

Projet BEECOVER

Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires est-elle réelle et inéluctable ?

Action 68 - AC IRSTEA - Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires (N° Opération 722 2018 005)

Rapport final - rendu le 01.12.2022



© Vincent BRETON, INRAE

Coordination : Vincent BRETON & Fanny DOMMANGET (LESSEM, INRAE Grenoble)

Autres contributeurs : Nathan DAUMERGUE ; Sébastien DE DANIELI ; Marie DIDIER ; Marie-Anne DUSZ ; André EVETTE ; Nicolas FANIN ; Gilles FAVIER ; Adeline FRANCOIS ; David GENOUD ; Jacky GIREL ; Sébastien IBANEZ ; Delphine JAYMOND ; Philippe JANSSEN ; Eric MERMIN

INRAE

agence
de l'eau
RHÔNE MÉDITERRANÉE
CORSE
établissement public de l'État

Table des matières

Remerciements	4
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	7
Liste des annexes	8
1Contexte et objectifs du projet BEECOVER	9
1.1 Volet 1 - Etat des lieux des cortèges floristiques en milieu rivulaire	9
1.2 Volet 2 - Réversibilité et restauration active - Cas d'étude de la restauration des berges envahies par les renouées asiatiques	10
2Volet 1 : Etat des lieux des cortèges floristiques en milieu rivulaire	12
2.1 Introduction, analyse bibliographique.....	12
2.1.1 Invasions végétales	12
2.1.2 Communautés rivulaires et sensibilité aux invasions	14
2.1.3 Situation des hydrosystèmes du Haut-Rhône.....	15
2.1.4 Questions de recherche et hypothèses de travail	17
2.2 Analyse diachronique de cartographies de végétation	18
2.2.1 Matériel et méthodes	18
2.2.2 Résultats : analyse diachronique des cartographies.....	20
2.2.3 Analyse cartographique : discussions	25
2.3 Analyse diachronique de relevés floristiques	27
2.3.1 Matériel et méthodes	27
2.3.2 Résultats	30
2.3.3 Etude floristique : discussion	34
2.4 Conclusion – Volet 1	35
3Volet 2 : Réversibilité et restauration active - Cas d'étude de la restauration des berges envahies par les renouées asiatiques	37
3.1 Introduction.....	37
3.1.1 Les renouées asiatiques : enjeux, écologie et impact.....	37
3.1.2 La gestion des renouées asiatiques	37
3.1.3 Le génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques.....	38
3.1.4 Objectifs de l'étude.....	38
3.2 Matériels et méthodes	39
3.2.1 Recensement et description de l'utilisation du génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques sur le bassin versant du Rhône.....	39
3.2.2 Sélection des sites d'étude	40
3.2.3 Plan d'échantillonnage.....	41
3.2.4 Echantillonnage du sol.....	42
3.2.5 Echantillonnage de la flore	42
3.2.6 Capture des insectes volants	43
3.2.7 Nichoirs à insectes et suivi des émergences	44
3.2.8 Analyses statistiques.....	45
3.3 Résultats	46
3.3.1 Panorama des méthodes de génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques	46
3.3.2 Etude <i>in situ</i> comparative des milieux envahis, milieux rivulaires de référence et milieux envahis puis gérés par des méthodes de génie écologique	48
3.4 Discussions.....	61
3.4.1 Sur le génie végétal et le contrôle des renouées asiatiques.....	61
3.4.2 Sur les impacts des renouées asiatiques	61
3.4.3 Sur les effets des pratiques de génie végétal pour la gestion des renouées asiatiques	65
3.5 Conclusions sur le volet 2	67
4Indicateurs de suivi	68
5Références bibliographiques	69

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les étudiants Valentin Barbe, Héloïse Duc, Julien Pierre, Rémi Mugnier, Emeline Moulin et Gabriel Marais qui ont activement participé au contenu et à la qualité de ce travail.

Des remerciements sincères et profonds vont également vers les gestionnaires qui ont accepté de répondre aux enquêtes et pour nombre d'entre eux qui nous ont fait visiter leur territoire et le travail qu'ils ont accompli pour gérer les renouées asiatiques. Une pensée particulière pour les gestionnaires du Syndicat du Haut Rhône pour leur temps, leur intérêt et leur participation dans le partage des données et l'aide à l'interprétation des évolutions sur leur territoire ; pour les agents du Grand-Parc de Miribel-Jonage toujours disponibles et accueillants, nous ayant permis d'accéder aux sites de relevés dans les meilleures conditions ; et aux gestionnaires de l'EPAGE de la Bourbre et du SYRIBT pour leur intérêt et leur participation à la collecte des données.

Enfin, merci à François Chambaud pour sa confiance et son écoute lors de nos différents échanges.

Liste des figures

Figure 2.1 : Localisation des sites étudiés

Figure 2.2 : Evolution de l'occupation du sol

Figure 2.3 : Principales évolutions dans les habitats riverains

Figure 2.4 : Importance des peuplements envahis par des espèces exotiques à Miribel-Jonage et à la RN du Haut-Rhône

Figure 2.5 : Localisation des relevés floristiques dans les quatre sites d'étude

Figure 2.6 : Présence des espèces dans les relevés anciens (abscisses) et récents (ordonnées)

Figure 3.1 : Figure 3.1 : Plan d'échantillonnage. Trois placettes sont matérialisées sur chaque site. Au total, sept sites ont été échantillonnés, répartis sur deux bassins versants (4 sur le bassin versant de la Bourbre, 3 sur celui de la Brévenne). Les cercles colorés en bleu, blanc ou jaune représentent les coupelles de capture d'insectes (voir ci-dessous). Sur chaque placette, les relevés sont réalisés au sein d'un transect de 4*20 m (rectangle vert pâle).

Figure 3.2 : A) Schéma d'installation des coupelles pour chaque placette et B) photographie de leur mise en place *in situ* sur une des placettes © Fanny DOMMANGET, INRAE. Les encadrés pointillés entourent les jeux de trois coupelles, le cercle blanc un des deux nichoirs à insecte posés dans chaque placette.

Figure 3.3 : Nombre d'occurrences de l'utilisation des différentes techniques employées dans les ouvrages de génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques recensés.

Figure 3.4 : Efficacité des ouvrages pour le contrôle des renouées asiatiques recensés, telle qu'évaluée par les gestionnaires enquêtés.

Figure 3.5 : projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les éléments majeurs pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abréviations, se référer dans le texte.

Figure 3.6 : projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les éléments mineurs pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abréviations, se référer dans le texte.

Figure 3.7 : projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les enzymes pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abréviations, se référer dans le texte.

Figure 3.8 : barplot comparant les milieux « envahis », les milieux « restaurés » et les milieux rivulaires « de référence » sur la base de A) leur litière, B) le recouvrement végétal total, C) le pourcentage de sol nu et D) le pourcentage de bryophytes. Des lettres différentes indiquent une différence significative au seuil de 0.05.

Figure 3.9 : richesse spécifique (nombre d'espèces végétales recensées) en fonction du type de milieu (envahi, restauré, de référence). Les chiffres indiquent la richesse spécifique moyenne. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les types de milieu au seuil de 0.05.

Figure 3.10 : résultats graphiques de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les données d'abondance des espèces végétales (herbacées et ligneuses). Représentation graphique des espèces (croix rouges) et des placettes (points noirs) sur le plan des deux premières dimensions de la NMDS. Les centroïdes sont représentés selon les trois types de milieu (A), selon les sept sites différents (B) et selon les types de milieux au sein de chaque bassin versant (C). Les espèces les mieux représentées sur le plan sont reportées (D) et leur colorisation rend compte de leur association avec un des types de milieux (rouge – envahi ; jaune – restauré ; vert – référence).

Figure 3.11 : variation temporelle de la richesse spécifique en espèces végétales en fleur sur les placettes envahies, restaurées et de référence. Les lettres indiquent des différences significatives, après un test post-hoc de Wilcoxon faisant suite au test apparié de Friedman (seuil de 0.05).

Figure 3.12 : résultats graphiques de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les données d'abondance des espèces végétales en fleur (herbacées et ligneuses). Représentation graphique des espèces en fleur (croix rouges) et des placettes (points noirs) sur le plan des deux premières dimensions de la NMDS. Les centroïdes sont représentés selon les types de milieux au sein de chaque bassin versant. Les espèces les mieux représentées sur le plan sont reportées en gris. Les polygones en dégradé de bleus représentent la répartition des placettes et espèces selon les mois de l'année.

Figure 3.13 : variation temporelle de la richesse spécifique en insectes volants sur les placettes envahies, restaurées et de référence. Les lettres indiquent des différences significatives, après un test post-hoc de Wilcoxon faisant suite au test apparié de Friedman (seuil de 0.05).

Figure 3.14 : représentation graphique des résultats de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les insectes volants capturés dans les coupelles colorées en fonction A) du type de milieu au sein de chaque bassin versant, B) des mois de l'année et C) des 7 sites différents.

Figure 3.15 : représentation graphique des résultats de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les insectes volants capturés dans les coupelles colorées en fonction du type de milieu pour les mois d'Avril et de Septembre.

Figure 3.16 : Evolution temporelle du taux de remplissage des nichoirs à insectes installés sur les placettes « envahies » par les renouées asiatiques, « restaurées » et de « référence ». Pour chaque mois indépendamment, deux lettres différentes indiquent des différences significatives au seuil de 0.05 (cf. chapitre 3.2.8).

Figure 3.17 : nombre de cellules occupées en fonction des placettes « envahies », de « référence » et « restaurées » sur chaque bassin versant et chaque site. Les types de loge en légende ont été distingués par leur aspect, notamment en fonction des matériaux de construction utilisés, de leur couleur, de la présence d'un cocon, de pollen ou de proie.

Figure 3.18 : nombre d'individus identifiés après émergences appartenant au clade des Anthophila (abeilles) en fonction du type de milieu, pour les bassins versants de la Bourbre et de la Brévenne.

Figure 3.19 : Photographies d'*Apis mellifera* en train d'utiliser le nectar issu des glandes extraflorales des renouées asiatiques. Placette envahie sur le bassin versant de la Brévenne. © Fanny DOMMANGET, INRAE.

Liste des tableaux

Tableau 2.1 – Principales caractéristiques des cartographies

Tableau 2.2 – Typologie simplifiée commune aux différentes cartographies

Tableau 2.3 – Nombre de relevés en fonctions des sites et des périodes

Tableau 2.4 – Listes des données associées au relevés floristiques (approche synchronique)

Tableau 2.5 – Liste des espèces indicatrices par date de relevé (seuil de significativité $p < 0.05$)

Tableau 2.6 – Classement des meilleurs modèles prédictifs des variations des valeurs moyennes et des valeurs de dispersion des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime)

Tableau 2.7 – Evolutions entre les relevés anciens et les relevés récents des valeurs moyennes (CWM) et des valeurs de dispersion (FDis) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime) au sein des communautés inventoriées. En gras : différence significative au seuil de 0.05 (adj.p, après correction de Benjamini-Hochberg)

Tableau 3.1 – Position des sites et des placettes. BV signifie Bassin Versant. La colonne *Distance amont (m)* donne la distance à la placette en amont la plus proche.

Tableau 3.2 – Résultats des tests appariés de Friedman sur les éléments majeurs du sol et testant les différences entre types de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Les différences indiquées en gras sont significatives au seuil de 0.05 après tests post-hoc (correction de Bonferroni appliquée).

Tableau 3.3 – Résultats des tests appariés de Friedman sur l'activité enzymatique dans le sol relative à la dégradation du carbone, de l'azote et du phosphore (resp. Cenz, Nenz, Penz) et testant les différences entre types de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Les différences indiquées en gras sont significatives au seuil de 0.05 après tests post-hoc (correction de Bonferroni appliquée).

Tableau 3.4 – Identification des espèces associées aux milieux « envahis », « restaurés » et « de référence ». Les statistiques indiquées rendent compte de la force d'association entre les espèces végétales et les milieux. Seules les espèces ayant une association significative (p -value < 0.05) sont indiquées.

Tableau 4.1 – Indicateurs de suivi du projet attendus par année. Le surlignage vert pointe les indicateurs réalisés.

Liste des annexes

Annexe 2.1 : Harmonisation des nomenclatures

Annexe 2.2 : Cartographie des sites étudiés

Annexe 2.3 : Matrice d'évolution

Annexe 2.4 : Estimation (Estimate (\pm SE)) et intervalles de confiance (95% CI) pour chaque variable utilisée pour prédire (a) les variations des valeurs moyennes (CWM) et (b) les variations des valeurs de dispersion (FDis) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime) des communautés. En gras : intervalle de confiance à 95% des coefficients excluant 0.

Annexe 2.5 : Variation de (a) la moyenne (CWM) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) ; (b) la moyenne (CWM) des stratégies écologiques (valeurs de Grime) ; (c) des valeurs de dispersion (FDis) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et (d) des valeurs de dispersion (FDis) des stratégies écologiques (valeurs de Grime) sur les variables de sol et de connectivité entre les relevés anciens et récents.

Annexe 3.1 : Rapport de stage – Héloïse DUC

Annexe 3.2 : Base de données « Gestionnaires »

Annexe 3.3 : Base de données « Ouvrages »

Annexe 3.4 : ACP sur les variables paysagères

1 Contexte et objectifs du projet BEECOVER

Les espèces exotiques envahissantes (EEE), ou espèces invasives, ont pris une place importante dans les cortèges floristiques des ripisylves. On y assiste depuis plusieurs décennies à une évolution des communautés végétales qui tend souvent à un remplacement progressif des espèces natives par des EEE. Il est admis que les milieux rivulaires sont particulièrement affectés par les invasions végétales.

Les EEE sont de plus en plus prises en compte par les gestionnaires de cours d'eau, en témoignent les nombreux plans d'actions et préconisations spécifiques dans les outils de gestion (SDAGE, ...). Il est cependant noté un manque de connaissance sur les dynamiques des espèces invasives, de même que sur leurs impacts sur la biodiversité, les fonctions et services rendus par les berges de cours d'eau, ou encore sur le caractère réversible ou non de l'envahissement.

Ce projet s'intéresse aux déterminants de l'évolution de la présence des plantes exotiques envahissantes au sein des communautés végétales des berges de cours d'eau. Par l'intermédiaire d'une approche systémique de plusieurs compartiments trophiques (sol, végétation, insectes) et une approche fonctionnelle (utilisation des traits fonctionnels), ce projet vise plus spécifiquement de mesurer des fonctions essentielles des milieux rivulaires comme le support à la biodiversité en lien avec la pollinisation.

