aux actions de restauration (par ex., la vandoise en Chautagne). On sait également que la diversité, la complémentarité et l’accessibilité des habitats ont un rôle fondamental pour le fonctionnement des populations (thèse d’A. Bouloy en cours) avec des préférences d’habitat marquées en fonction des stades de vie (par ex., alevins, juvéniles et adultes de hotu utilisent des habitats différents). Pour les macro-invertébrés, et notamment les insectes, indicateurs clefs de la santé des écosystèmes d’eaux douces, les analyses se sont focalisées sur les stades de vie larvaires, mais avec les communautés du chenal et des lônes étudiées de manière indépendante. Les analyses effectuées jusqu’à présent ont surtout visé à quantifier la réponse de guildes écologiques (par ex., espèces d’eau courante) ou à caractériser les peuplements (par ex., le peuplement piscicole de chaque site avant/après restauration). L’hétérogénéité des réponses à la restauration entre espèces et entre sites plaident pour des analyses à une échelle biologique plus fine, en particulier à celle de la population, afin de comprendre dans quelles mesures les actions de restauration permettent d’améliorer les conditions nécessaires à la réalisation du cycle de vie des espèces. De même, il apparaît nécessaire de prendre en compte les patrons de dispersion entre populations et de connectivité inter-habitats à l’échelle du paysage fluvial pour identifier les barrières limitant/empêchant les mouvements des individus à différentes échelles spatiales (par ex., entre habitats au sein d’un secteur ou entre secteurs). L’objectif sera notamment de mieux identifier les stades de vie les plus sensibles (en termes de réponse

à la restauration, mais également en termes de conservation) et de quantifier les effets sur ces stades des facteurs environnementaux, incluant les pressions (conditions hydrauliques, fragmentation des habitats, exposition aux toxiques, température, APAVER...). Cette connaissance est déterminante pour améliorer les stratégies de restauration et de gestion adaptative.

Actions de recherche

Action 2.A. Comprendre les effets de la fragmentation et de la connectivité sur les populations d'espèces cibles (poissons, macro-invertébrés et macrophytes)

L'aménagement du fleuve depuis la fin du XIX^{ème} siècle a conduit à une déconnexion entre le chenal et la plaine alluviale (aménagements Girardon, puis endiguements et chenalisation, débits réservés) et à une fragmentation longitudinale très importante (barrages et usines hydroélectriques). Les populations des organismes associés au Rhône ont répondu à cette altération de la connectivité, parfois de manière très brutale, comme l'illustrent l'extinction de l'esturgeon ou la quasi-disparition de l'aloise feinte du Rhône après les aménagements hydroélectriques sur le Bas-Rhône. La structuration spatiale des populations que nous observons aujourd'hui est en partie le reflet de cette altération de la connectivité. Le rétablissement d'une meilleure connectivité de l'hydrosystème à différentes échelles, telle que l'ambitionne le programme de restauration, devrait se traduire par « des modifications de flux entre habitats » (augmentation des déplacements d'individus entre secteurs et habitats, meilleure dispersion des propagules, meilleure utilisation de certains habitats présentant une fonction particulière...), et donc *in fine* par des changements dans la structuration spatiale des populations, et par extension des peuplements. Nous envisageons deux approches principales pour mesurer ces « flux entre habitats ».

2.A.1. Analyser la diversité génétique des populations (poissons, macro-invertébrés, macrophytes)

Cette approche vise à comprendre comment ces populations se structurent au sein de l'hydrosystème Rhône (chenal principal + îles). L'analyse de la structuration spatiale génétique des populations apporte des informations importantes sur l'historique des flux de gènes (et donc les capacités de dispersion) entre les populations, mais aussi sur leur santé et leur potentiel de persistance dans le futur via la caractérisation de la diversité des variants génétiques au sein des populations. Actuellement, la diversité génétique (variation génétique au sein d'une espèce ou d'une population) n'a pas été étudiée dans le cadre de RhônEco et encore trop peu sur le bassin rhodanien, alors qu'elle détermine en grande partie la capacité des populations à s'adapter et donc se maintenir dans des environnements changeants. La diversité et la structure génétique seront abordées à des échelles spatiales compatibles avec les objectifs opérationnels et différentes selon la distribution des espèces cibles à l'échelle du

bassin, selon les particularités de leurs cycles de vie et leurs capacités de dispersion et de déplacement. Les effets de la restauration sur la fragmentation longitudinale seront évalués à une échelle spatiale relativement large pour les poissons, alors que les effets de la connectivité latérale (entre le chenal et les îlons) seront plutôt abordés à l'échelle des sites restaurés sur des espèces de macro-invertébrés. Afin de prioriser les stratégies de conservation (modalités de translocation, nécessité de conservation ex-situ), l'état actuel de la structure spatiale de la diversité génétique intra-spécifique de la macrophyte protégée *Sparganium emersum* et de ses habitats sera évaluée à échelle du bassin rhodanien (canaux latéraux du Rhône et principaux affluents).

2.A.1.1. Analyse de la fragmentation longitudinale

L'analyse des effets de la fragmentation longitudinale (liée à la présence d'obstacles à la dispersion tels que les barrages ou les usines hydroélectriques) sur les populations sera faite au travers d'approches génétique sur 2 espèces de poissons cibles (chevesne, barbeau), auxquelles s'ajoutera potentiellement une troisième espèce cible par la suite (ablette). Ces espèces, qui présentent une grande amplitude écologique, se retrouvent sur l'ensemble du linéaire du fleuve, ont des exigences différentes en matière d'habitat (notamment de reproduction), utilisent différemment leur milieu de vie (le barbeau est benthique, le chevesne et l'ablette sont pélagiques) et sont capables de déplacements sur de grandes distances, mais dont l'amplitude reste cependant variable entre ces trois espèces. On les retrouve donc couramment sur les mêmes sites, mais elles sont potentiellement affectées de manière différente par la fragmentation du milieu. L'analyse portera sur l'ensemble du linéaire du fleuve, en incluant les principaux affluents, de manière à obtenir une image la plus globale possible de la structuration entre les secteurs restaurés, mais également au sein des secteurs (structuration à échelle plus fine entre les tronçons court-circuités, canaux d'amenée / fuite, chenaux latéraux, affluents, confluence etc.). Pour ce faire, les échantillons seront distants de plusieurs centaines de m à quelques dizaines de km sur chaque site. L'étude vise l'échantillonnage de 30 sites X 45 individus pour chaque espèce, soit un échantillon de 1350 individus par espèce, en utilisant la méthode du RAD-seq (*Restriction-site Associated DNA sequencing*, sur la base de 3000 marqueurs SNP (*single-nucleotide polymorphism*) qui seront positionnés sur le génome de chacune des espèces). L'échantillonnage inclut 30 jeunes de l'année (alevins) et 15 géniteurs potentiels (individus > 12 cm), de manière à tester *a posteriori* si la structuration spatiale et les effets de la fragmentation diffèrent selon le stade ontogénique.

2.A.1.2. Analyse de la fragmentation latérale

L'étude proposée ici vise à tester l'hypothèse selon laquelle le degré de connexion des îlons au chenal principal aurait un effet plus ou moins prononcé sur la dispersion des organismes et sur les flux de gènes entre populations en fonction du contexte paysager environnant et du mode de dispersion de l'espèce. Cette étude de la structure et la diversité génétique des

populations de macro-invertébrés s'intéresse donc à l'interface entre milieux aquatiques et milieux terrestres, et aux interactions entre ces deux compartiments. Les investigations seront réalisées sur les secteurs de Belley et de Brégnier-Cordon (Haut-Rhône), pour lesquels un total de 17 îlots ont fait l'objet d'un suivi des macro-invertébrés dans les années précédentes. Cet historique de suivi permettra de sélectionner 3 espèces cibles, en privilégiant des espèces présentes sur l'ensemble des secteurs ciblés et caractérisées par des capacités de dispersion différentes. Les espèces cibles incluront au moins un insecte aquatique avec un stade de vie terrestre permettant la dispersion hors de la colonne d'eau, et donc potentiellement sensible aux conditions des habitats terrestres (qui constituent ses milieux de dispersion au stade adulte). L'échantillonnage totalisera 2250 échantillons répartis sur une trentaine de points et inclura, en plus du chenal principal et des îlots avec différents degrés de connexion au fleuve, des points sur les affluents du Rhône présents dans le secteur. Des tests préliminaires sur les échantillons des espèces sélectionnées permettront de choisir la méthode moléculaire la plus adaptée avec des marqueurs offrant une résolution suffisante à l'échelle spatiale prise en compte (les SNPs ou les microsatellites). Les analyses génétiques seront complétées par des analyses de la structure du paysage avec une estimation des distances entre les points d'échantillonnage à travers les milieux aquatiques et les milieux terrestres et par des analyses mobilisant les outils de l'écologie spatiale. L'approche permettra notamment d'évaluer la perméabilité du paysage fluvial (milieux aquatiques et terrestres) au déplacement de chacune des espèces.