Il s'organise en deux volets qui s'intéressent à ces questions à deux échelles différentes. Le *premier volet* vise à comparer la dynamique sur plusieurs décennies des espèces végétales exotiques envahissantes des berges de cours d'eau à l'échelle paysagère. Il mobilise des données historiques, des bases de données floristiques et des relevés de terrain sur des berges de cours d'eau ayant subi de fortes modifications anthropiques. Il doit ainsi permettre d'évaluer la dynamique de colonisation par des espèces végétales exotiques envahissantes et de mettre ces éléments en regard avec les évolutions paysagères. Le *deuxième volet* s'intéresse au fonctionnement des écosystèmes envahis puis restaurés. Par une approche de terrain comparative, il vise à étudier les effets de l'envahissement par des plantes exotiques largement répandues sur les berges des cours d'eau français, les renouées asiatiques. Il vise également à tester les effets des opérations de génie végétal sur le fonctionnement de ces écosystèmes envahis puis restaurés.

1.1 Volet 1 - Etat des lieux des cortèges floristiques en milieu rivulaire

Le premier volet correspond à l'étude de la dynamique des populations de plantes exotiques envahissantes sur les berges du Rhône.

Les écosystèmes riverains ont connu de profondes modifications consécutives aux nombreux aménagements mis en place pour le contrôle du régime des crues, la stabilisation du lit des rivières ou la production d'hydro-électricité (endiguements, chenalisation, canaux de dérivation, barrages, ...). Les dynamiques spécifiques à ces milieux ont été affectées, à la fois au niveau des flux d'eau et de sédiments, avec de lourds impacts sur l'organisation des communautés végétales riveraines.

On assiste par ailleurs à une évolution des cortèges floristiques de ces écosystèmes, avec dans certaines situations une prolifération d'espèces exotiques envahissantes (EEE). Les berges des cours d'eau et les ripisylves associées sont particulièrement sensibles aux invasions végétales. Cela est dû à plusieurs facteurs : 1) les perturbations répétées, spécifiques à ces hydrosystèmes (inondations,

érosion, sédimentation), favorisent l'émergence de communautés pionnières dont fait partie la majorité des EEE, 2) les impacts des activités anthropiques déjà évoquées induisent des modifications importantes des paramètres biotiques et abiotiques et créent des conditions de milieux souvent favorables au développement des EEE, enfin 3) l'effet de corridor des cours d'eau et milieux terrestres associés, s'il est favorable aux continuités écologiques, constitue aussi un vecteur de propagation des EEE notamment par le transfert de propagules lors des crues.

L'objectif du premier volet de l'étude est d'évaluer l'importance actuelle des EEE au sein des communautés végétales rivulaires du Haut-Rhône, et de mettre en évidence les éventuelles modifications significatives et durables des compositions et successions végétales.

La zone d'étude retenue correspond à une portion du Rhône d'une centaine de kilomètres située entre Belley et Lyon. Le choix de ce tronçon s'explique par l'importance et la diversité des facteurs anthropiques observés dans ces espaces (urbanisation, aménagements, ...). Il s'explique aussi par l'importance des travaux de recherche anciens réalisés sur ces milieux (travaux de Pautou et Girel cités dans la suite du document), qui se sont traduits par de nombreux articles et documents cartographiques, et qui donnent un recul sur les évolutions des cortèges floristiques sur plusieurs décennies.

L'étude s'appuie sur des analyses comparatives de données historiques et de données récentes. Elles portent à la fois sur 1) la comparaison de cartographies de végétation et d'habitat dans l'objectif d'apprécier l'évolution du couvert des grands groupements végétaux, et d'autre part sur 2) l'évolution de la composition des communautés végétales à partir de relevés floristiques ré-échantillonnés.

1.2 Volet 2 - Réversibilité et restauration active - Cas d'étude de la restauration des berges envahies par les renouées asiatiques

Les renouées asiatiques correspondent à un complexe d'espèces parmi les plus envahissantes au monde selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. Elles colonisent en particulier les berges de cours d'eau où elles se dispersent à la faveur des crues et forment rapidement des monocultures très denses. Outre le fait qu'elles impactent la biodiversité végétale spontanée par exclusion compétitive, elles sont également reconnues pour modifier le fonctionnement biochimique du sol. Elles affectent également la composition et la structure des communautés d'invertébrés terrestres. Cependant, elles sont nectarifères et leur intérêt pour les insectes pollinisateurs a été démontré récemment (Davis et al. 2018, Johnson et al. 2019). Les effets des renouées asiatiques ne sont donc pas exclusivement négatifs et aucune étude multitrophique intégrant plusieurs composantes essentielles du fonctionnement d'un écosystème (sol, végétaux, communautés de pollinisateurs) n'existe encore.

L'omniprésence des renouées asiatiques dans nos milieux rivulaires poussent les gestionnaires à agir, afin de ralentir leur développement et d'atténuer leurs impacts (Cottet et al. 2020). Le génie écologique consistant à introduire des végétaux compétitifs dans les zones envahies par les renouées asiatiques présente plusieurs intérêts : en plus de réduire le développement des renouées asiatiques, il permet également de reconstituer une communauté végétale compétitive plus proche de celles s'établissant spontanément dans ces milieux, tout en s'appuyant sur les capacités d'auto-organisation des systèmes vivants. Les opérations de restauration écologique des zones envahies peuvent ainsi

participer à la reconstitution de nouvelles communautés végétales, y intégrant les renouées asiatiques mais réduisant leur caractère dominant, en limitant les actions humaines à la plantation / bouturage des espèces natives et leur entretien les premières années. Cependant, aucune information à ce jour n'existe sur l'effet de ces pratiques sur le fonctionnement écosystémique, que ce soit sur le retour de la flore spontanée, les composantes biochimiques du sol ou encore les communautés d'insectes qu'elles supportent. De même, il existe très peu de retour d'expérience sur les résultats à moyen terme de ces travaux pourtant lancés en nombre de plus en grand par les gestionnaires.

Le deuxième volet du projet comprend également trois parties.

Première partie : Construction d'une base de données des ouvrages de génie écologique utilisés pour le contrôle des renouées asiatiques, sur la base d'une revue de la littérature grise et scientifique et d'enquêtes auprès des gestionnaires.

L'objectif est ici de recenser les initiatives des gestionnaires mobilisant des techniques de génie écologique spécifiquement pour le contrôle des renouées asiatiques par une revue de littérature multisource complétée par des entretiens téléphoniques, sur le bassin versant amont du Rhône. La description des ouvrages (techniques mises en œuvres, espèces utilisées...) vise à brosser un portrait des pratiques mises en œuvre pour le contrôle des renouées asiatiques utilisant la concurrence d'espèces indigènes.

Une sélection des ouvrages recensés, basée sur des critères de techniques utilisées (plantations ou bouturages de ligneux), d'âge et de contexte paysager (conditions hydrologiques et géographiques proches), et complétés par des visites de terrain, constitue la base de l'échantillonnage pour les prélèvements de la suite de cette étude.

Deuxième partie : Analyse comparative de la structure et de la composition des espèces végétales entre placettes envahies, placettes restaurées et placettes de référence.

Afin de quantifier les impacts des renouées asiatiques sur la flore mais aussi de décrire les effets des pratiques de gestion utilisant le génie écologique, des comparaisons de la composition végétale entre placettes envahies, placettes de référence (cordon rivulaire forestier non envahi par les renouées asiatiques) et placettes « restaurées » (ayant fait l'objet de gestion des renouées asiatiques avec replantation de ligneux) sont réalisées. Cette approche doit permettre de positionner les placettes « restaurées » vis-à-vis des placettes de référence et de celles envahies par les renouées asiatiques.

Troisième partie : Comparaison de pièges à insectes et de carottes de sol entre les trois modalités

En utilisant la même approche comparative entre les trois types de placettes (placettes envahies par les renouées asiatiques, placettes de référence et placettes « restaurées »), l'étude des communautés d'insectes volants et de la chimie du sol permettra d'explorer d'autres compartiments de l'écosystème. En particulier, la comparaison des trois modalités sur la base de leur litière, de leur composition en azote et carbone devrait permettre d'apprécier l'impact des renouées sur le sol et l'évolution de ce dernier au cours du processus de restauration. L'étude de la composition des insectes volants, notamment des pollinisateurs, devrait permettre de rendre compte d'éventuels effets de l'envahissement par les renouées et des interventions de gestion par le génie écologique.

Le présent rapport présente les résultats des deux volets du programme de recherche BEECOVER.

2 Volet 1 : Etat des lieux des cortèges floristiques en milieu rivulaire

2.1 Introduction, analyse bibliographique

2.1.1 Invasions végétales

Si elles ne constituent pas une nouveauté à l'échelle des temps géologiques, les invasions biologiques ont pris de l'ampleur à la faveur des activités humaines, depuis le néolithique jusqu'à nos jours avec une phase d'accentuation à partir de l'époque industrielle et depuis la mondialisation des échanges. L'action de l'homme sur le développement des EEE est déterminante à deux niveaux : dans le transport fortuit ou volontaire des propagules, et dans la modification des écosystèmes devenant potentiellement sensibles à l'envahissement par les nouvelles espèces introduites.

Seule une partie des espèces introduites dans un nouvel environnement vont devenir envahissantes. D'après la règle des dizaines de Williamson and Fitter (1996), seulement 10 % des espèces introduites vont être capables de s'acclimater, et seulement 10 % d'entre elles parviendront à se naturaliser. Enfin seulement 10 % des espèces naturalisées deviendront invasives. Il s'agit là d'un ordre d'idée, assez communément observé, mais il a aussi été mis en évidence des probabilités d'invasion très différentes en particulier chez les vertébrés.

Le processus d'invasion biologique comprend plusieurs étapes avec pour chacune d'entre elles des « barrières » ou « filtres » que les populations ou espèces exotiques doivent franchir pour passer aux stades suivants (Richardson et al. 2000). Chaque étape se définit d'une part par les contraintes environnementales des milieux d'accueil, et d'autre part par les capacités biologiques (survie, reproduction, croissance, ...) des espèces introduites, leur permettant de s'adapter et d'occuper une niche écologique dans leur nouvel environnement (Catford et al. 2009). Le nombre d'étapes d'un processus d'invasion biologique comprend le transport ; l'établissement ; la naturalisation et la dispersion de l'espèce (Richardson et al. 2000).

Sensibilité des milieux

Sur un plan global, on peut s'appuyer sur la théorie de la résistance biotique d'Elton (1958) qui postule qu'une richesse spécifique importante, en diminuant la disponibilité en nutriment et en augmentant la compétition, confère aux milieux une meilleure résistance aux invasions biologiques. Stohlgren et al. (2003) ont montré que dans certaines situations *a contrario* des milieux riches en espèces indigènes comportent un plus grand nombre d'espèces non natives (« les riches deviennent plus riches »). D'autres auteurs estiment qu'il n'existe pas de relation de cause à effet directe entre richesse en espèces natives et espèces non-natives. Il semble en revanche que les communautés complexes spécifiques des milieux riches en espèces présentent des caractéristiques favorables à l'installation d'espèces exogènes (diversité des habitats, turnover). Ortega and Pearson (2005) avancent des explications d'ordre méthodologiques pour expliquer les différences de résultats observés dans la littérature scientifique : la résistance biotique aux invasions semble plus généralement être mise en évidence en situation de mésocosme, les facteurs extrinsèques étant contrôlés, à l'inverse des observations et expériences *in situ* qui concluent plutôt à une covariance entre diversité et facteurs écologiques favorables aux invasions.

Il semble par ailleurs que ces avis divergents tiennent souvent plus à des différences d'échelle d'analyse qu'à des résultats réellement contradictoires. A l'échelle régionale, il est communément

admis une corrélation positive entre la richesse spécifique des exotiques et celles des natives, les premières s'intégrant dans des communautés sans impacter la richesse en espèces natives. A l'échelle locale, une diminution de la richesse spécifique est possible en particulier dans des communautés envahies par un faible nombre voire une seule espèce exotique dominante.

Enfin, il faut aussi aborder la question des impacts des invasions végétales sur la richesse spécifique en tenant compte du rôle structurant des perturbations. En se basant sur l'hypothèse de la perturbation intermédiaire (Connell 1978) on peut prédire une plus grande richesse spécifique dans des communautés soumises à un niveau moyen de perturbations. Cette hypothèse a été reprise par Catford et al. (2012) en la contextualisant avec la problématique des invasions végétales ; ces auteurs mettent en avant un développement préférentiel des espèces exotiques lors des premières phases de succession suivant les épisodes de perturbations, grâce à une croissance rapide, à une absence d'agent parasite et d'agent pathogène, et à l'action de l'homme aggravant potentiellement les niveaux de perturbations et favorisant l'introduction de nouvelles espèces.

Cadre théorique et définition

Les travaux et recherches menés dans le champ disciplinaire de l'écologie des invasions ont pris de l'ampleur ces dernières décennies (Blackburn et al. 2011). Ils ont révélé certaines imprécisions sur des aspects sémantiques autour de la notion d'invasion biologique (Falk-Petersen et al. 2006) et la difficulté de s'appuyer sur des principes généraux recouvrant la diversité des taxons et les différentes échelles d'analyse. Davis and Thompson (2000) estiment que l'utilisation incohérente et imprécise de la terminologie de l'invasion contribue à de nombreuses difficultés et incompréhensions dans ce domaine.

Il serait trop long d'aborder tous les aspects de ce champ de recherche. Nous souhaitons mettre en avant certains travaux et avancées théoriques qui nous permettent de mieux appréhender dans le contexte de notre étude les problématiques spécifiques aux invasions végétales en milieux rivulaires.

En premier lieu, comme Alpert et al. (2000), nous considérons que la question des invasions biologiques doit être abordée en distinguant d'une part la sensibilité des écosystèmes à l'invasion (ou « invasiabilité »), et d'autre part les caractéristiques spécifiques des envahisseurs. Sur le premier plan nous nous appuyerons notamment sur l'hypothèse de la « fluctuation des ressources » de Davis et al. (2000) encadrant la notion d'invasiabilité, et sur le deuxième plan sur la définition des espèces invasives donnée par Valéry et al. (2008).

La position de Davis et al. (2000) est de se placer au niveau des communautés et d'expliquer la sensibilité à l'invasion dans un cadre général, par la concomitance d'une part d'une augmentation importante et soudaine de ressources non utilisées par les communautés natives et d'autre part de la disponibilité de propagules de plantes exotiques. L'augmentation des ressources disponibles (lumière, nutriment, eau) intervient à une fréquence irrégulière ; elle peut s'expliquer par plusieurs facteurs : déclin des populations natives suite à une perturbation, développement de ravageurs ou de pathogènes, augmentation de la disponibilité en ressources trop rapide comparée aux capacités de prélèvement par les espèces natives. Le corollaire est la baisse du niveau de compétition des populations locales.