2.A.1.3. Génétique de la conservation

Une articulation sera également construite entre les résultats de l'action RhônEco et les résultats de l'étude de la diversité génétique intraspécifique et écologique de la macrophyte *Sparganium emersum* (protégée en région Rhône-Alpes) soutenue hors RhônEco dans le cadre d'un partenariat HEPIA-CNR (portage A. Boissezon). L'objectif global de ce travail est d'établir une carte des géotypes et milieux associés à l'échelle du Rhône français à destination des gestionnaires et pépiniéristes pour les guider dans le choix des stratégies de conservation (choix des stations sources et d'accueil, nécessité de conservation *ex-situ* ou non). Elle porte sur les chenaux latéraux du Rhône, du secteur de Brégnier-Cordon jusqu'à celui de Donzère Mondragon, ainsi que sur les principaux affluents. Environ 300 échantillons ont ainsi été récoltés entre juin et juillet 2023 dans une trentaine de stations (soit une dizaine « d'individus » par station), afin de pouvoir faire une analyse comparative de la structure de la diversité génétique à différentes échelles spatiales. Le séquençage utilisera la méthode du RAD-seq afin d'obtenir des marqueurs SNP.

2.A.2. Analyser les déplacements des individus pour évaluer la fonctionnalité de la connectivité.

L'approche précédemment décrite par l'outil génétique permet d'évaluer la résultante de la fragmentation de l'hydrosystème sur le génome. Cette deuxième approche repose en premier

lieu sur l'analyse et la valorisation de données déjà acquises ou en cours d'acquisition (2.1) sur les passes à poissons au niveau des ouvrages hydroélectriques, puis dans un second temps sur les apports d'un projet connexe spécifiquement dédié à l'analyse des comportements de migration par télémétrie, et actuellement en cours de réflexion (2.2).

2.A.2.1. Analyse croisée des données RhônEco et des données des dispositifs de franchissement des aménagements hydroélectriques

Cette analyse des données collectées par les exploitants au niveau des dispositifs de franchissement des aménagements hydroélectriques (comptage dans les passes à poissons) sera réalisée sur les différents secteurs où ces données sont disponibles, incluant le Bas (par ex., passes à poissons des barrages de Donzère, de Sauveterre) et le Haut-Rhône (par ex., passe à poissons de Jons, de Villebois). Ce travail permettra des analyses comparatives entre secteurs des abondances et des tailles des différentes espèces qui franchissent les obstacles, ainsi que de leur phénologie, et des mises en parallèle avec les peuplements observés sur les secteurs à l'amont des ouvrages. Il permettra d'analyser les effets potentiels de la fragmentation sur la mobilité des géniteurs et les dynamiques de reproduction. Sur la partie aval du Rhône, en plus des espèces potamodromes, un focus particulier portera sur les « grands migrateurs » (anguille, alose feinte, lamproie marine) pour qui le rétablissement de la connectivité est un élément essentiel à la pérennité de leurs populations dans le bassin.

2.A.2.2. Articulation entre les suivis poissons RhônEco et les suivis télémétriques à large échelle actuellement en réflexion

Ce projet de suivis télémétriques actuellement en réflexion hors RhônEco (projet CNR/INRAE/HEPIA) concernera le haut-Rhône (limites non encore clairement déterminées) et apportera des éléments sur la phénologie des déplacements, sur leur amplitude, sur les différences entre espèces en termes de fractions migrante vs résidente, et sur les capacités des taxons (espèces x classe de taille ou stade ontogénique) à franchir les divers obstacles. Pour cela, un grand nombre d'individus appartenant à quelques espèces cibles (hotu, barbeau chevine, vandoise...) seront marqués selon différentes méthodes (télémétries acoustique et radio, *pit-tagging*), et suivis par des enregistreurs localisés sur des points fixes ainsi qu'en « *tracking mobile* ». Les ouvrages hydroélectriques pourront être équipés pour des analyses plus fines de la franchissabilité. L'ensemble des informations recueillies sera complémentaire au point 2.A.2.1 ci-dessus, et permettra d'accroître nos connaissances sur les effets de la restauration de la connectivité.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Structuration des populations des 2-3 espèces de poissons étudiées le long du linéaire du Rhône

- Identification des principaux obstacles à la dispersion
- Estimation des patrons de la dispersion des macroinvertébrés à l'échelle du secteur (entre habitats), et liens avec la structure du paysage
- Cartographie des géotypes et des milieux associés à *S. emersum* le long du corridor rhodanien

Apports opérationnels

- Evaluation de la fonctionnalité du paysage en termes de connectivité longitudinale (inter-secteurs) et latérale (chenal et lônes) et de diversité des habitats pour plusieurs groupes taxonomiques.
- Préconisations pour le choix des stratégies de conservation et/ou réintroduction de la macrophyte protégée *Sparganium emersum*.
- Etat « zéro » de la structuration spatiale et des flux à l'instant t, qui pourra servir de référence pour une comparaison ultérieure, notamment dans le but d'évaluer la durabilité des actions de restauration.

Action 2.B. Comprendre les effets multi-facteurs (pressions toxiques, thermiques, fragmentations, etc.) sur les dynamiques des populations

Cette action propose des approches complémentaires pour analyser les effets que différentes pressions (pressions toxiques, thermiques, fragmentations, etc.) peuvent avoir sur les cycles de vie et par conséquent sur la réponse des populations de poissons et de macro-invertébrés aux actions de restauration. L'enjeu est d'une part, de hiérarchiser les facteurs impactants et d'autre part, d'identifier les stades de vie les plus sensibles aux pressions.

2.B.1. Analyser la complémentarité des habitats de la plaine alluviale pour les populations (poissons).

Cette approche s'inscrit dans la continuité de la thèse d'A. Bouloy (programmation RhônEco 2019-2023). Le travail consistera à analyser, à partir des données « poissons » acquises dans le cadre du programme, la complémentarité des habitats du paysage fluvial pour la réalisation des cycles de vie. Il s'agira par exemple d'analyser les structures démographiques des populations avant et après restauration et de mesurer l'effet limitant de certains facteurs (température, débits, exposition à la pression chimique...) sur ces structures démographiques dans différents types d'habitats. Dans ce cadre, un travail de thèse (C. Lebrun, LEHNA) sera entrepris avec pour objectif une meilleure compréhension des liens entre traits d'histoire de vie des populations de poissons (physiologiques, biologiques en lien avec la reproduction et les premiers stades de développement ...) et caractéristiques environnementales de secteurs restaurés du Rhône. Le choix des populations concernées et des secteurs sera défini sur la base de l'analyse des jeux de données collectés sur le Rhône depuis plusieurs décennies.

2.B.2. Diagnostiquer la dégradation de l'état de santé des poissons induite par la pression chimique dans différents secteurs rhodaniens, et la mettre en regard des évolutions démographiques constatées depuis les actions de restauration.

Cette approche ciblée sur l'état de santé des poissons reposera sur l'analyse de biomarqueurs (mesures biochimiques ou protéomiques) en lien avec l'immunité, l'intégrité du matériel génétique (génotoxicité) et plus largement la réponse au contaminant (approche défensive) ou la réalisation de grandes fonctions biologiques (nutrition, reproduction, osmorégulation, communication nerveuse...). Pour viser à terme un déploiement opérationnel plus poussé dans le cadre des suivis de routine, la première partie de l'action (2024-2026) permettra d'adapter les mesures de biomarqueurs existants pour disposer de mesures moléculaires non-létales (sur prise de sang) voire non-invasives (mesures sur mucus, écailles), à un coût d'acquisition réduit (par ex., mesures haut débit), et dont le caractère prédictif d'effets pathologiques individuels pourra être validé expérimentalement. Pour cela, on s'appuiera sur des expositions en milieu contrôlé de poissons de pisciculture (truite) à des composés génotoxiques et/ou d'intérêt pour l'environnement rhodanien (HAP, PFAS), afin de garantir la sensibilité des biomarqueurs retenus aux pressions toxiques présentes sur le bassin. La truite sera sélectionnée lors du développement du protocole pour diverses raisons pratiques (accessibilité aux spécimens en pisciculture, autorisation de maintien en captivité, acclimatation). On s'attachera dès le début de l'action à transférer les méthodes de mesure sur une espèce de poisson très largement représentée à l'échelle du fleuve (e.g. le chevesne et/ou le barbeau, espèce commune avec l'étude génétique de l'axe 2A afin de mutualiser les efforts d'échantillonnage et la complémentarité des résultats). Ainsi, la deuxième partie de l'action (2026-2028) visera à mesurer chez cette espèce ces biomarqueurs sur huit secteurs (de Chautagne à Donzère), choisis en fonction de leur contraste en termes de pressions toxiques (cartographie établie dans l'axe 1C). L'évaluation de la variabilité des niveaux de ces biomarqueurs sera étudiée pour appréhender une éventuelle dégradation de l'état de santé d'individus dans certains tronçons. On envisagera de bancariser des échantillons biologiques (sang, mucus) prélevés lors de campagnes de pêche couplées aux suivis RhônEco engagés dès le début de la période. En fin de programme, un travail d'analyse de données mettra en regard ces premières évaluations de l'état de santé des individus et les capacités démographiques de l'espèce dans les différents tronçons (liens avec les autres actions de cet axe 2).

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Protocoles de mesure non invasive de biomarqueurs biochimiques en lien avec l'immunité a minima pour une espèce largement répartie sur le Rhône (par ex., chevesne).
- Protocole de mesure simultanée d'une vingtaine de biomarqueurs protéomiques non létaux, rapporteurs de l'altération de grandes fonctions biologiques chez cette même espèce, incluant des marqueurs prédictifs du risque génotoxique pour les populations piscicoles.