Valéry et al. (2008) se concentrent sur les spécificités des espèces invasives et donnent une vision générale du processus d'invasion biologique, considérant que celui-ci s'applique à « toute espèce ayant surmonté les obstacles naturels à sa prolifération et acquis un avantage compétitif qui lui permet de

se propager rapidement et de conquérir de nouvelles zones au sein d'écosystèmes récepteurs où elle constitue une population dominante ». Le caractère « dominant » est ici fondamental. Il peut s'appliquer aussi bien à des espèces exotiques qu'à des espèces natives. La spécificité des invasions par des exotiques tient ici à une plus grande rapidité de développement, à la colonisation de nouveaux espaces en dehors de l'aire géographique des espèces considérées et potentiellement à un impact négatif sur les communautés natives et sur le fonctionnement des écosystèmes envahis (Bottolier-Curtet 2010).

2.1.2 Communautés rivulaires et sensibilité aux invasions

Les communautés végétales riveraines se distribuent spatialement en fonction de différents gradients environnementaux liés aux variations saisonnières des flux hydriques ; elles forment une mosaïque d'habitats diversifiés qui s'organisent selon des cycles de successions végétales plus ou moins longs en fonction de la fréquence des crues morphogènes (Ward et al. 2002, Naiman et al. 2005).

Le long du chenal principal, au niveau du système dit « actif », dominant des processus d'érosion et de sédimentation liés à des épisodes de crues réguliers. Les principales contraintes auxquelles la végétation doit faire face sont les forces érosives, les conditions d'anoxie et l'ensevelissement. Au niveau des chenaux secondaires les conditions limitantes sont principalement liées à l'anoxie, l'action érosive étant faible. Dans le premier cas (système actif), des communautés herbacées pionnières très diversifiées en espèces s'établissent sur des dépôts alluviaux et des bancs de sables ou graviers, et se renouvellent au gré des épisodes de crues (Amoros and Wade 1996). Dans le deuxième cas (principalement anoxie), les communautés herbacées sont dominées par les héliophytes (roselières, cariçaias, ...) et se maintiennent dans la durée si les conditions sont relativement stables.

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lit mineur, les perturbations hydrologiques diminuent en fréquence et en intensité. Progressivement vont s'installer des communautés pionnières à bois tendres, constituées principalement d'espèces ligneuses des genres *Salix*, *Populus* et *Alnus*. Puis, au niveau des terrasses alluviales supérieures, lorsque les crues deviennent plus exceptionnelles, les communautés évoluent vers les stades matures à bois durs dominés par les genres *Ulmus*, *Fraxinus* et *Quercus* (Ward et al. 2002).

Il est admis que les milieux rivulaires sont parmi les milieux les plus sensibles aux invasions biologiques (Tickner et al. 2001, Schnitzler et al. 2007). En dehors des perturbations anthropiques, deux facteurs explicatifs sont généralement mis en avant : 1) l'effet corridor des ripisylves induisant une connectivité entre les milieux et donc une propagation plus facile des espèces (Tabacchi et al. 2005), 2) un régime de perturbations liées aux épisodes de crues entraînant un renouvellement régulier des milieux favorables à l'installation de nouvelles espèces (Tickner et al. 2001, Zajac et al. 2011).

Les pressions anthropiques sont potentiellement des facteurs aggravants : les travaux de régulation et de chenalisation et leurs effets sur les régimes hydrologiques ont profondément modifié les communautés végétales (Mortenson and Weisberg 2010), avec notamment une augmentation du couvert des formations ligneuses (Garofano-Gomez et al. 2013), et souvent des communautés de moins en moins hygrophiles (Mikulova et al. 2020). Toujours en lien avec la régulation des débits des cours d'eau, d'autres auteurs ont montré une évolution du couvert vers de nouvelles communautés dans lesquelles des espèces exotiques sont devenues dominantes (Catford et al. 2011, Janssen et al. 2020). Des communautés à Saules spécifiques des niveaux intermédiaires de succession semble

régresser, en lien également avec une plus grande stabilité du régime hydrologique (Gonzalez et al. 2020) ; cette évolution semble favoriser l'invasion d'*Acer negundo* L., espèce ligneuse d'origine nord-américaine (Saccone et al. 2010). Schnitzler et al. (2007) ont observé une richesse importante en espèces exotiques dans les communautés riveraines à saules et peupliers ; ils mettent en avant une faible densité du couvert arboré d'où une disponibilité en lumière favorable à l'intégration de nouvelles espèces, et une fréquence importante de crues morphogènes.

De nombreuses références relient l'importance des invasions biologiques à la dimension verticale de l'hydrosystème fluvial, avec le constat globalement partagé que la résistance biotique à l'invasion augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du lit mineur et que les perturbations liées aux inondations diminuent en nombre et en intensité (Hood and Naiman 2000).

D'après Von Holle (2005), les interactions entre espèces natives et espèces exotiques passent de « facilitation » près des berges à « compétition » dans les espaces plus en hauteur et moins perturbés. Corenblit et al. (2014) avancent le concept de « biotic acceptance » pour expliquer une intégration de plantes exotiques dans les milieux régulièrement renouvelés par les crues, de fait non saturés et en situation de faible compétition, contribuant localement à une augmentation de la diversité végétale. En se basant sur la théorie de Davis et al. (2000) sur la notion d'invasibilité et la fluctuation des ressources appliquée au contexte rivulaire, on peut opposer des conditions de milieux plus ou moins favorables aux invasions végétales (*sensu* Valéry et al. (2008)) : 1) les moins favorables, d'une part au niveau de la bande active où les communautés sont régulièrement renouvelées et d'autre part dans les zones les moins perturbées et les plus éloignées du cours d'eau où le niveau de compétition biotique est élevé ; 2) les plus favorables à un niveau intermédiaire de perturbations hydromorphologiques dans le cas où des propagules de plantes invasives sont présentes.

2.1.3 Situation des hydrosystèmes du Haut-Rhône

L'état historique des forêts alluviales du Haut-Rhône a fait l'objet d'une description dans le premier rapport intermédiaire (cf. 1^{er} rapport intermédiaire, chap 223, p9). Nous en reprendrons ici les principaux éléments.

Comme nous l'avons précisé précédemment, les communautés végétales riveraines se structurent et s'organisent en fonction de différents gradients environnementaux principalement liés aux mouvements de l'eau. Dans le cas des vallées du Haut-Rhône, les communautés ont été finement décrites notamment par (Pautou et al. 1978). Les principaux groupements végétaux observés peuvent être résumés, comme suit :

- Communautés pionnières herbacées (Poacées ou Cypéracées) : Groupement à *Phalaris*
- Communautés de bois tendres : Saules à *Salix alba*
- Communautés de bois tendres : Aulnaie à *Alnus glutinosa*
- Communautés de bois durs : Frênaie à *Ulmus minor* Mill. et Chênaie-Frênaie à *Populus alba* L.

Ces communautés peuvent se renouveler si elles se placent dans un système actif où se succèdent des périodes de submersions. Les différents aménagements évoqués précédemment (chenalisation, dérivation, drainage, pompage, ...) ont conduit au niveau du Haut-Rhône, comme dans de nombreux autres hydrosystèmes fluviaux, à une concentration et une stabilisation des flux hydriques, à un enfoncement de la nappe phréatique, à une diminution des capacités de transport de la charge de fond, entraînant ainsi une incision et une diminution de la largeur de la bande active (Marston et al.

1995, Liebault and Piegay 2002, Vazquez-Tarrio et al. 2019, Tena et al. 2020). Ces modifications hydrogéomorphologiques sont également associées à une diminution de la fréquence et de l'intensité des épisodes de crue qui, rappelons-le, sont dans les systèmes fluviaux le moteur de l'organisation spatiale et de la dynamique temporelle des végétations. Face à ces modifications, les communautés à bois tendres ont tendance à évoluer plus rapidement vers les communautés à bois durs (Pautou 1988).

Dans les années 1980 et 1990 la présence d'espèces exotiques dans les communautés végétales alluviales est clairement mentionnée dans les études floristiques réalisées sur le Haut-Rhône (Pautou 1988, Pautou et al. 1996). Ces espèces sont visiblement présentes de façon massive même si les termes « invasives » ou « envahissantes » ne sont pas ou peu utilisés par les auteurs. Lorsque c'est le cas (*Solidago gigantea* Aiton, *Impatiens glandulifera* Royle), ces EEE sont nommées « invasives » ou « monopolistes » au même titre que certaines espèces natives (par exemple : *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Cladium mariscus* (L.) Pohl, *Rubus* sp., *Urtica* sp.). Pautou et al. (1996) estiment que « ... les espèces qui se naturalisent vont jouer un rôle structurant majeur » et citent les espèces suivantes : *Solidago gigantea*, *Ambrosia artemisifolia* L., *Robinia pseudacacia* L., *Polygonum sachalinense* F.Schmidt (= *Reynoutria sachalinensis* (F.Schmidt) Nakai), *Impatiens glandulifera* et *Acer negundo*. Trois autres EEE sont citées par ailleurs : *Buddleja variabilis* (= *Buddleja davidii* Franch.), *Erigeron canadensis* L., *Ailanthus glandulosa* (= *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle). Ces espèces font partie des communautés pionnières décrites par les auteurs, elles sont souvent qualifiées de « photophiles ».

Encadré 1 – Les EEE dans les bases de données floristiques et dans les documents de gestion des espaces protégés

Pour apprécier l'importance actuelle des espèces exotiques au sein des milieux alluviaux du Haut-Rhône, nous nous sommes appuyés sur la base de relevés floristiques du pôle d'Information fore-habitats-fonge (PIFH) de la région AURA (<https://www.biodiversite-auvergne-rhone-alpes.fr/pifh/>). Les données précisent le statut de chaque espèce observée et permet de distinguer les espèces indigènes (ou natives), cryptogènes (indigénat / exogénat incertain), et exogènes (xénophytes, ou « alien »). Dans le cas des exogènes, il est également précisé s'il s'agit d'espèces invasives. L'extraction des relevés sur le tronçon du Rhône entre Belley et Lyon (cf. 1^{er} rapport intermédiaire, chap 231, p11) nous a permis d'évaluer et souligner l'importance des espèces exotiques : le site comporte 17.7% des 8288 taxons observés en AURA, 21.5 % des 940 exogènes et 57.6 % des 85 exotiques envahissantes. En se basant sur la liste du Muséum National d'Histoire Naturel (MNHN) pour le territoire métropolitain¹, on obtient des proportions globalement comparables : 17,4 % des 9927 espèces autochtones, 16.7 % des 881 espèces introduites et 45,3 % des 53 espèces introduites envahissantes. Par ailleurs, la part des espèces exotiques (base PIFH) sur le total des espèces inventoriées dans le site Rhône représentent 12.1% (sur 1670 espèces). Cette proportion apparaît peu élevée comparée à celle observée par Planty-Tabacchi et al. (1996) au niveau du fleuve Adour (24% d'exotiques sur les 1396 espèces inventoriées). Elle se situe en revanche à un niveau moyen d'après le travail de synthèse

¹ Le nombre total d'exotiques plus élevé en région AURA comparé à l'ensemble de la France métropolitaine s'explique par des niveaux taxonomiques différents (sous-espèces pour AURA et espèces pour la France métropolitaine).

réalisé par Pyšek et al. (2017) à l'échelle mondiale (cf. 1^{er} rapport intermédiaire, chap 231, p12). Les données PIFH et MNHN sur le statut des espèces s'accordent sur le fait que le site concentre une quantité importante d'EEE (de l'ordre de la moitié des espèces exotiques considérées envahissantes au niveau national ou régional). Mais il faut noter des divergences entre les deux sources de données (seulement 24 taxons jugés envahissants sont communs aux deux listes). Par ailleurs, parmi les 28 plantes terrestres exotiques envahissantes jugées préoccupantes pour l'Union Européenne (European Commission 2022) seulement deux sont observées sur le site du Rhône : *Ailanthus altissima* et *Impatiens glandulifera* (il est recensé 12 de ces espèces préoccupantes sur l'ensemble de la France d'après la base MNHN).

Par ailleurs, nous avons cherché des indications parmi les documents de gestion de différents espaces protégés situés en contexte alluvial au niveau du Haut-Rhône ou de l'Isère (cf. 1^{er} rapport intermédiaire, chap 232, p14). Dans les sept sites concernés, neuf EEE y sont considérées comme problématiques et conduisent à des actions spécifiques (surveillance, sensibilisation du public, cartographie des zones envahies, opérations de gestion différenciée). Il est à noter que huit d'entre elles faisaient déjà partie des exotiques mentionnées par Pautou (1988) : *Reynoutria japonica*, *Acer negundo*, *Robinia pseudo-acacia*, *Solidago gigantea*, *Ailanthus altissima*, *Buddleja davidii*, *Erigeron annuus*, *Ambrosia artemisiifolia*. Seul *Senecio inaequidens* semble être d'une expansion plus récente, et n'est signalé que dans un site protégé.

Nous avons déjà évoqué précédemment les difficultés liées à certaines imprécisions dans la définition des invasions biologiques et à des échelles d'analyse différentes ; elles semblent se retrouver ici. Les bases floristiques donnent une vision globale de la diversité végétale et s'appuient sur une typologie soulignant le caractère expansif des EEE, tandis que les documents de gestion et les références bibliographiques anciennes insistent sur le caractère localement dominant des espèces considérées.

2.1.4 Questions de recherche et hypothèses de travail

Nos travaux s'intéressent à l'évolution des cortèges floristiques rivulaires au niveau du Haut-Rhône sur plusieurs décennies et se basent sur des analyses comparatives de données anciennes et récentes. Par une approche cartographique et floristique, l'objectif est d'aborder les questions suivantes :

- Comment les communautés et les successions végétales des milieux rivulaires ont évolué ?
- De quelle façon ces évolutions témoignent de changements de conditions abiotiques liés à la régulation des cours d'eau et/ou de changements de conditions biotiques liés notamment à une expansion des EEE ?

L'approche cartographique s'appuie sur la comparaison de cartographies anciennes (des années 70 et 80) et récentes (des années 2000 à 2020) et nous permet de quantifier les évolutions en surface des grands groupements végétaux. L'accent est mis sur la recherche de formations végétales dominées par des EEE.