- Données de mesures individuelles de ces marqueurs sur une centaine de poissons de l'espèce choisie, réparties sur 8 secteurs court-circuités le long du corridor fluvial, mises en regard avec les trajectoires démographiques des populations et les indicateurs d'exposition à la pression chimique sur ces secteurs.

Apports opérationnels

- Identification et compréhension du rôle fonctionnel des différents habitats recréés pour les différents stades ontogéniques des principales espèces de poissons, ainsi que des facteurs pouvant limiter certains taxons (espèce x stade ontogénique).
- Développement d'indicateurs (moléculaires et biochimiques) permettant de caractériser l'état de santé des populations.
- Capacité de vérifier si les effets de la restauration hydromorphologique peuvent être limités voire inhibés par des facteurs ayant des effets antagonistes, notamment la pression chimique susceptible de perturber les organismes aquatiques exposés voire les populations.
- Développement d'outils prédictifs d'évaluation des risques écologiques pour les espèces piscicoles, sur la base de méthodes non-invasives et non létales, reposant sur les liens entre la réponse de biomarqueurs et les perturbations de composantes démographiques clés (reproduction, survie ou croissance).

Axe 3 – Comprendre les effets de la restauration sur la structuration des communautés

Pilotes scientifiques : David Eme (INRAE RiverLy) / Johan Pansu (Université Lyon 1, CNRS-LEHNA) / Philippe Janssen (INRAE LESSEM)

Principaux contributeurs : Johan Pansu (MCF), Camille Lebrun (IE), Noeline Garcia (TR), Sara Puijalon (DR CNRS), Antoine Vernay (MCF), Perrine Cruaud (MCF), Ivan Pas-Vinas (MCF), Jean-Michel Olivier (IR), Philippe Janssen, André Evette, Adeline François, Mathias Pires, Nicolas Lamouroux (DR), Guillaume Le Goff (TR), Abdelkader Azougui (AI), Bertrand Launay (AI), Anaël Marchand (TR), Maxence Forcellini (IE), Maxime Logez (IR), Hervé Capra (DR), Hervé Pella (IE), Martial Ferréol (IE), David Eme (CR)

Acquis et enjeux

Il s'agit de l'axe historique du programme, focalisé sur les réponses des poissons, des macro-invertébrés benthiques et, dans une moindre mesure, des macrophytes. Les résultats ont notamment permis de dessiner des tendances de réponses des communautés aquatiques à la restauration, comme une forte augmentation des espèces d'eau courante pour les poissons dans les vieux-Rhône de Chautagne, Pierre-Bénite et Baix-Logis-Neuf suite au relèvement du débit réservé et une augmentation de la diversité taxonomique des macro-invertébrés benthiques après la restauration des îlons du Haut-Rhône.

Ces recherches se sont concentrées sur deux types d'opérations de restauration : le relèvement des débits réservés et la reconnexion/recreusement des îlons. Les résultats de la restauration sur la diversité et la composition des communautés sont globalement positifs à l'échelle de l'ensemble des tronçons restaurés (chenaux principaux et bras), mais les réponses apparaissent : a) contrastées entre les secteurs (e.g. pour les communautés de macro-invertébrés benthiques, Pierre-Bénite répond conformément aux attentes, contrairement à Baix-le-Logis-Neuf), et b) partiellement expliquées par les paramètres abiotiques historiquement mesurés notamment les conditions hydro-sédimentaires. Ces résultats nous poussent aujourd'hui à prendre en compte des facteurs additionnels, aussi bien biotiques qu'abiotiques, afin de mieux comprendre, expliquer et potentiellement prédire l'évolution de ces situations (cf. axe 5).

Les poissons et macro-invertébrés benthiques se situent en effet à des niveaux intermédiaires voire élevés dans les réseaux trophiques ; leurs réponses sont donc au moins partiellement dépendantes de celles des niveaux trophiques inférieurs. De ce fait, il apparaît nécessaire de mieux prendre en compte le groupe des producteurs primaires et les cortèges associés, à savoir la végétation aquatique et riveraine, le phyto/zooplancton, les champignons et les bactéries. Cela est d'autant plus justifié que les réponses de ces communautés à la restauration peuvent être plus rapides et directes que celles observées chez les communautés de poissons et de macro-invertébrés benthiques. Par ailleurs, l'inclusion des réponses d'une

plus large diversité de groupes taxonomiques, comme les communautés végétales riveraines, permettra de tester les effets des nouvelles opérations de restauration mises en place depuis quelques années déjà sur le Rhône (e.g., démantèlement des casiers Girardon). D'autre part, dans un contexte de changement global multi-pressions, exacerbé par les changements climatiques en cours (e.g. augmentation des températures, altération des régimes hydrologiques), il s'agira de replacer ces réponses dans un cadre multi-factoriel plus large afin de mieux comprendre l'influence relative non seulement des facteurs hydro-sédimentaires historiquement mesurés mais également d'autres facteurs tels que l'exposition aux toxiques ou encore la thermie.

Finalement, notre vision globale et notre compréhension de la biodiversité à l'échelle du paysage fluvial rhodanien (chenaux principaux, îlons et marges alluviales) sont encore parcellaires, car les communautés du chenal et des îlons ont souvent été analysées séparément sur les différents secteurs. De ce fait, l'importance des actions de restauration pour le maintien de la biodiversité à l'échelle régionale n'a pu être que partiellement évaluée. Dans cette nouvelle programmation, nous développerons une vision plus intégratrice de la dynamique spatio-temporelle des communautés à différentes échelles spatiales de l'hydrosystème, i.e., à l'échelle locale, en incluant la mosaïque des habitats de la plaine alluviale, et à l'échelle du corridor fluvial, en contrastant les différents secteurs suivis historiquement, qui présentent des contextes socio-écologiques et des histoires de restauration variés. Disposer de cette vision intégrée des différentes composantes de la biodiversité à l'échelle de l'hydrosystème permettrait d'affiner notre évaluation de la restauration et notre compréhension d'un panel plus large de facteurs explicatifs de la réussite (ou non) des travaux engagés et à venir, mais également de resituer le rôle de la restauration écologique dans le maintien de la biodiversité du Rhône dans un contexte de changements globaux.

Actions de recherche

Action 3.A. Décrire les réponses des communautés aquatiques et riveraines aux opérations de restauration

L'objectif de cette action est de décrire les réponses des communautés aquatiques et riveraines aux opérations de restauration mais aussi d'évaluer les trajectoires de ces mêmes communautés dans un contexte de changements globaux. Cette action est divisée en quatre sous-actions : 3.A.1 Pérenniser les suivis existants dans un objectif d'observatoire à long terme des tendances post-restauration chez les poissons et macro-invertébrés benthiques ; 3.A.2 Intégrer le suivi des communautés riveraines pour mieux comprendre les effets de la redynamisation des marges alluviales ; 3.A.3. Améliorer les protocoles d'échantillonnage et de description des communautés aquatiques ; 3.A.4 Intégrer de nouveaux groupes taxonomiques aquatiques dans les suivis, en particulier les producteurs primaires et les décomposeurs.

3.A.1. Pérenniser des suivis existants dans un objectif d'observatoire à long terme des tendances post-restauration chez les poissons et macro-invertébrés

Nous poursuivrons les suivis historiques de poissons et de macro-invertébrés benthiques du chenal et des lônes sur plusieurs sites restaurés, en suivant la méthodologie mise en place à l'origine du programme RhôneEco, et réactiverons les suivis de macrophytes des lônes initiés il y a plusieurs années. Cette pérennisation de l'existant est essentielle pour à la fois (i) comprendre les effets de la restauration dans le temps et leur durabilité, (ii) continuer à alimenter les modèles prédictifs des effets de la restauration (cf. axe 5), mais également (iii) conforter la position du programme RhôneEco comme un des observatoires (cf. OSR) plus global de l'évolution de l'hydrosystème rhodanien dans un contexte multi-pressions.

La réactivation du suivi des macrophytes des lônes se fera à partir d'une synthèse des données existantes et d'une nouvelle campagne d'acquisition pilote. Le suivi de la végétation aquatique permettra d'inclure un groupe de producteurs primaires important pour les niveaux trophiques supérieurs et fortement impliqué dans les flux de carbone (lien avec l'axe 4). Le suivi de la diversité des macrophytes sera complété par des suivis de traits morpho-anatomiques, de manière à affiner notre compréhension des réponses fonctionnelles des communautés aquatiques.

De plus, nous prévoyons de répliquer les suivis déjà mis en place sur de nouveaux sites qui connaîtront des opérations de restauration sur la période 2024-2028. Cela se fera notamment dans le cadre de discussions avec les partenaires, en particulier CNR, afin d'avoir une vision à plus long termes des sites candidats et des calendriers associés (e.g., afin d'anticiper la mise en place de suivis pré-restauration pluriannuels consécutifs).

3.A.2. Intégrer le suivi des communautés riveraines pour mieux comprendre les effets de la redynamisation des marges alluviales

Historiquement, le programme RhôneEco s'est concentré sur deux types d'opérations de restauration, à savoir l'augmentation des débits réservés et la reconnexion de bras. Cette sous-action a pour objectif d'intégrer les suivis mis en place depuis 2017 sur plusieurs sites démantelés (enlèvement des épis et casiers Girardon et reprofilage des berges), afin de redynamiser les marges alluviales. Il s'agira ainsi de pérenniser les suivis mis en place sur les sites de Baix, Cornas, Banc rouge et Bourg-Saint-Andéol, mais aussi d'étendre la méthodologie développée aux sites concernés par des opérations similaires sur la période 2024-2028. Tout comme pour le compartiment aquatique, cette pérennisation apparaît essentielle pour comprendre la plus-value écologique des opérations de restauration, caractériser les facteurs clés structurant les communautés de plantes, mais aussi évaluer les trajectoires d'évolution des secteurs restaurés.