L'analyse des relevés floristiques vise à comparer les compositions en espèces au niveau de relevés ré-échantillonnés. En plus de la présence d'espèces, ce travail s'appuie sur un ensemble de données descriptives aussi bien des préférences et des stratégies écologiques des espèces observées que des conditions écologiques des sites inventoriés. L'objectif est de traduire l'évolution des cortèges floristiques en indicateurs de probables changements de facteurs environnementaux.

Les différents éléments bibliographiques précédents nous permettent de définir comme hypothèses de travail deux tendances d'évolution au sein des milieux alluviaux : 1) une importance croissante des espèces exotiques au sein des communautés végétales ces dernières décennies, les habitats situés dans des conditions de perturbations intermédiaires étant les plus affectés par ces invasions ; 2) une évolution des compositions floristiques indiquant une plus grande homogénéité des paramètres abiotiques, avec des communautés moins affectées par la dynamique fluviale, et globalement plus compétitrices.

2.2 Analyse diachronique de cartographies de végétation

2.2.1 Matériel et méthodes

2.2.1.1 Sites d'étude et cartographies utilisées

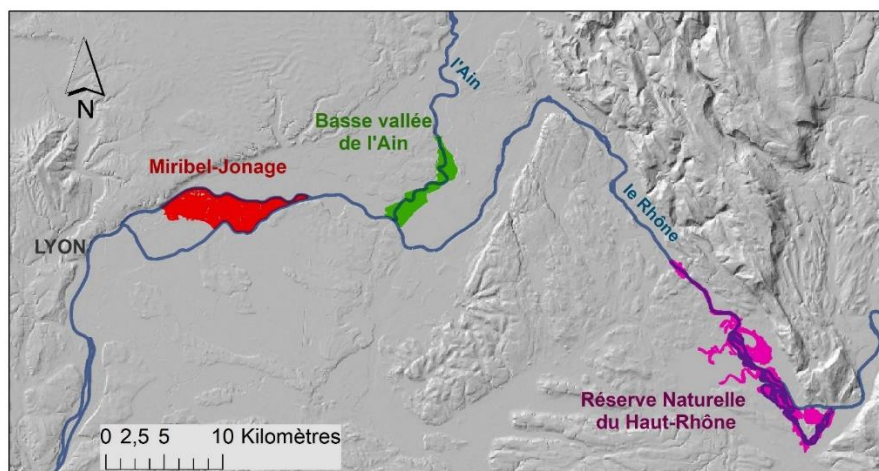


Figure 2.1 – Localisation des sites étudiés.

La zone d'étude s'étend sur une section du Rhône située entre Genève et Lyon, et une partie de l'Ain située juste en amont de sa confluence avec le Rhône (Figure 2.1). Elle comprend de l'amont à l'aval la Réserve Naturelle du Haut-Rhône, le Site Natura 2000 « Basse Vallée de l'Ain – Confluence Ain-Rhône », le Site Natura 2000 « Pelouses, milieux alluviaux et aquatiques de l'île de Miribel-Jonage ». Le choix de ces sites repose sur le fait que des cartographies des végétations étaient disponibles à deux dates différentes. Pour chacun des trois sites d'étude retenus, nous nous sommes appuyés d'une part sur une cartographie ancienne datant d'au moins trente ans et réalisée sur support papier, et d'autre part sur une cartographie récente disponible sous format SIG. L'écart entre les deux dates varie en fonction des sites : 20 ans pour la Basse Vallée de l'Ain (1985-2005), 34 ans pour Miribel-Jonage (1987-2021) et 40 ans pour la RN du Haut-Rhône (1978-2018). Les spécificités des cartographies sont données dans le Tableau 2.1.

Site	Titre	Année	Auteurs	Echelle – SMC*
Miribel-Jonage	Carte de la végétation de l'île de Miribel-Jonage	1987	J. Girel	1 : 5 000 – 75 m ²
	Cartographie des habitats et des espèces végétales du site Natura 2000 FR8201785 « Pelouses, milieux alluviaux et aquatiques de l'île de Miribel Jonage »	2021	Acer campestre	1 : 5 000 – 10 m ²
Basse vallée de l'Ain	La végétation de la basse plaine de l'Ain	1985	J. Girel, G.Pautou, A. Pais	1 : 10 000 – 200 m ²
	Cartographie des habitats d'intérêt communautaire	2005	E. Favre, S. Dumas	1 : 10 000 – 200 m ²
Réserve Naturelle du Haut-Rhône	Carte de la végétation à 1/25 000 - feuille de Morestel-Yenne	1978	G. Pautou, J. Girel et G. Ain	1 : 25 000 – 200 m ²
	Cartographie des habitats naturels et semi-naturels de la réserve naturelle nationale du Haut Rhône français.	2018	C. Folcher	1 : 5 000 – 25 m ²

* surface minimale cartographiée

Tableau 2.1 – Principales caractéristiques des cartographies.

Les cartographies anciennes étaient disponibles soit sur un support papier qu'il a fallu numériser, soit sur un support informatique sous un format d'image. Dans les deux cas, l'intégration dans un SIG (ArcGIS® 10.7.1 Esri Inc.) a nécessité un travail préalable de géo-référencement, puis de digitalisation à l'écran. Le produit ainsi obtenu est une couche vectorielle associée à une table attributaire précisant pour chaque objet une référence à une typologie d'habitat spécifique.

Les trois cartographies récentes étaient toutes disponibles sous un format SIG avec couche vectorielle et table attributaire.

2.2.1.2 Harmonisation et méthode de comparaison

En fonction des dates et des sites, différentes typologies et classifications des habitats et des végétations ont été utilisées. Pour permettre une comparaison des cartographies, il a été nécessaire dans un premier temps de faire un travail d'harmonisation. Les cartographies récentes étaient basées sur deux ou trois des référentiels suivants : la typologie CORINE Biotope, la classification NATURA2000, la classification EUNIS et le Prodrome des végétations. Pour travailler sur des éléments de description communs aux trois sites, nous avons retenu la typologie CORINE Biotope. Celle-ci est disponible pour la RN du Haut-Rhône et la Basse Vallée de l'Ain. Pour le site de Miribel-Jonage nous nous sommes basés sur la classification EUNIS et avons réalisé une traduction à partir de la correspondance des codes EUNIS et CORINE de Louvel J. et al. (2013).

Les cartographies anciennes ont été définies sur la base de classifications spécifiques à chacune d'elles.

S'agissant de classifications hiérarchiques, il a été possible de remonter les niveaux de classification et de rechercher des intitulés moins précis mais comparables pour l'ensemble des trois sites et des deux dates. Ce travail d'harmonisation a permis d'aboutir à une classification simplifiée commune à l'ensemble des cartographies anciennes et récentes (Tableau 2.2). Elle distingue quatre types d'habitats artificialisés et six d'habitats naturels. Les différents intitulés et typologies utilisés sont classés et détaillés en Annexe 2.1. Les cartographies aux deux dates et pour les trois sites sont données en Annexe 2.2.

Espaces artificialisés	<ul style="list-style-type: none"> - Eaux (plans d'eaux artificiels, canaux, ...) - Terres agricoles - Plantations de ligneux - Autres milieux artificialisés (friches industrielles, gravières, ...)
Habitats riverains	<ul style="list-style-type: none"> - Milieux aquatiques (eaux courantes, dépôts de graviers et galets alluviaux) - Communautés herbacées hygrophiles - Communautés herbacées mésophiles - Steppes et prairies sèches - Communautés de bois tendres - Communautés de bois durs

Tableau 2.2 – Typologie simplifiée commune aux différentes cartographies

Les deux séries de cartographies nous permettent de caractériser les principales évolutions paysagères, d'une part en comparant les superficies totales pour chaque classe de notre typologie, d'autre part en analysant les matrices d'évolution obtenues par le croisement des cartographies entre les deux dates (Annexe 2.3).

De nombreuses évolutions sont liées à des changements des activités anthropiques et de l'utilisation du sol. Dans le contexte des milieux alluviaux étudiés, ces cas sont multiples et montrent aussi bien une augmentation de l'artificialisation (extension urbaine, plans d'eau artificiels, ...), qu'un retour à des conditions plus naturelles (boisements post-culturels). Dans l'analyse des matrices d'évolution, il nous a semblé important d'écarter les espaces artificialisés, qu'ils soient anciens ou récents. Nous nous sommes concentrés sur les milieux pour lesquels les activités anthropiques étaient réduites ou limitées à des modes de gestion extensif (c'est-à-dire les « Habitats riverains » du Tableau 2.2) ; l'objectif est d'appréhender plus précisément l'impact des changements des conditions environnementales, en particulier celles consécutives aux grands aménagements hydroélectriques (cf. chap. 223, 1^{er} rapport intermédiaire, p10), sur les communautés végétales. Sont notamment exclues de cette partie de l'analyse les plantations ligneuses dont les peupliers de culture, les parcelles agricoles et les plans d'eau artificiels issus des anciennes zones d'extraction de granulats.

Enfin, la présence des espèces exotiques envahissantes a pu être analysée en s'appuyant sur les intitulés des niveaux de classification les plus précis. Dans le cas des cartographies récentes de Miribel-Jonage et de la RN du Haut-Rhône, la dominance d'espèces exotiques est indiquée (ex : « *fourrés invasifs de Solidage géante* » ou « *Boisements alluviaux dégradés dominés ou codominés par le Robinier faux-acacia* »). Pour ces deux sites en particulier, ils permettent de localiser et quantifier l'étendue des formations végétales envahies par des espèces exotiques.

2.2.2 Résultats : analyse diachronique des cartographies

2.2.2.1 Analyse quantitative

Les surfaces artificialisées ont augmenté dans deux sites (Figure 2.2) : en Basse vallée de l'Ain avec un accroissement des surfaces des plans d'eau artificiels et des espaces urbanisés, et à la RN du Haut-Rhône avec une augmentation importante des surfaces consacrées à des plantations de ligneux, en l'occurrence des peupliers de culture. A Miribel-Jonage, le bilan est stable, l'augmentation importante de la surface des plans d'eau ayant été compensée par une diminution des autres espaces artificialisés. En Basse vallée de l'Ain et à Miribel-Jonage, d'anciennes carrières d'extraction de granulats ont été transformées en plans d'eau. On remarque que les berges de ces étangs peuvent être localement

occupées par des formations herbacées hygrophiles, profitant d'une plus grande humidité du sol dans des espaces où les conditions de milieu initiales ne permettaient pas le développement de ce type de végétation. Si l'on exclut les plantations de ligneux, la RN du Haut-Rhône est très peu occupée par des espaces artificialisés : à peine 2% de la surface totale.

Les surfaces agricoles ont également diminué dans les trois sites. Si elles occupent encore des espaces importants à Miribel-Jonage (17.7 % de la surface cartographiée du site), elles ont quasiment disparu dans la RN du Haut-Rhône. Dans ce site, entre 1978 et 2018, les deux tiers des espaces agricoles ont été boisés de façon spontanée (bois durs ou tendres) ou artificielle (plantations de peupliers).

A Miribel-Jonage et en Basse Vallée de l'Ain, les communautés herbacées mésophiles ont fortement diminué, à l'inverse les steppes et pelouses calcaires qui ont vu leur surface significativement augmenter. Ces deux types d'habitats sont quasiment absents dans la RN du Haut-Rhône aux deux dates.

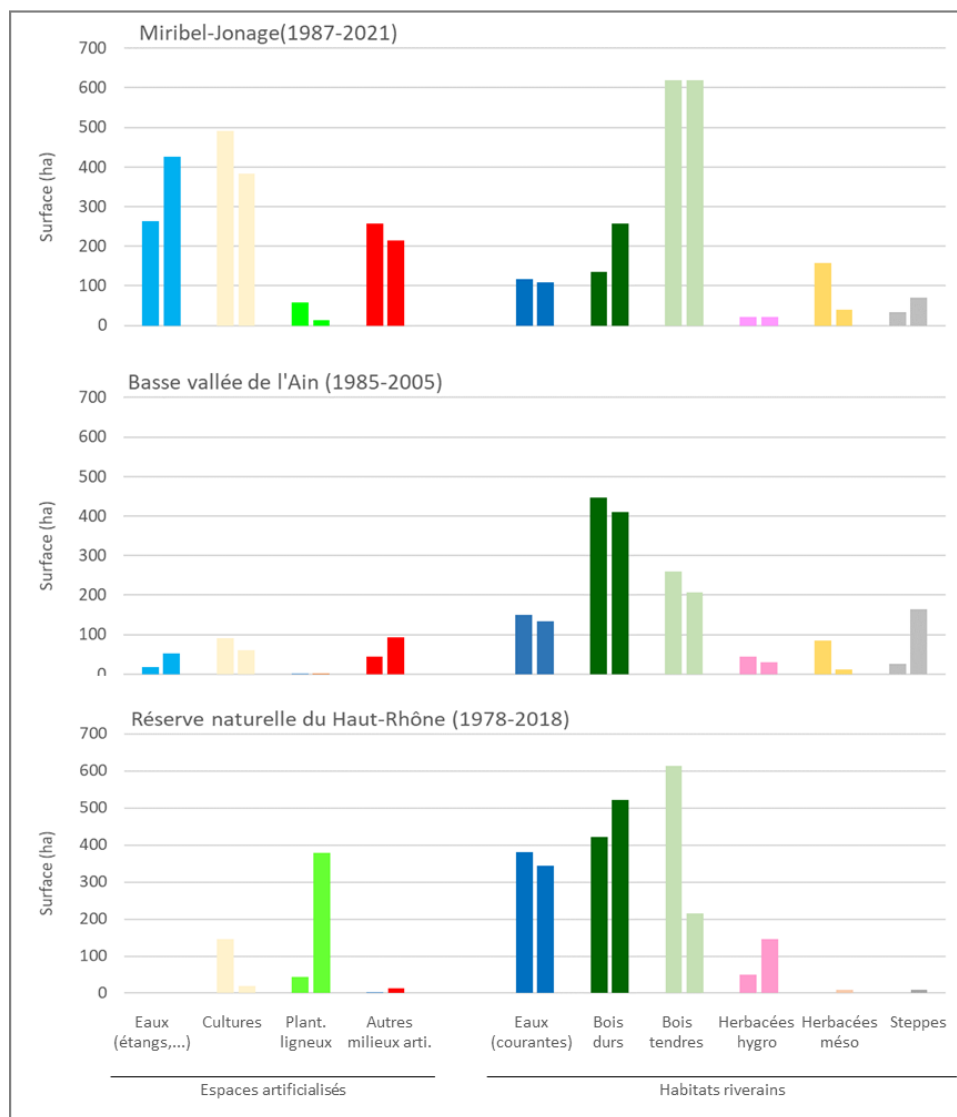


Figure 2.2 – Evolution de l'occupation du sol

Les groupements forestiers (bois tendres et bois durs) ont montré des évolutions disparates. Les surfaces des bois tendres ont diminué en Basse Vallée de l'Ain et dans la RN du Haut-Rhône, mais sont restées quasiment stables à Miribel-Jonage. Les peuplements de bois durs se sont étendus à Miribel-Jonage et dans la RN du Haut-Rhône, et ont plutôt régressé en Basse Vallée de l'Ain.

Enfin les eaux courantes et bancs alluviaux ont vu leur surface baisser dans des proportions comparables dans trois les sites : 7.4 %, 12.7 % et 10,5 % respectivement à Miribel-Jonage, Basse Vallée de l'Ain et RN du Haut-Rhône.

2.2.2.2 Matrice d'évolution

On observe une évolution des milieux aquatiques vers les milieux terrestres (Figure 2.3), plus particulièrement marquée en faveur des bois tendres, et cela dans les trois sites (Annexe 2.3). En Basse vallée de l'Ain, la part importante des milieux aquatiques n'ayant pas évolué entre les dates de cartographie est relativement faible (54%, Figure 2.3) comparativement aux deux autres sites. Ce constat semble confirmer une dynamique fluviale encore importante pour ce site dans un contexte hydro-géomorphologique favorable à une divagation du lit majeur, en particulier au niveau du delta formé à la confluence du Rhône. En revanche à Miribel-Jonage et à la RN du Rhône, on observe une plus grande stabilité des milieux aquatiques avec respectivement 88 % et 72 % de ces espaces n'ayant pas évolué, qui plus est sur des périodes plus longues (34 et 40 ans).

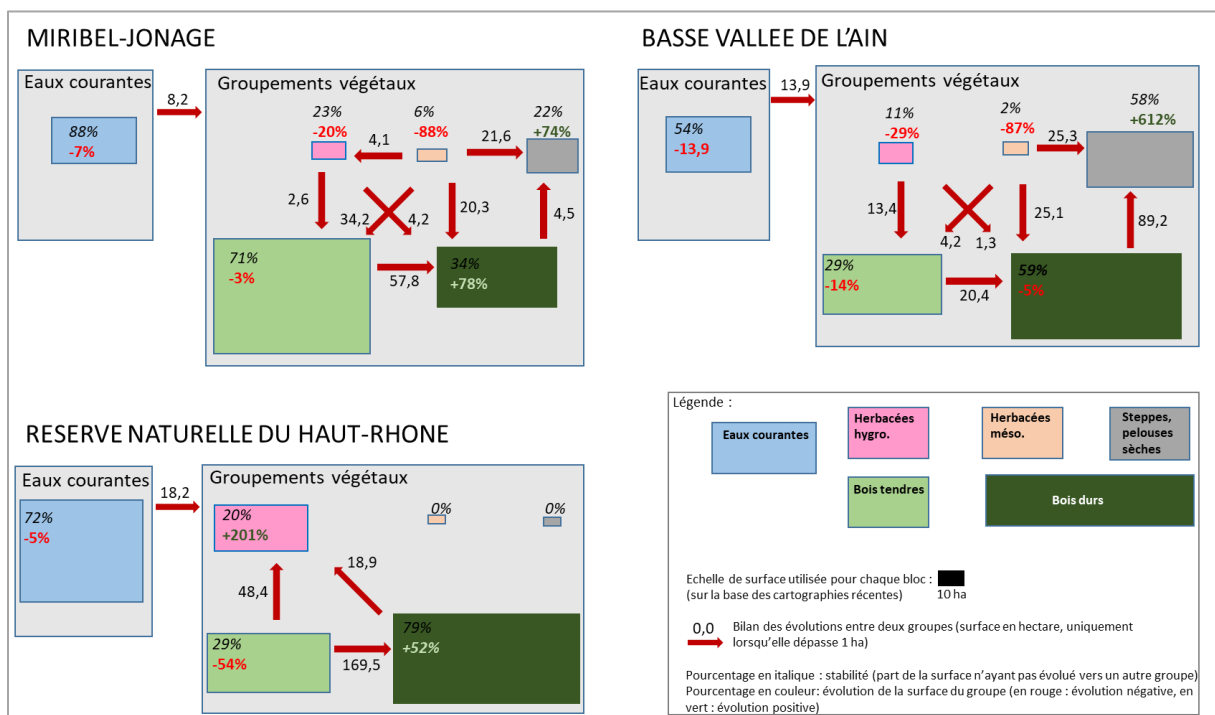


Figure 2.3 - Principales évolutions dans les habitats riverains

Au niveau des habitats riverains (Figure 2.3), on remarque que certaines évolutions entre groupements végétaux se traduisent de façon homogène dans les trois sites. Notamment une part importante des bois tendres a évolué vers des bois durs. Par ailleurs les groupements à herbacées mésophiles

disparaissent quasiment à Miribel-Jonage et en Basse vallée de l'Ain (-88% et -87%) au profit des formations boisées, et des steppes et pelouses sèches ; à l'inverse un accroissement en surface des steppes et pelouses sèches est observé à Miribel-Jonage (+74%) et surtout en Basse vallée de l'Ain (+612%). A la RN du Haut-Rhône ces milieux herbacés n'étaient pas répertoriés dans l'ancienne cartographie, ils le sont dans la nouvelle mais les surfaces concernées restent faibles.

Pour le reste, des différences entre sites sont notables. Les bois durs se sont juste maintenus en surface en Basse vallée de l'Ain alors qu'ils ont significativement augmenté dans les deux autres sites, en défaveur des bois tendres principalement. Une autre différence concerne les groupements à herbacés hygrophiles : leur surface a significativement diminué à Miribel-Jonage (-20%) et en Basse Vallée de l'Ain (-29%), alors qu'elle a triplé dans la RN du Haut-Rhône. Les bois tendres ont diminué de façon systématique, mais cette diminution est restée modérée à Miribel-Jonage (-3%) contrastant avec celles observées en Basse Vallée de l'Ain (-14%) et dans la RN du Haut-Rhône (-54%). Il est à noter que ces formations regroupent des faciès très différents avec aussi bien des peupleraies sèches (à *Populus nigra* L.) se développant sur un substrat grossier, que des saulaies caractéristiques des boisements alluviaux en situation plus humide.

2.2.2.3 Situation des espèces exotiques envahissantes

A Miribel-Jonage, d'après la cartographie de 1987, la prédominance de *Robinia pseudoacacia* apparaît à la fois dans des boisements matures représentant une surface de 22 hectares, et dans des boisements jeunes sur une surface de 11 hectares. Par ailleurs des steppes à *Oenothera biennis* L. sont aussi cartographiées, mais sur une faible surface (0.5 ha). La typologie utilisée indique également la présence d'habitats présentant une densité importante de *Buddleja sp.* ou de *Solidago sp.* mais pas de façon exclusive et pour des surfaces négligeables. Dans la cartographie de 2021, les espaces potentiellement dégradés par la présence d'espèces exotiques envahissantes sont spécifiés ; ils représentent une surface de près de 162 hectares (soit près de 7.5% de la surface totale cartographiée du site). Le niveau de typologie le plus fin des habitats élémentaires donne des précisions sur la présence d'espèces exotiques dominantes. Il s'agit pour les espèces les plus significatives de « boisements de *Robinia pseudoacacia* » (56 ha), de « fourrés invasifs à *Buddleja davidii* » (13 ha), de « fourrés invasifs à *Reynoutria x bohemica* Chrtek & Chrtkova » (1.4 ha) et de « fourrés invasifs à *Solidago gigantea* » (12 ha).

Dans la Basse vallée de l'Ain, seule la typologie de la cartographie ancienne comporte des indications sur la présence d'espèces exotiques dominantes : il s'agit de peuplements dominés par *Ailanthus glandulosa* (= *Ailanthus altissima*) (4.7 ha), de boisements matures de *Robinia pseudoacacia* (1.9 ha), de landes à *Robinia pseudoacacia* (1.5 ha), de groupements à *Oenothera biennis* sur labour abandonné (10.6 ha) et de groupements à *Buddleja sp.* sur dépôts abandonnés (3.8 ha). D'autres espèces exotiques sont également identifiées et caractérisent d'autres habitats élémentaires mais de façon non exclusive (« Saulaie à *Salix alba* et *Impatiens glandulifera* » sur 1 hectare, ainsi que « Peupleraie plantée à *Solidago gigantea* » pour des surfaces négligeables). La cartographie récente ne donne pas d'indication sur l'importance des exotiques. Les observations réalisées en 2020 et 2021 sur ce site lors des deux campagnes de relevés floristiques, même si elles ne sont pas basées sur des données chiffrées, nous ont permis de constater localement des invasions massives par *Acer negundo*, *Solidago gigantea* ou *Reynoutria sp.*

Pour la réserve naturelle du Haut-Rhône, la carte ancienne ne comporte que 21 habitats élémentaires ; aucun d'entre eux ne se caractérise par une espèce exotique dominante. On peut noter toutefois l'association d'*Impatiens roylei* (= *Impatiens glandulifera*) avec *Salix alba*, caractérisant le groupement « Saussaie à *Salix alba*, *Impatiens roylei* sur sol alluvial calcaire (313 ha) ». La cartographie de 2018 indique en revanche des habitats élémentaires dominés par des espèces exotiques (83 ha, soit 5% de la surface totale cartographiée du site) : *Solidago gigantea* (22.2 ha), *Reynoutria x bohemica* (31.8 ha), *Impatiens glandulifera* (3.4 ha), *Robinia pseudoacacia* (25.4 ha). Pour un habitat, l'intitulé comprend une espèce exotique mais de façon non exclusive : « Frenaises-ébraiaies et ébraiaies à *Acer negundo* des grands cours d'eau » (22.5 ha).

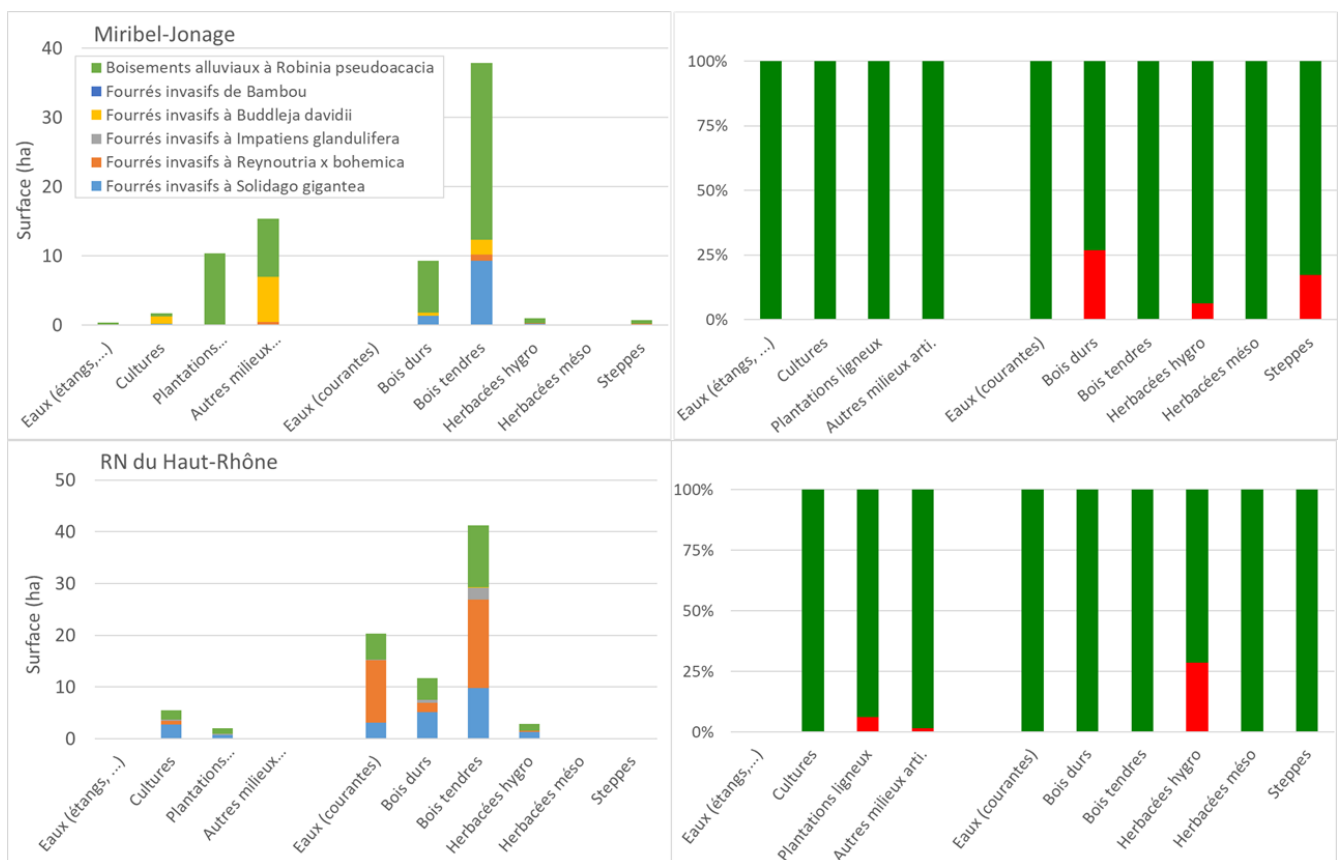


Figure 2.4 – Importance des peuplements envahis par des espèces exotiques à Miribel-Jonage et à la RN du Haut-Rhône

(à gauche : situation originelle des espaces actuellement envahis d'après la cartographie ancienne ; à droite, en rouge : part des espaces actuellement envahis par des espèces exotiques dans les différents groupes d'habitat)

L'absence de typologie spécifique aux espèces exotiques et commune aux cartographies anciennes et récentes, ne nous permet pas d'apprécier quantitativement l'évolution des surfaces concernées. Il est cependant possible d'observer sur quels habitats originels les envahissements par des espèces exotiques ont été les plus fréquents (Figure 2.4). A Miribel-Jonage et à la RN du Haut-Rhône, près de la moitié des espaces envahis sont localisés sur d'anciens peuplements de bois tendres (respectivement 46 et 47 %). A Miribel-Jonage, les espaces envahis par des espèces exotiques le sont

principalement par *Robinia pseudoacacia* (72.5%), et secondairement par *Solidago gigantea* (18%). Les exotiques (principalement *Robinia pseudoacacia*) ont envahi plus du quart des peuplements de bois durs et 17% des steppes et pelouses sèches. Dans la RN du Haut-Rhône les invasions par des EEE sont le fait principalement de *Reynoutria sp.* (40.8%), *Robinia pseudoacacia* (29.5%) et *Solidago gigantea* (25.4%). Les espaces envahis par des exotiques y représentent plus du quart des formations actuelles à herbacées hygrophiles.