Parallèlement et afin de disposer d'une image plus intégrative de la biodiversité riveraine des sites restaurés, un suivi centré sur la faune riveraine sera initié. Des inventaires des communautés d'invertébrés terrestres (a minima araignées, cicadelles et carabes) seront ainsi

réalisés sur les zones démantelées suivant un protocole dédié. Il s'agira ici de caractériser les communautés d'invertébrés ayant colonisé les marges alluviales restaurées, de relier les patrons observés aux caractéristiques des habitats recréés (e.g., granulométrie du substrat, structure et composition de la végétation), et au final d'identifier les paramètres clés structurant la biodiversité riveraine des marges du Rhône (approche multi-taxonomique des communautés). Au-delà de fournir des éléments opérationnels relatifs à la valeur patrimoniale des habitats recréés et des communautés associées, cette approche permettra de fournir des éléments pour justifier de la pertinence ou non de certains groupes pour renseigner les effets des travaux de restauration et pour interroger la fonctionnalité des habitats recréés pour la biodiversité végétale et animale riveraine (gains écologiques).

3.A.3 Améliorer les protocoles d'échantillonnage et de description des communautés aquatiques

Les suivis existants de poissons et de macro-invertébrés benthiques reposent sur des méthodes traditionnelles de collectes (pêche électrique et filet surber) et d'identification morphologique qui présentent l'avantage de pouvoir estimer les abondances des populations en place. Toutefois, cette étape d'identification, principalement pour les macro-invertébrés, est très chronophage, coûteuse et ne permet pas toujours d'identifier précisément les organismes, faute d'expertise suffisante et de temps. Nous proposons de développer et de tester la faisabilité de nouvelles approches moléculaires de suivi de la biodiversité visant à détecter la présence (i.e. occurrence) des organismes vivant dans l'environnement à partir de leur ADN. Ces méthodes consistent à extraire et séquencer des fragments d'ADN indicateurs de l'origine taxonomique de l'organisme dont ils sont issus (i.e. barcode moléculaire). Ces approches peuvent être utilisées soit directement à partir de l'ADN prélevé sur un organisme ('barcoding') ou sur un mélange complexe d'ADN provenant de plusieurs organismes ('metabarcoding') collectés par des approches traditionnelles, mais également à partir de l'ADN environnemental (i.e., ADN extrait à partir d'un échantillon environnemental comme des sédiments ou de l'eau, sans isolation préalable des organismes ; 'metabarcoding ADNe'). En complément des suivis traditionnels, l'utilisation de ces méthodes pourrait permettre d'augmenter la fréquence d'échantillonnage pour des coûts plus modérés que les méthodes d'inventaires traditionnelles, ce qui permettrait notamment d'être en mesure de mieux appréhender la variabilité interannuelle de composition de communautés qui, pour des raisons logistiques et financières (coût élevé du tri et de l'identification), ne peuvent pas être suivies annuellement (ex : échantillonnage tous les 3 à 5 ans pour les macro-invertébrés benthiques). Le déploiement de cette approche nécessitera, au cours des deux premières années, de réaliser une étape d'inter-calibration entre approches traditionnelles et nouvelles méthodes moléculaires (via des analyses d'ADNe pour les poissons ou directement à partir des échantillons surber pour les macro-invertébrés benthiques), afin de définir le(s) protocole(s) le(s) plus adapté(s).

Dans un second temps, ces approches de « barcode moléculaire » pourraient permettre d'améliorer l'identification taxonomique de certains groupes clés de macro-invertébrés

benthiques (e.g., les chironomes, qui jouent un rôle écosystémique essentiel notamment en tant que source de nourriture pour les poissons), afin de comprendre plus finement leurs réponses biologiques jusqu'ici ignorées et ainsi mieux caractériser les changements environnementaux (restauration et/ou changement global). Si l'identification moléculaire se révèle concluante sur les nouveaux échantillons collectés, il sera également possible de tester un protocole de rétro-identification à partir des échantillons existants et préservés en collection, afin d'affiner notre compréhension des réponses de ces groupes aux opérations de restauration passées, et de tester leur statut de taxon indicateurs.

3.A.4. Intégrer de nouveaux groupes taxonomiques aquatiques dans les suivis

Nous tirerons parti des approches de metabarcoding d'ADN environnemental mentionnées précédemment pour suivre de nouveaux groupes taxonomiques situés au niveau basal des chaînes trophiques aquatiques (e.g. phyto/zooplancton, bactéries, champignons). Ces travaux, entrepris à titre exploratoire dans le cadre de ce plan quinquennal, permettront (i) d'appréhender les effets de la restauration sur d'autres groupes taxonomiques d'importance écologique, (ii) de mieux comprendre les réponses des communautés de macro-organismes (poissons, macro-invertébrés benthiques) via l'intégration de niveaux trophiques inférieurs (i.e. ressources) dont ils dépendent, (iii) d'aller vers une compréhension plus holistique des liens complexes entre biodiversité (axe 3) et processus écosystémiques (axe 4), et de leurs réponses respectives aux variations environnementales, notamment celles associées aux opérations de restauration (axe 1). Ces suivis seront effectués sur une quinzaine de sites cibles (chenal et lônes) répartis sur trois secteurs (Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon, et Donzère-Mondragon), qui présentent des histoires de restauration et des contextes socio-écologiques contrastés et seront communs aux axes 1, 3 et 4.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Pérennisation des suivis historiques des poissons et des macro-invertébrés benthiques afin de disposer d'une chronique écologique plus longue et de suivre les trajectoires temporelles de ces communautés à différentes échelles spatiales (du site au niveau régional).
- Réactivation du suivi des macrophytes afin d'évaluer les effets des travaux de restauration des lônes sur un pas de temps de 20 ans.
- Intégration du suivi des communautés riveraines afin de caractériser les effets des travaux de démantèlement et la capacité d'accueil des habitats créés.
- Développement de protocoles et test de faisabilité de nouvelles méthodologies d'échantillonnage de la biodiversité (metabarcoding et ADNe) qui pourraient permettre, à terme, d'augmenter la fréquence d'échantillonnage et d'améliorer la précision des identifications des macro-invertébrés.
- Exploration d'un élargissement des suivis à d'autres groupes taxonomiques (phyto-zooplancton, bactéries, champignons), afin de préciser les connaissances sur les facteurs

biotiques (i.e. le groupe des producteurs primaires et leurs cortèges associés) potentiellement impliqués dans les dynamiques des communautés post-restauration de macro-invertébrés benthiques et de poissons.

- Mise en place d'un suivi de plusieurs groupes taxonomiques (depuis les micro-organismes jusqu'aux poissons) sur trois secteurs présentant des histoires socio-écologiques et de restauration contrastées.

Apports opérationnels

- Poursuite de l'observatoire à long terme pour mieux comprendre les effets des opérations de restauration et du changement global sur de nombreux secteurs du Rhône, qui permettront de calibrer les modèles prédictifs (cf. axe 5).
- Élargissement des suivis à des groupes taxonomiques jusqu'alors non pris en compte et jouant un rôle important dans le fonctionnement de l'hydrosystème.
- Évaluation des effets de la redynamisation des marges alluviales sur les communautés riveraines.
- Développement exploratoire de nouvelles approches d'échantillonnage et d'identification de la biodiversité pour améliorer la fréquence des suivis, et la précision taxonomique de certains groupes, notamment de macro-invertébrés benthiques.

Action 3.B. Analyser les dynamiques spatio-temporelles des communautés à l'échelle de l'hydrosystème fluvial et l'influence de stressseurs multiples (physiques, chimique et thermique)

L'objectif de cette action est d'analyser les dynamiques spatio-temporelles des communautés à l'échelle de l'hydrosystème fluvial, afin d'évaluer l'influence relative de stressseurs multiples (physiques, chimique et thermique) et, par extension, de comprendre comment la restauration pourrait permettre d'atténuer les effets des changements globaux. Elle est divisée en deux sous-actions : 3.B.1 Analyser l'évolution temporelle de l'hétérogénéité des communautés (beta-diversité) des différents groupes à l'échelle du paysage fluvial (intra-secteur) et du corridor Rhodanien (inter-secteurs) ; 3.B.2 Décrypter l'importance relative des différents facteurs abiotiques (e.g. conditions hydrosédimentaires, contaminants, thermie) et biotiques (e.g., présence de compétiteurs, proies, espèces facilitatrices) sur la dynamique des communautés.

3.B.1. Analyser l'évolution temporelle de l'hétérogénéité des communautés des différents groupes à l'échelle du paysage fluvial et du corridor rhodanien

Dans un premier temps, il s'agira d'étudier l'évolution temporelle de l'hétérogénéité spatiale dans la composition des communautés (i.e. beta-diversité) de différents groupes taxonomiques, et ce, à de multiples échelles spatiales. A partir des données issues de l'action

3.A sur les différents habitats de la plaine alluviale (i.e. chenal et lônes), nous chercherons à vérifier si les trajectoires de différenciation des communautés de macro-invertébrés benthiques des lônes observées dans le Haut-Rhône suite aux travaux de restauration sont pérennes, et si elles s'observent également sur d'autres secteurs (e.g. Bas-Rhône). A terme, une étude comparable pourra être effectuée sur d'autres groupes taxonomiques permettant ainsi d'évaluer si les réponses sont congruentes entre taxons.