2.2.3 Analyse cartographique : discussions

Plusieurs travaux de recherche ont été menés par le passé sur les évolutions de la végétation au niveau des milieux alluviaux du Haut-Rhône et de l'Ain : 1) Marston et al. (1995) qui ont observé à partir d'une analyse diachronique, les évolutions de la plaine alluviale de l'Ain entre 1945 et 1991 sur une portion de 40 km située également en amont la confluence avec le Rhône ; et 2) Pautou et al. (1997) qui ont recherché les conséquences probables des aménagements hydroélectriques sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône. Il paraît intéressant de confronter les résultats quantitatifs de notre analyse diachronique avec les conclusions de ces études précédentes, en revenant sur les trois principales tendances d'évolution mises en évidence par leurs auteurs.

- 1) Diminution globale des contraintes liées aux excès d'eau induisant une évolution des compositions floristiques en faveur des espèces mésophiles et des xérophiles, au détriment des espèces hygrophiles.

Pautou et al. (1997) annonçaient une évolution des communautés de bois tendres avec d'une part une raréfaction des populations à *Salix alba*, *Salix viminalis* L. et *Alnus incana* (L.) Moench, et d'autre part une progression des populations à large amplitude écologique à *Populus nigra*, *Populus alba* et *Salix eleagnos* Scop. A Miribel-Jonage, la cartographie récente montre une prépondérance des « peupleraies sèches », 8 à 9 fois plus importantes que les saulaies proprement dites ; celles-ci ne représentant plus qu'une très faible part des espaces boisés. Les surfaces en bois tendres et en particulier les saulaies ont par ailleurs diminué dans les deux autres sites, et de façon très marquée dans la RN du Haut-Rhône. Ainsi la régression des saulaies riveraines, signalée par ailleurs par Pautou (1988) depuis les années 1960, a continué ces dernières décennies. D'autres études portant sur les conséquences d'une régulation des cours d'eau sur les communautés ligneuses pionnières ont donné des résultats similaires, avec une diminution globale des Salicacées (Gonzalez et al. 2020), ou parmi ces espèces le maintien uniquement des plus tolérantes au stress hydrique telles que *Populus nigra* (Dufour et al. 2007).

En ce qui concerne les groupements herbacés, la diminution des communautés hygrophiles est plutôt marquée à Miribel-Jonage et en Basse Vallée de l'Ain. Les habitats de type mésophiles ont suivi une évolution similaire. Le maintien de ces milieux est généralement lié à des actions anthropiques. A ce niveau on peut opposer d'un côté le déclin de certaines activités agricoles extensives telles que la fauche et le pâturage, et de l'autre le développement d'opérations d'écopâturage destinées localement à éviter la fermeture des milieux. Même si ces interventions compliquent l'analyse des changements de végétation en modifiant le déroulement naturel des successions végétales, il semble que dans le cas de Miribel-Jonage et de la Basse vallée de l'Ain, les communautés herbacées ont évolué significativement vers des formations plus xérophiles. En revanche l'augmentation en surface des groupements herbacées hygrophiles à la RN du Haut-Rhône marque une tendance inverse. On peut avancer plusieurs éléments d'explication : 1) une configuration particulière du Rhône, favorable au

maintien des conditions humides avec notamment une grande largeur du champ d'inondation dans le secteur de Bregnier-Cordon et la faible pente du fleuve à partir de Pont-de-Groslée, 2) les propriétés texturales des sédiments, plus fins et principalement dominés par les limons, et qui confèrent aux milieux des conditions moins stressantes au plan hydrique, 3) une évolution des conditions hydrologiques avec l'augmentation des débits réservés de Bregnier-Cordon depuis les années 2000, et enfin 4) certaines opérations de gestion (ex : maintien des communautés d'hélophytes au niveau du méandre du Saugey).

- 2) Progression des peuplements de bois durs mésophiles (*Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer negundo*, *Carpinus betulus* L., *Robinia pseudoacacia*, ...).

Cette progression est marquée à Miribel-Jonage et dans la RN du Haut-Rhône. Elle traduit pour l'essentiel une évolution des peuplements de bois tendres, ainsi que dans une moindre mesure des communautés herbacées hygrophiles ou mésophiles, vers des stades plus matures et moins inondés voire plus du tout si on se base notamment sur la présence de *Carpinus betulus* L. Cette évolution vers la forêt alluviale de bois dur constitue les stigmates de l'incision du lit. Dans le cas de la Basse vallée de l'Ain une évolution des communautés de bois tendre vers des communautés de bois durs est également observée, mais ces dernières ont également évolué dans de plus grandes proportions vers des steppes et des pelouses calcaires. Les opérations d'écopaturage déjà évoquées peuvent expliquer le maintien de ces formations à un stade herbacé ou arbustif. Il convient également de considérer les travaux de restauration des pelouses sèches par broyage et bucheronnage réalisés dans le cadre des documents d'objectifs des sites Natura2000, aussi bien en Basse Vallée de l'Ain (Favre and Greff 2005) qu'à Miribel Jonage (ECOSPHERE 2009). Sans ces interventions, l'augmentation des surfaces des bois durs dans ces deux sites seraient probablement bien plus marquée.

- 3) Progression de populations monopolistes et des populations nitratophiles.

Pautou et al. (1997) prévoyaient une explosion démographique de certaines espèces (sans faire de distinction entre exotiques et natives). Les raisons invoquées sont l'établissement de nouvelles successions végétales sur des espaces qui ne subissent plus de perturbations, et une disponibilité plus importante en nutriments et matières organiques. Parmi les exotiques citées par ces auteurs, on peut confirmer la présence massive d'*Acer negundo*, *Solidago gigantea*, *Impatiens glandulifera* et de *Reynoutria* sp. Les cartographies récentes de Miribel-Jonage et de la RN du Haut-Rhône indiquent que les milieux envahis par des espèces exotiques sont très majoritairement localisés au niveau d'anciens peuplements de bois tendres, ce qui semble confirmer notre hypothèse initiale sur la sensibilité aux invasions de ces milieux situés à un niveau intermédiaire de perturbations (Davis et al. 2000). Les deux cortèges d'espèces exotiques envahissantes les plus importants en surface sont : 1) les boisements à *Acer negundo* ou à *Robinia pseudoacacia* ; 2) les formations herbacées à *Reynoutria* sp. et *Solidago gigantea*. Dans la RN du Haut-Rhône, la présence de Saules blancs disséminés et sénescents au sein de peuplements envahis par des renouées pose question. Il s'agit probablement d'anciennes saulaies qui ne parviennent pas à se renouveler. Il est difficile dans ce cas de dissocier les conséquences d'une disparition progressive de la dynamique fluviale sur les assemblages floristiques, des effets de la présence massive d'espèces exotiques pouvant induire un blocage successional.

2.3 Analyse diachronique de relevés floristiques

2.3.1 Matériel et méthodes

2.3.1.1 Relevés floristiques

Pour les données anciennes, il s'agit d'un ensemble de relevés floristiques réalisés dans les années 1980 et 1990 dans le cadre de différents programmes d'étude :

- Une sélection de relevés floristiques réalisés par différents organismes (en particulier le CBNA, le CBNMC, le CEN-Rhône-Alpes) et mis à disposition au sein de la plateforme Biodiv'AURA (<https://donnees.biodiversite-auvergne-rhone-alpes.fr/#/>). Seuls les relevés antérieurs à 2000 et comportant au moins 7 espèces différentes ont été retenus.
- Les carnets de terrain de Jacky Girel utilisés pour des études floristiques réalisées dans les années 1980 et mis à notre disposition pour le projet.

Dans l'objectif de travailler sur un échantillon le plus homogène possible au niveau notamment de la surface des placettes d'inventaire, nous avons réalisé un premier tri et sélectionné 171 relevés. Au moment des relevés de terrain ou sous SIG à partir de photographies aériennes, une autre phase de sélection a permis d'éliminer les relevés se situant dans des conditions singulières (changement d'occupation du sol, coupe-rase récente, trop grande imprécision de la localisation, ...). Le jeu de données après ces phases de sélection comporte au final 118 relevés. Les répartitions dans les 4 sites d'études, les périodes concernées et les localisations sont données dans le Tableau 2.3 et la Figure 2.5.

Sites	Relevés anciens			Relevés récents	
	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021
Miribel-Jonage (MIRI)	9	26			35
Basse vallée de l'Ain (BVA)	23	1			24
Secteur Briord-Loyettes (BRIO)	17	15			32
Réserve Naturelles du Haut-Rhône (RNHR)	5	22			27

Tableau 2.3 – Nombre de relevés en fonctions des sites et des périodes

Les inventaires récents ont été échelonnés sur deux années, avec une première série de 9 relevés entre le 6 juin et le 1^{er} juillet 2020 et une deuxième série de 109 relevés entre le 18 mai et le 30 juin 2021. Les observations ont été réalisées sur des surfaces comparables à celles des relevés anciens (de l'ordre de 50-100 m² pour les communautés herbacées à 400-800 m² pour les communautés forestières). Pour chaque espèce observée il a été déterminé un coefficient d'abondance basée sur la méthode de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet 1964). Cependant cette information n'étant pas disponibles pour les relevés anciens, elle ne sera pas reprise dans les analyses. Celles-ci porteront donc sur les données de présence-absence disponible pour l'ensemble des relevés.

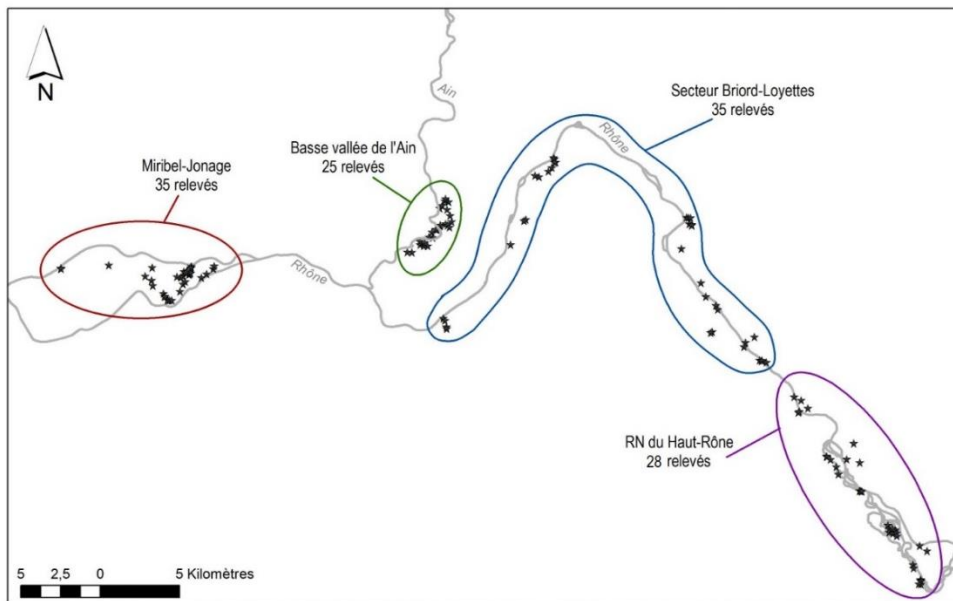


Figure 2.5 – Localisation des relevés floristiques dans les quatre sites d'étude

2.3.1.2 VARIABLES DESCRIPTIVES

Dans le cas des relevés anciens issus de la base PIFH, les coordonnées géographiques étaient directement disponibles dans le système de projection Lambert93. Pour les relevés de Jacky Girel, les relevés étaient positionnés sur un plan extrait de carte IGN au 1/25.000 (J. Girel, com. Pers.). Ces points ont été localisés avec un SIG sur un fond cartographique comparable (SCAN25) et leurs coordonnées ont été extraites également en Lambert93. Lors des relevés sur le terrain, un récepteur GPS de précision centimétrique (© GNSS Trimble R2) nous a permis de localiser les points de relevés anciens à partir desquels ont été matérialisés le centre des placettes des relevés récents. L'altitude de chaque point a été relevé avec le récepteur GPS également sur une précision centimétrique.

En s'appuyant sur différentes bases de données de l'IGN (BD TOPO® et RGE ALTI®) nous avons déterminé sous SIG d'une part la distance entre chaque relevé et le point le plus proche du cours d'eau principal (« Distance ») et d'autre part la différence d'altitude entre ces deux points (« Dénivelé »). Ces deux données permettent d'obtenir une indication de la connectivité des sites aux cours d'eau, celle-ci étant d'autant plus importante que les deux valeurs se rapprochent de zéro.

Certaines propriétés du sol ont été évaluées à partir d'un prélèvement à la tarière pédologique au centre des relevés, qui a permis d'évaluer l'épaisseur des sédiments fins (« Epaisseur ») et la texture du sol (« Texture ») déterminée sur la base du triangle de Jamagne (1967), plus précisément par la projection des classes de texture sur le gradient de pourcentage de sable.

Diverses informations sur les préférences et les stratégies écologiques des espèces inventoriées ont été collectées dans deux bases de données (Tableau 2.4) :

- les indices écologiques d'Ellenberg (Ellenberg 1992) à partir de la base de données Baseflor (Julve 1998) portant sur les critères Lumière, Température, Continentalité, Humidité

atmosphérique, Humidité édaphique, Réaction du sol (pH), Nutriments du sol, Texture du sol, Matière organique du sol ;

- les stratégies écologiques basées sur le triangle de Grime (Grime 1977) avec pour chaque espèce les valeurs quantitative dans chacune des trois dimensions - « compétitrice », « tolérante au stress » et « rudérale » - issues des données rassemblées par Pierce et al. (2017).

Sur l'ensemble des 448 espèces inventoriées, les indices d'Ellenberg étaient manquants pour seulement deux espèces. Une était présente dans un seul relevé et a été supprimée du jeu de données. Pour l'autre, les données ont été déterminées au niveau du genre. Pour les valeurs liées aux stratégies écologiques, 92 espèces étaient non renseignées. Pour 81 d'entre elles, il a été possible d'approximer les valeurs des stratégies à partir de données d'espèces du même genre et comparables ; les autres ont été éliminées.