Dans un second temps, nous évaluerons via une analyse inter-secteurs si les changements globaux et/ou les opérations de restauration le long du corridor rhodanien tendent à favoriser une homogénéisation des communautés à large échelle (inter-secteurs). Nous tenterons d'évaluer dans quelle mesure les travaux de restauration participent à une homogénéisation des communautés, ou au contraire favorisent plutôt leur différenciation.

3.B.2. Démêler l'importance relative des différents facteurs abiotiques et biotiques sur la dynamique des communautés.

En disposant de chroniques écologiques plus longues, sur un nombre important de sites, nous chercherons à estimer l'influence relative de différents stressseurs sur les trajectoires à long terme des communautés. L'évolution de la dynamique spatio-temporelle des différents groupes taxonomiques sera ainsi mise en relation avec un panel de variables environnementales, incluant des variables existantes adaptées à la quantification des effets de la restauration (hydrologie, topographie, granulométrie) et d'autres nouvellement acquises dans l'axe 1 (ex. exposition aux contaminants et température), permettant de mieux quantifier les pressions associées aux changements globaux. L'importance des facteurs biotiques (e.g. présence de ressources trophiques, d'espèces facilitatrices *etc.*) pourra éventuellement être testée dans un deuxième temps, une fois les données multi-groupes acquises dans l'axe 3.A. Cette approche permettra 1) d'identifier les déterminants environnementaux (et de potentiel effets de seuil) sur les changements de trajectoires des communautés et 2) de caractériser les déterminants responsables des effets contrastés des opérations de restauration entre différents secteurs et groupes taxonomiques (e.g., en pointant des paramètres explicatifs clés). Ces analyses seront réalisées, dans un premier temps, à partir des données existantes (i.e. poissons, macro-invertébrés benthiques et végétation riveraine) et seront complétées ultérieurement par des données multi-groupes.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Analyse des patrons de beta-diversité pour évaluer les trajectoires d'homogénéisation/différenciation taxonomique des communautés au niveau intra- et inter- secteurs.
- Identification des facteurs abiotiques et biotiques structurant la dynamique spatio-temporelle à long terme des communautés.

Apports opérationnels

- Mieux comprendre le rôle de la restauration sur la différenciation des communautés notamment de macro-invertébrés sur l'ensemble des secteurs.
- Disposer d'une vision à l'échelle du corridor rhodanien de l'importance ou non du processus d'homogénéisation des communautés aquatiques et tenter de mieux comprendre les rôles respectifs joués par les travaux de restauration et les stressseurs liés aux changements globaux.
- Améliorer notre compréhension de l'importance relative des facteurs biotiques et abiotiques structurant les réponses des communautés pour calibrer des modèles prédictifs (cf. axe 5) et potentiellement mieux identifier les déterminants (i.e. facteurs abiotiques et biotiques) à l'origine des résultats contrastés des opérations de restauration passées.

Axe 4 – Évaluer le rôle de la restauration sur le fonctionnement écologique de l'hydrosystème

Pilotages scientifiques : Fanny Colas (Université Lyon 1, CNRS-LEHNA) / Aurélie Boissezon (HEPIA Genève)

Principaux contributeurs : Johan Pansu (MCF), David Eme (CR), Jean-Michel Olivier (IR), Fanny Colas (MCF), Aurélie Boissezon (Adj. sci), Sara Pujalon (DR), Perrine Cruaud (MCF).

Acquis et enjeux

L'état de santé d'un écosystème est l'expression de l'intégrité de ses caractéristiques physiques (ex., qualité de l'eau, diversité des habitats), des communautés biologiques qu'ils abritent et de l'ensemble des flux de matière et d'énergie dans l'écosystème. Ces flux de matière et d'énergie sont contrôlés par des processus écosystémiques tels que la production primaire, la décomposition de la matière organique et la rétention des nutriments. L'ensemble de ces processus constitue le fonctionnement de l'écosystème. Le fonctionnement des hydrosystèmes est caractérisé par une forte hétérogénéité spatio-temporelle exprimée par de nombreuses interactions entre 4 directions : longitudinale selon la continuité amont aval, latérale avec la zone riparienne, verticale avec le milieu interstitiel (hyporhéique) et temporelle. Malgré l'importance reconnue de l'étude du fonctionnement pour caractériser l'état de santé des masses d'eau, les méthodes de biosurveillance (ex., méthodes intégrées dans les réseaux de surveillance DCE) considèrent uniquement des indicateurs décrivant les communautés biologiques (principalement la flore aquatique, les poissons et les invertébrés), la qualité de l'eau et l'hydromorphologie.

Dans le cadre du programme RhônEco, les études se sont également intéressées à mieux comprendre les effets de la restauration sur l'habitat et les communautés biologiques aquatiques. Le fonctionnement de l'hydrosystème n'a pas été évalué directement, mais appréhendé indirectement à travers le rôle de certaines communautés biologiques dans la réalisation de processus écosystémiques *via* l'étude des traits fonctionnels des espèces (exemple : déduction des niveaux trophiques *via* les communautés de macrophytes). Ce manque d'intégration des processus écosystémiques et donc du fonctionnement fournit cependant une image incomplète de l'état de santé des écosystèmes et de leur trajectoire en réponse aux opérations de restauration et aux changements globaux. En effet, les processus écosystémiques et les communautés biologiques peuvent répondre différemment aux modifications environnementales. Ainsi, le fonctionnement des écosystèmes peut être altéré sans détecter d'altérations notables des communautés biologiques. Par exemple, la décomposition de la matière organique peut être altérée sans détecter une modification des communautés de macroinvertébrés benthiques (ex., suite à la modification des activités microbiennes et de l'efficacité dans l'utilisation de la ressource). Cette absence de concordance dans les réponses biologiques est liée au fait que les processus intègrent les conditions environnementales dans le temps, à plusieurs niveaux trophiques et à plusieurs

niveaux d'organisation biologique, de sorte que les changements opérants à un seul niveau peuvent soit se traduire par une modification de l'efficacité des processus, soit être compensés par d'autres niveaux. Les processus écosystémiques déterminent en retour les conditions d'habitat pour les organismes biologiques en contrôlant en particulier la disponibilité des ressources trophiques et la qualité de l'eau. Par conséquent, ils permettent une meilleure compréhension de la structuration des réseaux trophiques et des communautés biologiques et de leur réponse aux fluctuations environnementales. Enfin, les processus écosystémiques sont étroitement liés aux services écosystémiques dont dépendent les sociétés humaines, et il est donc essentiel d'évaluer le fonctionnement des écosystèmes pour comprendre les impacts sur les services écosystémiques.

Parmi les processus écosystémiques qui sous-tendent le fonctionnement des écosystèmes ceux associés au cycle biogéochimique du carbone (C) revêtent une importance particulière (ex., production primaire, décomposition de la matière organique). En tant qu'élément clé de toute forme de vie, le C organique représente une ressource trophique essentielle pour l'ensemble des êtres vivants. Son transfert au sein de réseau trophique et son recyclage est un facteur déterminant de la productivité du milieu, et *in fine* de la composition et de la distribution des communautés. La variation des flux de C entre maillons du réseau trophique (des producteurs primaires jusqu'aux top prédateurs) va en partie diriger la réponse des communautés à la restauration (lien axe 3). De ce fait la production primaire représente donc la clé de voûte de tout le réseau trophique. Par ailleurs, le cycle du C est directement impliqué dans la régulation du climat et le rôle des écosystèmes à capter, ou au contraire à émettre, des gaz de serre (GES) en particulier le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄). Les écosystèmes continentaux d'eau douce constituent ainsi le principal réservoir de C actif de la planète et le devenir du C dans ces milieux est ainsi reconnu comme un des leviers d'actions face aux changements climatiques en cours. En effet, ils reçoivent une quantité importante de C d'origine terrestre, dont presque la moitié est ensuite émise vers l'atmosphère sous la forme de gaz à effet de serre. Ils sont collectivement des émetteurs de C vers l'atmosphère en quantités semblables à celles absorbées par les océans. Par conséquent, la façon dont le C est transporté, transformé et stocké dans les hydrosystèmes a une forte incidence sur les budgets mondiaux de C et donc sur le climat.

Les fluctuations environnementales, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique, peuvent altérer la dynamique spatiale et temporelle du C organique en modifiant les apports (ex., réduction des apports d'origine terrestre, modification de la production primaire), le flux (ex., rétention du C organique, réduction du transport) et la transformation (ex., modification des processus de décomposition du C organique) et ainsi, affecter la structuration des réseaux trophiques aquatiques et les émissions de GES. La restauration écologique en modifiant les conditions hydromorphologiques, peut ainsi profondément modifier cette dynamique et ainsi le fonctionnement de l'hydrosystème au sein du paysage fluvial. En particulier, elle peut modifier la contribution des différents habitats de l'hydrosystème aux émissions de GES et notamment leur capacité à séquestrer ou à émettre du C vers l'atmosphère. Dans le cadre de cet axe nous nous intéresserons à évaluer les effets des fluctuations environnementales liées en particulier aux opérations de restauration sur le fonctionnement des écosystèmes *via*

l'étude des processus impliqués dans le cycle du carbone et, les rétroactions sur les communautés biologiques. Cet axe d'étude est nécessaire afin (i) d'améliorer la compréhension du fonctionnement des écosystèmes au sein du paysage fluvial dans un contexte changeant (action 4A) et (ii) d'aider à la compréhension des patrons de biodiversité et des réponses biologiques à la restauration, notamment via une meilleure compréhension de la disponibilité du carbone (envisagé comme constituant principal des ressources trophiques) pour les différents maillons du réseau trophique (action 4B). In fine, les résultats issus de ce quatrième axe ont pour objectif de mieux identifier de potentiels points de bascule du fonctionnement écologique des milieux et les caractéristiques optimales pour minimiser les émissions de GES, soutenir la biodiversité à l'échelle de l'hydrosystème rhodanien.

Actions de recherche

Action 4.A. Evaluer le fonctionnement des différents habitats de l'hydrosystème Rhône et sa réponse à la restauration

Afin d'investiguer l'effet de la restauration sur le fonctionnement des hydrosystèmes, l'action de recherche se focalisera sur trois processus écosystémiques clés impliqués dans le cycle du C soit la décomposition de la matière organique, le métabolisme écosystémique et les émissions de carbone sous la forme de GES. La décomposition de la matière organique relie la végétation riveraine et les communautés aquatiques par le biais du cycle de l'énergie et des nutriments d'origine terrestre, tandis que le métabolisme de l'écosystème est une mesure intégrative de la production et de la consommation de carbone organique (i.e. caractérise les flux de C). Les émissions de GES sont issues des processus de transformation du C et relèvent la quantité de C qui n'est pas consommé par les organismes ou stocké dans l'écosystème et exporté vers l'atmosphère. Ces processus intègrent les conditions environnementales et plusieurs niveaux trophiques à différents niveaux d'organisation biologiques permettant ainsi de refléter les réponses de communautés biologiques qui n'étaient pas intégrées dans les précédentes programmations de RhônEco (ex., communautés microbiennes). Au cours de cette action, il s'agira d'identifier les facteurs environnementaux déterminants le contrôle de ces processus afin d'anticiper l'effet des actions de restauration sur le fonctionnement des écosystèmes. Nous nous focaliserons en particulier sur le rôle de la connectivité hydrologique et du niveau trophique des masses d'eau dans la structuration de ces processus. Les degrés de connectivité hydrologique au sein d'un même hydrosystème pouvant être affectés par le climat, cette action permettra de produire des premiers éléments de connaissance sur les impacts des événements climatiques sur le fonctionnement des hydrosystèmes anthropisés et leur rétroaction sur le climat.

Les processus écosystémiques seront quantifiés sur une sélection de chenaux latéraux visant à capturer une mosaïque de types de lônes diversifiée et représentative des milieux alluviaux du fleuve dont une partie a fait l'objet de travaux de restauration. Cet ensemble de sites s'inscrit sur un gradient de connectivité hydrologique avec le chenal, avec des sites connectés

en permanence (bras secondaires) et des sites non-connectés. Ces sites seront communs à l'axe 3. La dégradation de la matière organique sera appréciée par la mesure du processus de décomposition des litières. Le métabolisme écosystémique décrit la production nette de l'écosystème, soit la différence entre la production primaire brute (PPB) et la respiration de l'écosystème (RE). L'équilibre métabolique entre la production et la respiration qui fournit des ressources aux consommateurs peut se modifier de manière saisonnière ou en fonction des variations de débit, tout comme la connectivité hydrologique qui influence les apports de MO et de solutés dans les cours d'eau. Le métabolisme sera quantifié par des mesures à haute fréquence des concentrations en oxygène dissous. Les émissions de GES seront quantifiées par la méthode des gradients de concentrations à l'interface entre l'eau et l'atmosphère.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Analyse des facteurs de forçage environnementaux du fonctionnement des hydrosystèmes
- Un bilan des émissions de C à différentes échelles spatiales et production d'un scénario sur l'évolution de ces émissions C
- Une cartographie fonctionnelle des habitats au sein du paysage fluvial

Apports opérationnels

- Produire une première quantification du rôle du paysage fluvial rhodanien dans le cycle global du C
- Identification de leviers de restauration pour mitiger les effets sur le climat
- Développement d'indicateurs fonctionnels basés sur la mesure des processus écosystémiques visant d'une part à traduire les effets des opérations de restauration et d'autre part à identifier des leviers pour des opérations de restauration futures dans un contexte de changement climatique.

Action 4.B. Comprendre les rétroactions entre les processus écosystémiques et les communautés biologiques

Cette action vise à mieux comprendre les relations entre les processus écosystémiques et les communautés biologiques. Comme expliqué en introduction les processus écosystémiques résultent des activités biologiques et en retour, influence la structuration et la réponse des communautés. La compréhension de ces relations devrait permettre de mieux comprendre les évolutions post-restauration des communautés et de mieux prédire les trajectoires fonctionnelles des écosystèmes. Ces rétroactions seront étudiées en (i) interrogeant les relations entre la structure (ex., diversité spécifique, fonctionnelle) et la réponse des communautés identifiées dans l'axe 3 et le fonctionnement des écosystèmes et, ii) examinant le rôle de compartiments jusqu'à présent peu (macrophytes) ou non (compartiment microbien) suivi dans RhônEco dans le fonctionnement. Afin de répondre à ce dernier objectif,

des mesures complémentaires quantitatives seront réalisées sur les macrophytes des 15 lînes sélectionnées dans l'action 4.A, à savoir (i) la biomasse (poids sec des macrophytes récoltée sur une surface standard) et (ii) le contenu en carbone. Sur ces mêmes sites, des approches de génomique environnementale seront employées pour caractériser d'un point de vue taxonomique et fonctionnelles les communautés de micro-organismes impliquées dans la dégradation de la matière organique et la régulation des flux de carbone.

Principaux résultats attendus à horizon 5 ans

- Analyse des relations entre processus écosystémiques et maintien de la biodiversité.
- Analyse des patrons de diversité des communautés de macrophytes et des facteurs structurants la distribution des assemblages.
- Analyse du rôle des communautés microbiennes dans la transformation du C organique ;

Apports opérationnels

- Développement exploratoire d'un modèle intégrateur des relations entre restauration (ex., connectivité hydrologique), processus et biodiversité.

Axe 5 – Anticiper les effets de la restauration par des modèles prédictifs

Pilotes scientifiques : Nicolas Lamouroux (INRAE RiverLy) / Jérémie Riquier (Université Jean Monnet Saint-Étienne, CNRS - EVS)

Principaux contributeurs : pilotes scientifiques des axes 1 à 4.

Acquis et enjeux

L'élaboration et la validation de modèles prédictifs mettant en relation les variables physiques clés modifiées par la restauration (e.g. débit dans les vieux-Rhône, fréquence de connexion des bras) pour prédire les réponses des milieux et des communautés vivantes constituent le cœur de RhônEco depuis le début du programme.

Certains de ces modèles ont déjà contribué à guider les actions de restauration. Toutefois, le contexte de changements climatiques rapides dans lequel la restauration s'inscrit actuellement n'a, jusqu'à présent, pas été considéré.

Actions de recherche

La modélisation couplant données biologiques et physiques sera poursuivie dans le cadre de RhônEco et un travail sera réalisé afin de commencer à intégrer les scénarios de changements. Il s'agira notamment de s'emparer des scénarios de changements climatiques établis pour le fleuve, du point de vue de l'évolution thermique du fleuve et des débits, et d'intégrer ces paramètres dans les modèles statistiques prédictifs pour disposer de scénarios prospectifs d'évolution biophysique potentielle des milieux restaurés. En d'autres termes, l'approche permettra d'intégrer des scénarios prospectifs aux modèles statistiques RhônEco sur l'évolution des paramètres physiques d'habitat (e.g. conditions hydrauliques, fréquence de connexion, température de l'eau, vitesse d'alluvionnement des bras) et de disposer de projections biologiques scénarisées (e.g. en termes de proportions d'espèces d'eau courantes, mises à jour des modèles de distribution d'espèces, modèles relatifs à la structure des communautés et à la biodiversité, ou encore des modèles liés au métabolisme et au cycle du carbone qui peuvent devenir très limitants à l'avenir).

D) Suivis sur les différents thèmes/compartiments

Pilotes scientifiques : Maxence Forcellini (INRAE RiverLy) et Camille Lebrun (CNRS, LEHNA)

Les suivis réalisés devront être coordonnés (calendriers, secteurs, sites) afin de maximiser la collecte de données et de permettre des analyses croisées entre les axes, mais aussi de mutualiser les efforts de terrain (voir tableau planning suivi).

Suivis poissons

Chenal (Pérennisation des suivis existants)

L'effort d'échantillonnage est maintenu avec une campagne d'échantillonnage annuelle en fin d'été). Cette démarche est essentielle pour améliorer notre compréhension des facteurs, qu'ils soient biotiques ou abiotiques, responsables des variations interannuelles qui peuvent fortement influencer sur les tendances observées sur le long terme. 3 RCC du Haut-Rhône : Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon ; 2 RCC du Rhône moyen : Pierre-Bénite et Péage de Roussillon ; 3 RCC du Bas-Rhône : Baix le Logis Neuf, Montélimar et Donzère Mondragon

Lônes (Pérennisation des suivis existants)

L'effort d'échantillonnage est maintenu avec une campagne d'échantillonnage annuelle en fin d'été, pour les mêmes raisons que pour le suivi des communautés piscicoles du chenal. Toutefois, le suivi des lônes de Péage-de-Roussillon se poursuivra à une fréquence biennale.