Au niveau de chaque relevé, et pour toutes les variables de préférence écologique et de stratégie écologique, il a été calculé 1) les moyennes pondérées par la fréquence des espèces (CWM : Community Weighed Mean, Lavorel et al. (2008)) et 2) les valeurs de dispersion (Fdis : Functional dispersion), c'est-à-dire la distance moyenne des espèces par rapport au centroïde de l'ensemble des espèces de la communauté (Laliberté and Legendre 2010).

Données « sites »	Source, référence
Variables environnementales	
Altitude	RGE ALTI® (5m)
Distance au cours d'eau le plus proche	dérivée de BD TOPO®
Différence d'altitude par rapport à l'eau (Dénivelé)	dérivée de BD TOPO® et RGE ALTI® (5m)
Position Est-Ouest (longitude)	
Pourcentage de sable	
Epaisseur de sédiments fins	
Données « espèces »	
Préférences écologiques	
Lumière, Température, Continentalité, Humidité atmosphérique, Humidité édaphique, Réaction du sol (pH), Nutriments du sol, Texture du sol, Matière organique du sol	Julve (1998)
Stratégies écologiques	
compétitrice, tolérante au stress, rudérale	Pierce et al. (2017)
Origine (native ou exotique)	INPN (https://inpn.mnhn.fr/accueil/index)
Caractère envahissant des exotiques	CBNA (Debay et al. 2020)

Tableau 2.4 – Listes des données associées au relevés floristiques (approche synchronique)

2.3.1.3 ANALYSES DESCRIPTIVES

Le tableau de données comporte l'ensemble des variables environnementales continues pour chaque site : le dénivelé par rapport à l'eau (noté « Dénivelé » ci-après dans les tableaux et figures), la position Est-Ouest (« Longitude »), la distance par rapport au cours d'eau (« Distance »), l'épaisseur de la couche de sédiments fins (« Epaisseur ») et la proportion de sable (« Texture »). S'agissant d'une variable donnée en pourcentage, la Texture a été préalablement transformée par une fonction Logit.

L'ensemble des variables ont par ailleurs été standardisées (centrées et réduites) pour permettre l'évaluation des effets d'interaction.

Les analyses ont porté sur les moyennes pondérées et les valeurs de dispersion des stratégies écologiques et de préférences écologiques observées au niveau des relevés (c'est-à-dire de la communauté). Les différences entre relevés anciens et récents sur ces paramètres ont été évaluées par des tests de Student comparant les deux séries appariées. Pour tenir compte de la multiplicité des tests, les p-values ont été ajustées via une correction de Benjamini-Hochberg.

L'influence des conditions environnementales est évaluée par une comparaison de différents modèles combinant les effets additifs ou d'interaction des quatre variables environnementales (Dénivelé, Distance, Epaisseur et Texture) et de la date des relevés (la Longitude a été ajoutée en tant que covariable dans l'ensemble des modèles pour tenir des variations spatiales le long de ce corridor globalement orienté est-ouest). La qualité d'ajustement des modèles aux données a été comparée en utilisant le critère d'information d'Akaike (AIC).

Enfin nous avons calculé la valeur indicatrice (IndVal) des espèces (indicspecies package, Cáceres and Legendre (2009)). Cette analyse est basée sur la fréquence et l'abondance des espèces. Elle nous permet d'apprécier l'évolution des cortèges floristiques entre les deux dates de relevés en comparant les deux listes d'espèces classées selon leur IndVal. Le jeu de données a été réduit en éliminant les espèces trop peu fréquentes (présentes dans moins de 10 % des sites) et trop fréquentes (plus de 90 % des sites). Les valeurs indicatrices des espèces sont évaluées par un test de permutations de Monte-Carlo (n=9999).

2.3.2 Résultats

2.3.2.1 Occurrence des espèces

Les deux séries de données représentent un total de 448 espèces différentes. Il en a été observé 373 dans les relevés anciens et 303 dans les relevés récents. L'ensemble des deux séries compte 32 espèces exotiques, soit 7.1 % du total des espèces (Figure 2.6). Cette proportion s'élève à 5.9 % (22 espèces exotiques) et 7.6 % (23 espèces exotiques) respectivement dans les relevés anciens et les relevés récents. Parmi les exotiques, 9 espèces ont été observées exclusivement dans les relevés anciens, 10 espèces exclusivement dans les relevés récents et 13 espèces sont communes aux deux séries.

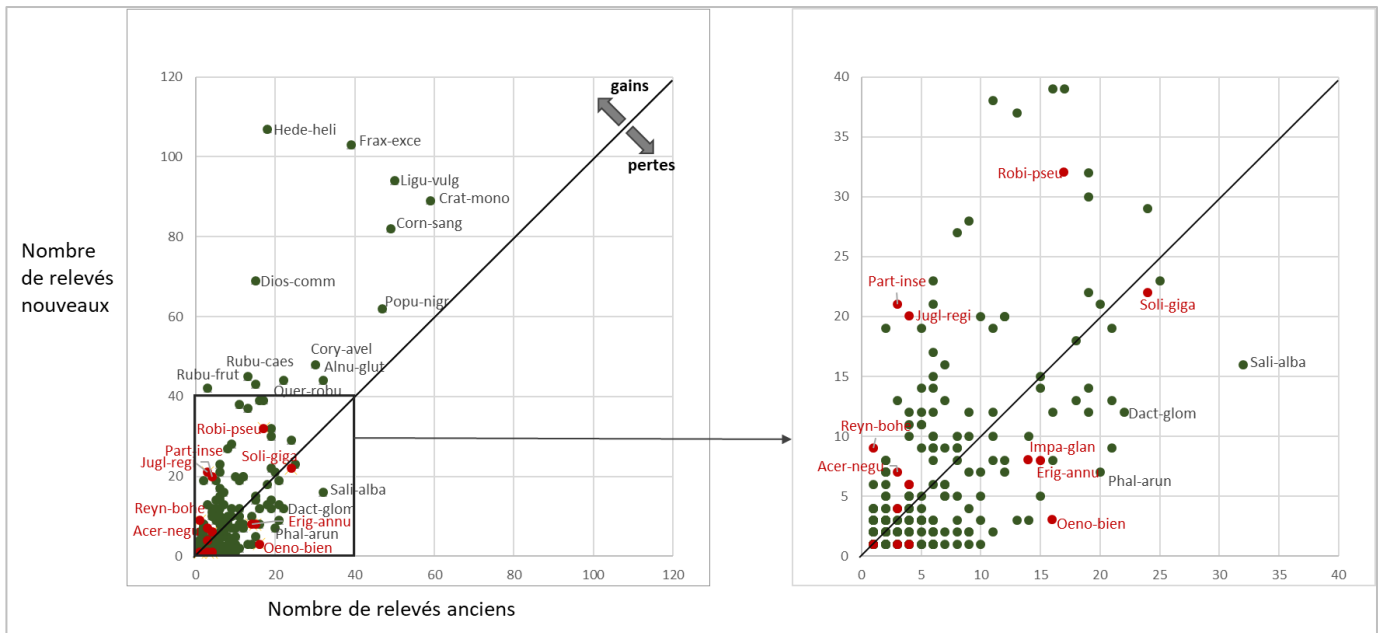


Figure 2.6 – Présence des espèces dans les relevés anciens (abscisses) et récents (ordonnées)

Parmi les espèces natives présentes dans au moins 10 relevés, celles dont l'occurrence a le plus augmenté entre les deux périodes d'observations (au moins trois fois plus présentes dans les relevés récents) sont *Rubus fruticosus* L., *Glechoma hederacea* L., *Dioscorea communis* (L.) Caddick & Wilkin, *Hedera helix* L., *Prunus mahaleb* L., *Galium aparine* L., *Carex pendula* Huds., *Rubus caesius* L. Celles dont l'occurrence a le plus diminué (au moins deux fois plus présentes dans les relevés anciens) sont *Geranium columbinum* L., *Festuca ovina* L., *Euphorbia seguieriana* Neck., *Phalaris arundinacea* L., *Lythrum salicaria* L., *Salix alba*, *Hypericum perforatum* L., *Polygala vulgaris* L. Pour les exotiques, on a observé une augmentation pour *Juglans regia* L., *Parthenocissus inserta* (A.Kern.) Fritsch et *Reynoutria x bohemica*, et une diminution pour *Erigeron annuus* et *Oenothera biennis*.

L'analyse des valeurs indicatrices basées sur les fréquences des espèces permet de mettre en évidence les espèces significativement caractéristiques de chacune des deux dates de relevés. Deux espèces (*Salix alba* et *Hypericum perforatum*) sont caractéristiques des relevés anciens et 17 espèces sont caractéristiques des relevés récents (Tableau 2.5). Il est à noter qu'aucune des deux listes ne comporte d'espèces exotiques.

Enfin lors de la phase d'inventaire de terrain nous avons constaté que deux placettes sur les 118 placettes étaient complètement envahies par une espèce exotique : la première par *Reynoutria x bohemica* au niveau de la RN du Haut-Rhône, la deuxième par *Acer negundo* en basse vallée de l'Ain. Dans les deux cas il s'agissait de peuplements situés à proximité du cours d'eau principal, dans des conditions *a priori* favorables à des saulaies.

Espèces indicatrices – relevés anciens	Espèces indicatrices – relevés nouveaux
<i>Salix alba</i> (IndVal = 0.409, p = 0.004) <i>Hypericum perforatum</i> (IndVal = 0.353, p = 0.033)	<i>Ligustrum vulgare</i> (IndVal = 0.662, p = 0.001), <i>Hedera helix</i> (IndVal = 0.657, p = 0.001), <i>Crataegus monogyna</i> (IndVal = 0.627, p = 0.005), <i>Dioscorea communis</i> (IndVal = 0.618, p = 0.001), <i>Cornus sanguinea</i> (IndVal = 0.602, p = 0.002), <i>Fraxinus excelsior</i> (IndVal = 0.599, p = 0.001), <i>Rubus fruticosus</i> (IndVal = 0.515, p = 0.001), <i>Rubus caesius</i> (IndVal = 0.508, p = 0.001), <i>Corylus avellana</i> (IndVal = 0.481, p = 0.024), <i>Brachypodium sylvaticum</i> (IndVal = 0.465, p = 0.001), <i>Viburnum lantana</i> (IndVal = 0.481, p = 0.024), <i>Lonicera xylosteum</i> (IndVal = 0.443, p = 0.007), <i>Clematis vitalba</i> (IndVal = 0.440, p = 0.001), <i>Ulmus minor</i> (IndVal = 0.434, p = 0.004), <i>Galium aparine</i> (IndVal = 0.407, p = 0.001), <i>Prunus mahaleb</i> (IndVal = 0.376, p = 0.001) <i>Acer campestre</i> (IndVal = 0.374, p = 0.014)

Tableau 2.5 – Liste des espèces indicatrices par date de relevé (seuil de significativité p < 0.05)

2.3.2.2 Evolutions à l'échelle des communautés

Pour ce qui concerne les préférences écologiques approximées par les valeurs d'Ellenberg, la comparaison des modèles linéaires (Tableau 2.6) indique un meilleur classement des modèles comprenant l'épaisseur de sédiments pour les valeurs moyennes de lumière et de nutriment, et le dénivelé par rapport au cours d'eau pour les valeurs moyennes d'humidité du sol. Avec les valeurs de dispersion, les modèles les plus prédictifs sont ceux comportant le dénivelé pour la variable d'humidité du sol, l'épaisseur de sédiment pour la variable lumière et la texture pour la variable nutriment.

D'après les tests de Student appariés (Tableau 2.7), les différences entre les relevés anciens et récents se caractérisent par une diminution significative des valeurs de lumière et d'humidité du sol. Toujours entre les deux dates, les analyses montrent une dispersion significativement plus importante des valeurs de lumière, et une dispersion réduite des valeurs d'humidité du sol.

La valeur moyenne d'humidité du sol diminue avec l'augmentation du dénivelé par rapport à l'eau et de la proportion du sable dans le sol (Annexe 2.4a). La valeur moyenne pour la lumière diminue elle significativement avec l'augmentation de l'épaisseur des sédiments fins et s'accroît significativement avec l'augmentation de la proportion de sable, tandis que la valeur moyenne des nutriments dans le sol suit une tendance exactement inverse.

	Variabiles	Modèle évalué	k	AICc	W	R ²
Valeur moyenne	Humidité du sol	Longitude + Date * Dénivelé	6	627.6	0.617	0.368
	Lumière	Longitude + Date + Epaisseur	5	333.7	0.718	0.479
	Nutriments	Longitude + Date + Epaisseur	5	606.5	0.74	0.374
	Compétitive	Longitude + Date + Epaisseur	5	1521.8	0.66	0.326
	Stress-tolérante	Longitude + Date + Epaisseur	5	1644.2	0.440	0.112
	Rudérale	Longitude + Date * Distance	6	1577.6	0.954	0.115
Valeur de dispersion	Humidité du sol	Longitude + Date + Dénivelé	5	-214.8	0.598	0.162
	Lumière	Longitude + Date + Epaisseur	5	-208.9	0.73	0.249
	Nutriments	Longitude + Date + Texture	5	-236.4	0.272	0.383
	Compétitive	Longitude + Date + Epaisseur	5	-284.7	0.496	0.213
	Stress-tolérante	Longitude + Date + Dénivelé	5	-270.3	0.551	0.120
	Rudérale	Longitude + Date + Dénivelé	5	-179.3	0.631	0.120

Tableau 2.6 – Classement des meilleurs modèles prédictifs des variations des valeurs moyennes et des valeurs de dispersion des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime)

Pour les stratégies écologiques, le modèle linéaire le plus explicatif sur les valeurs moyennes est obtenu avec l'épaisseur de sédiments pour la compétition et la tolérance au stress, et avec la distance au cours d'eau pour la dimension rudérale (Tableau 2.6). Avec les valeurs de dispersion, les modèles les plus prédictifs sont ceux comportant l'épaisseur de sédiments pour la compétition et le dénivelé pour les deux autres stratégies. Les tests de Student appariés (Tableau 2.7) indiquent des différences significatives entre les deux dates, avec une augmentation des valeurs moyennes de compétition et une diminution des valeurs moyennes de tolérance au stress, et une augmentation des valeurs de dispersion pour les stratégies stress-tolérante et rudérale.