Suivis macroinvertébrés benthiques

Chenal (Pérennisation des suivis existants)

1. Les 4 Vieux Rhône de Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Pierre-Bénite : Ici, notre objectif est de créer un observatoire à long terme pour ces sites, dont le relèvement du débit réservé remonte maintenant à près de deux décennies. Nous prévoyons une année d'échantillonnage, couvrant deux saisons, afin de collecter des données essentielles pour une compréhension approfondie de l'évolution de ces écosystèmes.

2. Autres secteurs du Rhône en aval de Lyon, notamment Péage-de-Roussillon, Baix-le-Neuf, Montélimar et Donzère-Mondragon : Ces secteurs ont connu un relèvement de leur débit réservé en 2014, plus récemment que les sites précédents. Par conséquent, nous avons prévu deux années d'échantillonnage pour continuer à évaluer les tendances à long terme des trajectoires des communautés après les opérations de relèvement du débit réservé.

Lônes (Pérennisation des suivis existants)

Pérennisation des suivis existants dans un objectif d'observatoire à long terme des tendances post-restauration. Nous avons décidé de réduire l'effort d'échantillonnage des communautés de macroinvertébrés des lônes en mettant fin aux campagnes estivales, car le compromis entre informations gagnées et coûts financiers/humains semblaient acceptable au regard de deux études réalisées récemment sur le Haut-Rhône (Marle et al. 2021, 2022).

Suivis hydromorphologiques

Lônes (Pérennisation des suivis existants)

Les deux protocoles de suivi sont maintenus sur l'immense majorité des bras étudiés lors de la précédente programmation et la fréquence d'échantillonnage est revue à la baisse, de manière à pouvoir inclure dans les suivis de nouveaux bras qui seront restaurés sur les secteurs de Pierre-Bénite et de Donzère-Mondragon.

Le protocole classique (mesures des hauteurs d'eau et des épaisseurs de fines, caractérisation de la granulométrie des dépôts de fines) sera maintenu sur 28 lônes réparties sur 7 secteurs. Un minimum de deux campagnes seront réalisées (2025 et 2027 ; une campagne supplémentaire sera réalisée, si besoin, pour évaluer plus finement les effets d'un évènement de crue rare). Les analyses granulométriques des prélèvements de sédiments fins, réalisées jusqu'alors de manière quasi-systématique lors de chaque campagne de suivi, ne seront réalisées que lors d'une seule campagne pour les bras anciennement restaurés (date des travaux > 10 années). En effet, nos analyses ont permis de démontrer que les conditions granulométriques étaient très stables dans le temps. Seuls, les dépôts prélevés dans les bras restaurés plus récemment (< 10 années) seront analysés lors des deux campagnes planifiées.

Le protocole dédié aux bras vifs (bras connectés à leurs extrémités amont-aval avec le fleuve) sera également maintenu sur les 6 bras suivis (bilans sédimentaires, traçage sédimentaire, caractérisation de la granulométrie du fond du lit par photographie subaquatique). Le suivi post-restauration sera initié sur cette thématique sur deux nouveaux bras devant être restaurés.

Suivis thermiques

27 sondes vont être maintenues/installées pour suivre au pas de temps horaire les températures : 8 vieux-Rhône et 19 lônes seront équipés. Ces chroniques viendront compléter celles déjà obtenues par l'équipe de RhônEco et d'autres jeux de données existants (CNR notamment).

Une campagne d'acquisitions infrarouge thermique aéroportées (IRT) sera réalisée durant l'été 2025 sur 5 secteurs (vieux-Rhône + marges aquatiques) : Chautagne, Brégner-Cordon, Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon. Cette campagne viendra compléter d'autres campagnes IRT d'ores et déjà disponibles sur ces secteurs.

Suivis communautés riveraines

Invertébrés riverains

Marges (nouveaux suivis)

Nous réaliserons des campagnes de piégeage (piège Barber) et de capture au filet des communautés d'invertébrés établies sur les zones démantelées. Nous ciblerons de manière privilégiée les espèces d'araignées, de cicadelles et de carabes en raison des réponses a priori contrastées que ces taxons pourraient présenter aux travaux de restauration. L'étude de ces communautés d'invertébrés riverains permettra notamment d'évaluer la fonctionnalité des habitats recréés (bancs de galets à nu ou végétalisés) sur les zones démantelées.

Végétation riveraine

Marges (Pérennisation des suivis existants)

Nous poursuivrons le suivi des communautés de plantes riveraines des zones démantelées selon la méthodologie mise en place depuis 2017, en parallèle du programme RhônEco. Pour chaque site, l'objectif sera de disposer d'une chronique minimum de 6 années consécutives de relevés de végétation post-travaux, puis de faire un retour sur site à 10 ans ou de manière opportuniste en cas d'événement hydrologique important. Les sites qui seront démantelés au cours des 5 prochaines années seront progressivement intégrés au dispositif.

Suivis macrophytes

Lônes (reprise des suivis existants)

Réactivation du suivi des macrophytes de lônes qui se fera à partir d'une synthèse des données existantes et d'une nouvelle campagne d'acquisition pilote. Le suivi de la végétation aquatique permettra d'inclure un groupe de producteurs primaires important pour les niveaux trophiques supérieurs et fortement impliqué dans les flux de carbone. Le suivi de la diversité des macrophytes sera complété par des suivis de traits morpho-anatomiques, de manière à affiner notre compréhension des réponses fonctionnelles des communautés aquatiques.

Suivis écotoxicologiques

Lônes et chenal (nouveaux suivis)

Les chenaux principaux de 8 secteurs (de Chautagne à Donzère) seront étudiés au cours de 2 saisons en début de programme, complétés par 8 lônes choisies principalement dans les secteurs du Haut-Rhône. Un redéploiement en 2026 sera réalisé sur la moitié des stations investiguées, afin d'évaluer la variabilité inter-annuelle des pressions identifiées en 2024.

Metabarcoding et ADNe (Amélioration des Protocoles d'Échantillonnage et de Description des Communautés Aquatiques)

Lônes et chenal (nouveaux suivis)

Nous travaillerons, d'une part, à l'amélioration des protocoles d'échantillonnage et de description des communautés aquatiques pour les groupes historiques des poissons

(‘metabarcoding ADNe’) et des macro-invertébrés benthiques (‘metabarcoding’). Nous prévoyons une phase de test d’inter-calibration/comparaison avec les méthodes de suivis traditionnelles sur 2 ans afin de tester et valider les protocoles les plus adéquates. Cette étape sera donc réalisée conjointement avec les suivis traditionnels des poissons et des macro-invertébrés du chenal et des lônes prévus sur la période 2024/2025 en se concentrant sur trois secteurs clés, à savoir Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon. Dans le cadre de l’élargissement thématique du programme RhônEco, ces trois secteurs ont été sélectionnés par plusieurs actions des axes 1, 3 et 4, car ils couvrent un axe longitudinal significatif du Rhône et présentent des histoires socio-écologiques et des situations de restauration variées. D’autre part, nous nous appuyerons sur la polyvalence des approches de ‘métabarcoding ADNe’ pour inclure de nouveaux groupes taxonomiques aquatiques dans nos suivis, notamment les producteurs primaires et les décomposeurs. Pour concrétiser cette démarche, nous avons prévu un suivi sur plusieurs années de plusieurs groupes taxonomiques, allant des micro-organismes aux poissons. Ce suivi sera réalisé sur une quinzaine de sites cibles incluant le chenal et une sélection de lônes (chenal + lônes) répartis sur les trois secteurs clés (Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon). Il s’agira d’obtenir une perspective globale et diversifiée de l’évolution des communautés aquatiques dans le corridor rhodanien en restant dans un cadre logistique/humain/financier réaliste pour la mise en place de cette approche exploratoire.

Suivis biogéochimiques (axe 4)

Lônes (nouveaux suivis)

Un suivi continu de la température et de l’oxygène dissous (métabolisme écosystémique) sera mis en place sur 3 secteurs historiquement suivis dans le cadre de RhônEco : Brégnier-Cordon, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon. Un suivi saisonnier des concentrations /émissions de GES, de la production primaire, des nutriments, de la chimie globale eau/sédiments sera également assuré sur 1 secteur (par exemple Brégnier-Cordon). Enfin, un suivi de la concentration/émissions de GES, les nutriments, la production primaire, la décomposition de la matière organique et la chimie globale eau/sédiments sera réalisé à une fréquence biannuelle sur 3 secteurs (Brégnier-Cordon, Péage de Roussillon et Donzère Mondragon).

E) Gouvernance, livrables et valorisation

Coordination globale

Afin d'assurer une continuité dans la coordination du programme RhônEco, il a été décidé pour l'année 2024 que la coordination générale est assurée par Jérémier Riquier (CNRS, EVS) et Nicolas Lamouroux (INRAE RiverLy) avec l'appui de David Eme (INRAE RiverLy), Johan Pansu (CNRS, LEHNA), Fanny Colas (CNRS, LEHNA) pour la coordination scientifique.

La coordination administrative et financière est portée par INRAE-RiverLy. Elle est conduite en lien étroit avec les services gestionnaires des différents partenaires scientifiques.

La coordination et l'animation technique de RhônEco et de ses différentes instances de gouvernance est portée par le Graie. Elle consiste en :

- la préparation et l'animation du Comité de Pilotage (COPIL)
- la préparation et l'animation du Conseil Scientifique (CS)
- la gestion des interactions entre équipes de recherche, et entre partenaires scientifiques et partenaires opérationnels (exemple : réunions d'axes, ateliers, séminaires thématiques)
- la bonne intégration et le suivi des projets labellisés en lien avec RhônEco (OHM VR, OSR)
- la gestion au quotidien de RhônEco (animation courante)

Cette mission fait l'objet d'une demande de subvention annuelle du Graie, distincte de celle portée par les équipes de recherche.

Conseil scientifique

Le Conseil Scientifique oriente et organise les activités de recherche. Il fait des propositions qui sont ensuite discutées et validées collectivement par le Comité de Pilotage.

Le Conseil scientifique représente les différentes équipes de recherche impliquées dans le programme RhônEco. Il est composé des coordinateurs globaux et des responsables des différents axes scientifiques et des suivis du programme.

Il est ouvert à tous les scientifiques impliqués dans le programme.

Comité de pilotage

Le Comité de Pilotage regroupe les scientifiques (coordinateurs et responsables d'axes et des suivis) et les partenaires financiers et techniques de RhônEco. Il peut être ouvert sur invitation à tout chercheur engagé dans RhônEco.

Il prend les dispositions nécessaires à la bonne mise en œuvre des activités de RhônEco, notamment à la bonne articulation entre les enjeux scientifiques et opérationnels. Il assure le suivi du déroulement des recherches, discute de leurs réorientations éventuelles, participe à la diffusion des résultats, etc.

Livrable

Un rapport collectif unique, incluant des éléments de synthèse, et présenté lors d'un comité de pilotage est rendu annuellement (janvier/février). Ce rapport sera organisé suivant les 5 axes scientifiques du programme afin de garantir l'intégration forte des différents axes.

Gestion et mise à disposition des données

La bancarisation et la mise à disposition des données est assurée par les équipes de recherche RhônEco, dans le respect des logiques de Science Ouverte.

L'hébergement des données est assuré par INRAE RiverLy.

RhônEco contribue à alimenter les outils numériques mutualisés à l'échelle de l'OHM Vallée du Rhône (ChronoRhône, GéoRhône, Photothèque).

Valorisation

La valorisation des résultats scientifiques et des produits de recherche de RhônEco (rapports, publications, documents de synthèse, outils, etc.) implique l'ensemble des partenaires scientifiques RhônEco. Elle est coordonnée par le Graie à travers différents types d'actions :

- vérifier le contenu des livrables et les résultats, en étant le garant du travail produit et de leur compréhension par les pilotes de RhônEco et les partenaires techniques et financiers ;
- diffuser largement les connaissances acquises, notamment via les outils en ligne (site internet : <https://www.rhoneco.org/> ; portail documentaire : <https://hal.science/RHONECO> ; relais d'actualités)
- amender le contenu, le graphisme et la mise en page des documents de valorisation produits dans RhônEco
- faire rayonner RhônEco à un niveau régional, national et international via l'organisation d'évènements et la participation à des évènements externes (scientifiques, techniques et grand public)

Le détail de cette mission est discuté annuellement avec les partenaires scientifiques et les partenaires financiers de RhônEco afin d'être au plus près des besoins de gestion et des avancées du programme. Elle fait l'objet d'une demande de subvention annuelle du Graie, distincte de celle portée par les équipes de recherche.

F) Budget RhônEco 2024-2028

	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
CNRS-EVS						
Permanents	59 290	59 290	57 785	57 785	57 785	291 935
CDD	39 425	65 900	43 700	65 900	37 365	252 290
Analyses, consommables (petit matériel)	10 500	10 500	10 500	10 500	10 500	52 500
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	25 000
Sous traitance	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	10 000
Frais d'environnement (20% de la subvention)	14 231	20 850	15 300	20 850	13 716	84 948
Coût complet	130 446	163 540	134 285	162 035	126 366	716 673
Subvention	71 156	104 250	76 500	104 250	68 581	424 738
CNRS-LEHNA						
Permanents	176 652	140 696	138 309	138 309	146 267	740 232
CDD	55 000	55 000	55 000	55 000	55 000	275 000
Analyses, consommables (petit matériel)	65 000	45 000	45 000	45 000	45 000	245 000
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	50 000
Sous traitance	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	10 000
Frais d'environnement (20% de la subvention)	33 000	28 000	28 000	28 000	28 000	145 000
Coût complet	341 652	280 696	278 309	278 309	286 267	1 465 232
Subvention	165 000	140 000	140 000	140 000	140 000	725 000
INRAE-RiverLy						
Permanents	193 845	193 845	193 845	193 845	193 845	969 223
CDD	30 000	50 000	100 000	130 000	80 000	390 000
Analyses, consommables (petit matériel)	32 000	32 000	32 000	32 000	32 000	160 000
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	11 000	15 000	15 000	15 000	15 000	71 000
Sous traitance	45 000	55 000	55 000	55 000	45 000	255 000
Frais d'environnement	147 035	163 066	186 641	200 786	172 496	870 022
Coût complet	458 879	508 910	582 485	626 630	538 340	2 715 245
Subvention	153 500	196 000	258 500	296 000	221 000	1 125 000
INRAE-LESSEM						
Permanents	20 265	42 622	42 622	42 622	20 265	168 396
CDD	3 329	40 625	40 625	40 625	3 329	128 533
Analyses, consommables (petit matériel)	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	10 000
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	9 375	9 375	9 375	9 375	9 375	46 875
Sous traitance	0	10 000	10 000	10 000	0	30 000
Frais d'environnement	16 488	49 329	49 329	49 329	16 488	180 964
Coût complet	51 457	153 952	153 952	153 952	51 457	564 768
Subvention	18 380	77 500	77 500	77 500	18 380	269 260
INRAE-RECOVER						
Permanents	45 120	30 080	30 080	22 560	22 560	150 400
CDD	0	0	0	0	0	0
Analyses, consommables (petit matériel)	55 000	4 000	4 000	25 000	0	88 000
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	3 000	1 000	1 000	3 000	1 000	9 000
Sous traitance	0	0	0	0	0	0
Frais d'environnement	48 621	16 540	16 540	23 839	11 109	116 649
Coût complet	151 741	51 620	51 620	74 399	34 669	364 049
Subvention	72 500	6 250	6 250	35 000	1 250	121 250
HEPIA						
Permanents	93 000	75 650	59 100	59 100	59 100	345 950
CDD	115 000	75 000	147 640	147 640	147 640	632 920
Analyses, consommables (petit matériel)	0	0	0	0	0	0
Equipement	0	0	0	0	0	0
Missions	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	50 000
Sous traitance	0	0	0	0	0	0
Frais d'environnement	25 000	17 000	26 000	26 000	26 000	120 000
Coût complet	243 000	177 650	242 740	242 740	242 740	1 148 870
Subvention	125 000	85 000	130 000	130 000	130 000	600 000
Coût complet de l'Action	1 377 175	1 336 368	1 443 391	1 538 065	1 279 838	6 974 837
Subvention de l'Action	605 536	609 000	688 750	782 750	579 211	3 265 248
% Subvention / coût complet	44%	46%	48%	51%	45%	47%

G) Proposition de Plan de financement

Plan de financement global	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
CNR	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000	750 000
EDF	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	100 000
FEDER	100 000	100 000	150 000	250 000	0	600 000
Région AURA	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	50 000
AE RMC	325 536	329 000	358 750	352 750	399 211	1 765 248
total	605 536	609 000	688 750	782 750	579 211	3 265 248
CNRS-EVS	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
AE RMC	31 156	64 250	36 500	64 250	28 581	224 738
CNR	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	200 000
<i>% agence / coût complet</i>	<i>24%</i>	<i>39%</i>	<i>27%</i>	<i>40%</i>	<i>23%</i>	<i>31%</i>
CNRS-LEHNA	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
AE RMC	115 000	90 000	90 000	90 000	90 000	475 000
CNR	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	200 000
Région AURA	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	50 000
<i>% agence / coût complet</i>	<i>35%</i>	<i>34%</i>	<i>34%</i>	<i>34%</i>	<i>34%</i>	<i>34%</i>
HEPIA	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
AE RMC	85 000	45 000	90 000	90 000	90 000	400 000
CNR	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	200 000
<i>% agence / coût complet</i>	<i>35%</i>	<i>25%</i>	<i>37%</i>	<i>37%</i>	<i>37%</i>	<i>35%</i>
INRAE	2024	2025	2026	2027	2028	2024-2028
AE RMC	94 380	129 750	142 250	108 500	190 630	665 510
FEDER	100 000	100 000	150 000	250 000	0	600 000
CNR	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	150 000
EDF	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	100 000
<i>% agence / coût complet</i>	<i>14%</i>	<i>18%</i>	<i>18%</i>	<i>13%</i>	<i>31%</i>	<i>18%</i>



Suivi scientifique
de la restauration
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires techniques et financiers



Cofinancé par
l'Union européenne