Une interaction significative entre la distance au cours d'eau et la date explique les variations de la valeur moyenne des dimensions tolérance au stress et rudérale (Annexe 2.4a). D'après les graphiques (Annexe 2.5b), cette interaction révèle que les communautés les plus proches de la ligne d'eau étaient plus tolérantes au stress et moins rudérales dans les relevés anciens que dans les relevés récents. Les modèles indiquent que les communautés sont constituées d'espèces devenant moins compétitives avec une augmentation du dénivelé et de la distance au cours d'eau (c'est-à-dire de la déconnexion) mais aussi de la proportion de sable. Cette relation s'inverse cependant avec une augmentation de l'épaisseur de sédiments fins. La dimension rudérale des communautés augmente elle significativement avec le dénivelé et la distance au cours d'eau et la proportion de sable dans le sol. La distance au lit de la rivière et la date de l'étude font varier significativement les valeurs de dispersion de la dimension rudérale.

Variables	Relevés anciens		Relevés récents		t-value	P	Adj. p	
	Moyenne (±SD)	Etendue	Moyenne (±SD)	Etendue				
Valeur moyenne	Humidité du sol	5.49 (±1.29)	3.14 - 8.67	5.20 (±0.94)	3.00 - 8.88	3.652	0.000	0.001
	Lumière	6.85 (±0.67)	5.43 - 8.14	6.58 (±0.65)	5.45 - 8.18	6.206	0.000	0.000
	Nutriment	5.11 (±1.13)	2.50 - 6.92	5.23 (±1.05)	2.41 - 7.18	-1.580	0.117	0.140
	Compétitive	31.55 (±7.77)	11.92 - 52.81	33.28 (±6.74)	17.22 - 47.08	-3.140	0.002	0.004
	Stress-tolérante	41.55 (±9.13)	21.65 - 65.38	38.78 (±7.04)	22.51 - 63.53	3.289	0.001	0.003
	Rudérale	26.91 (±8.38)	5.21 - 47.84	27.94 (±5.68)	16.98 - 43.51	-1.337	0.184	0.200
Valeur de dispersion	Humidité du sol	0.60 (±0.16)	0.22 - 1.01	0.54 (±0.16)	0.17 - 0.94	3.209	0.002	0.003
	Lumière	0.62 (±0.19)	0.19 - 1.14	0.68 (±0.16)	0.38 - 1.08	-3.611	0.000	0.001
	Nutriment	0.59 (±0.20)	0.28 - 1.12	0.57 (±0.16)	0.27 - 0.98	1.747	0.083	0.111
	Compétitive	0.67 (±0.17)	0.31 - 1.20	0.65 (±0.13)	0.36 - 0.98	1.263	0.209	0.209
	Stress-tolérante	0.76 (±0.16)	0.25 - 1.19	0.80 (±0.12)	0.52 - 1.20	-2.544	0.012	0.018
	Rudérale	0.62 (±0.19)	0.19 - 1.15	0.70 (±0.15)	0.36 - 1.17	-3.786	0.000	0.001

Tableau 2.7 : Evolutions entre les relevés anciens et les relevés récents des valeurs moyennes (CWM) et des valeurs de dispersion (FDis) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime) au sein des communautés inventoriées. En gras : différence significative au seuil de 0.05 (adj.p, après correction de Benjamini-Hochberg)

2.3.3 Etude floristique : discussion

L'analyse diachronique des relevés floristiques se base sur la présence d'espèces et sur un ensemble de données caractérisant à la fois les espèces (traits et stratégies écologiques) au sein des communautés et les sites étudiés (connectivité au cours d'eau) ; des différences significatives au sein des compositions et des successions végétales peuvent s'expliquer par une évolution temporelle des conditions environnementales. A ce niveau nous avons précédemment avancé comme hypothèse de recherche deux facteurs d'évolution (cf 2.4) : 1) au niveau abiotique, les conséquences de la régulation des cours d'eau et de la diminution de la fréquence et de l'intensité des perturbations associées ; 2) au niveau biotique, l'importance croissante des EEE au sein des communautés.

Concernant les changements des conditions environnementales entre les deux dates, nos résultats montrent que les évolutions les plus significatives concernent l'humidité du sol, avec une diminution significative des valeurs moyennes à l'échelle des communautés et une tendance à l'homogénéisation des valeurs (plus faible dispersion). Par ailleurs l'humidité du sol est corrélée négativement avec la proportion de sable et avec le dénivelé par rapport à l'eau. Sur la base des occurrences et des valeurs indicatrices des espèces, les observations convergent également pour souligner une diminution des conditions d'humidité du sol, avec pour les relevés récents des espèces indicatrices se situant surtout entre les niveaux mésophiles et xérophiles du gradient hydrique (Rameau et al. 1989). Le cas de *Salix alba* est emblématique : c'est une espèce hygrophile caractéristique des milieux riverains dynamiques, indicatrice uniquement des relevés anciens et qui a vu sa fréquence largement diminuer entre les deux dates d'inventaire. Ces résultats sont en cohérence notamment avec les travaux de Mikulová et al.

(2020) qui en lien avec la régulation des cours d'eau ont également constaté une diminution des communautés hygrophiles.

Les valeurs de lumière ont significativement diminué entre les deux dates, alors que les valeurs de compétition ont significativement augmenté. Toujours en lien avec les modifications des conditions hydrologiques, de telles évolutions peuvent s'expliquer de façon logique par une plus grande stabilité des milieux, moins renouvelés par les crues, et par une fermeture du couvert consécutive à un développement de communautés forestières post-pionnières, en lien avec la dynamique de succession naturelle. Par ailleurs nous avons mis en évidence que les communautés dominées par les espèces compétitives, sciaphiles, sont préférentiellement associées aux relevés présentant les plus fortes épaisseurs de sédiments fins et un substrat moins sableux, ce qui dans l'ensemble caractérise bien les conditions écologiques des forêts alluviales de bois durs. On rejoint là aussi l'hypothèse initiale d'une dynamique fluviale moins structurantes pour les communautés, entraînant une évolution vers des milieux boisés, moins perturbés, et donc des communautés ligneuses post-pionnières plus stables.

Les liens entre les variables de connectivité aux cours d'eau et les stratégies CSR de Grime sont peu évidents, voire contre-intuitifs, en particulier pour la compétition qui semble diminuer avec la distance et le dénivelé par rapport à l'eau. Lors de la phase de relevés sur le terrain nous avons pu constater qu'il n'est pas toujours possible de simplifier à un simple gradient topographique les différentes phases de succession entre les formations herbacées hygrophiles proches du cours d'eau et des formations de plus en plus boisées lorsque l'on s'en éloigne. Notamment les milieux steppiques sur substrats grossiers sont des milieux plutôt ouverts, déconnectés des cours d'eau et avec des communautés présentant peu d'espèces compétitrices. Les autres stratégies (stress-tolérantes ou rudérales) sont également difficilement expliquées par la connectivité au cours d'eau. Les communautés rudérales sont liées à des perturbations qui peuvent avoir dans ces milieux des origines différentes telles que des épisodes de crues ou des opérations d'écopâturage, et il paraît difficile de les relier à un simple gradient hydrique ou topographique. De même pour les espèces stress-tolérantes qui peuvent être favorisées aussi bien par des conditions d'anoxie que de sécheresse.

Sur le plan biotique, l'analyse diachronique des relevés ne répond que partiellement à la question du développement des invasives. D'une part la fréquence des EEE dans les cortèges floristiques n'a que faiblement augmenté, ce qui peut être considéré en soi comme un résultat, mais qui ne nous permet pas d'aller plus loin dans l'analyse des interactions entre invasions végétales et conditions environnementales. D'autre part on peut penser que les milieux sensibles aux invasions ont été sous-échantillonnés dans la mesure où les peuplements envahis n'ont quasiment pas été inventoriés dans les relevés floristiques anciens (J. Girel, com. per.).

2.4 Conclusion – Volet 1

Les deux analyses permettent une comparaison entre des données anciennes et actuelles et, bien que basées sur des approches différentes, aboutissent à des résultats globalement analogues. Elles s'accordent notamment sur le fait que les évolutions significatives au sein des communautés végétales sont principalement liées à des changements de conditions abiotiques. Comparativement, l'importance des invasions végétales sur l'évolution des cortèges floristiques n'apparaît qu'à un niveau secondaire.

Les effets de la régulation des cours d'eau sur la dynamique fluviale sont constatés *via* l'étude cartographique par premièrement une plus faible ampleur de la bande active et une réduction des formations de bois tendre, et deuxièmement une augmentation des formations ligneuses à bois durs et de formations steppiques sur substrat grossier. L'étude floristique confirme ces observations en mettant en évidence une régression marquée des communautés hygrophiles et une augmentation des communautés post-pionnières caractéristiques des forêts de bois durs, plus compétitrices et moins dépendantes des conditions d'humidité du sol.

Il apparaît que les saulaies blanches, formations végétales caractéristiques des milieux rivulaires, régressent de façon préoccupante, à un rythme tel que leur disparition à court ou moyen terme n'est sans doute pas un scénario à exclure. D'une part, elles ne bénéficient plus que partiellement des conditions de dynamiques fluviales nécessaires à leur renouvellement. D'autre part, le long du chenal principal où elles pourraient encore se maintenir, elles subissent une concurrence importante des EEE, en particulier de *Reynoutria sp.* et *Acer negundo*.

Les conclusions apportées par les deux approches sur le développement des EEE restent partielles. L'approche floristique montre une augmentation assez limitée de ces espèces, dans un échantillonnage de communautés globalement représentatives des milieux alluviaux du Haut-Rhône mais où les situations d'invasions végétales qui pouvaient exister initialement n'ont pas idéalement été prises en compte. L'approche cartographique en revanche a montré des cas à la fois anciens et récents de populations exotiques dominantes, massives, sur des surfaces importantes ; cependant la mise en évidence d'une dynamique de ces formations basée sur la comparaison des surfaces entre les deux dates est délicate, faute d'une typologie des végétations homogène. Sous ces réserves, il semble possible d'opposer deux tendances d'évolution, avec d'un côté une régression des milieux et des conditions environnementales qui sont favorables aux invasions végétales (à relier à la régulation des cours d'eau, à la diminution des perturbations et à la diminution des conditions hygrophiles), et de l'autre, au sein de ces milieux perturbés encore présents, une importance croissante des EEE.

Les changements au niveau des formations végétales alluviales sont manifestes et correspondent bien aux scénarios envisagés lors des études floristiques réalisées sur ces milieux il y a déjà plusieurs décennies. A l'avenir on peut supposer que d'autres facteurs environnementaux seront déterminants. En particulier, il faudra tenir compte des dépérissements et mortalités observés actuellement sur *Fraxinus excelsior* consécutifs à *Chalara fraxinea*. Les nombreuses frênaies affectées représentent des surfaces très importantes ; on y observe de larges trouées et un développement massif de la strate arbustive composée d'essences ligneuses diverses. Il n'est pas à exclure dans certaines conditions un développement important d'EEE tels que *Robinia pseudoacacia* ou *Acer negundo* pouvant à terme dominer la strate arborescente. Enfin, il est évident que les changements climatiques et les effets probables sur les régimes hydrologiques, en particulier la régression de l'aquifère et la baisse du niveau d'étiage, auront des effets sur la végétation rivulaire. Les formations végétales à caractère hygrophile, déjà en phase de régression risquent de disparaître ou au mieux ne pourront se maintenir que sur une bande étroite à proximité des cours d'eau. En contrepartie, il faut s'attendre à un développement de communautés de plus en plus xérophiles telles que les chênaies pubescentes. Il serait hasardeux d'aller plus loin dans des prévisions, mais on ne peut écarter des évolutions des dynamiques végétales de plus grande ampleur et à plus court terme comparée à celles observées ces dernières décennies.

3 Volet 2 : Réversibilité et restauration active - Cas d'étude de la restauration des berges envahies par les renouées asiatiques

3.1 Introduction

3.1.1 Les renouées asiatiques : enjeux, écologie et impact

Les renouées asiatiques sont classées parmi les espèces exotiques envahissantes les plus menaçantes pour la biodiversité à l'échelle mondiale (Lowe et al. 2000). Introduites au 19^{ème} siècle pour l'ornementation, les renouées asiatiques (*Reynoutria japonica* Houtt., *Reynoutria sachalinensis* ([F.Schmidt Petrop.], Nakai) et *Reynoutria x bohemica* (Chrték&Chrtkova)) se sont rapidement échappées des jardins pour coloniser les paysages européens (Thiebaut et al. 2020). Ainsi, dès 1894, le journal hebdomadaire *Le Voleur illustré* écrivait « Enfin, mes chers lecteurs, c'est une plante superbe que cette Renouée du Japon, mais d'une voracité, oh ! Combien ! » (source : <https://gallica.bnf.fr>). Une phrase qui résume à elle seule les changements de paradigme accompagnant l'histoire de ces espèces introduites. Aujourd'hui, elles sont présentes et en expansion sur tous les continents, y compris en Europe et en France (Martin 2019). Abondantes le long des infrastructures de transport et des berges de cours d'eau où leur dispersion est facilitée par les crues, les renouées asiatiques épargnent peu de gestionnaires. Beaucoup d'entre eux sont ainsi confrontés à la question de leur contrôle.

Les renouées asiatiques sont des végétaux clonaux de la famille des Polygonacées. Ces géophytes rhizomateuses produisent une grande quantité de biomasse, dont près de deux tiers est souterraine (Barney 2006, Stefanowicz et al. 2020). Au printemps, elles produisent des tiges segmentées ramifiées pouvant atteindre 2.5 m de hauteur pour *R. japonica* à 4.5 m de hauteur pour *R. sachalinensis*, l'hybride *R. x bohemica* exprimant des caractères intermédiaires entre ses deux parents. Elles tolèrent une large gamme de conditions environnementales et se développent en particulier le long des cours d'eau, où leur forte capacité de régénération leur permet d'en coloniser rapidement les berges (Child and Wade 2000). Une fois installées, elles forment des fourrés monospécifiques denses qui excluent les autres espèces végétales par compétition pour la lumière et par phytotoxicité (Siemens and Blossey 2007, Aguilera et al. 2010). En effet, elles libèrent dans le sol des composés allélopathiques toxiques pour les autres plantes (Dommanget et al. 2014) modifiant également le fonctionnement du sol (Tharayil et al. 2013). Plus particulièrement, elles sont connues pour enrichir le sol en éléments majeurs (azote, carbone organique...) et modifier l'activité microbienne (Vanderhoeven et al. 2005, Dassonville et al. 2007, Kappes et al. 2007, Dassonville et al. 2011, Urgenson et al. 2012, Tharayil et al. 2013, Stefanowicz et al. 2020). Mais ces effets sur le sol restent dépendants des sites (Vanderhoeven et al. 2005, Koutika et al. 2007, Dassonville et al. 2011). Malgré les impacts négatifs détectés sur la flore indigène, le sol et la faune (Lavoie 2017), de récentes publications mettent en évidence que leur floraison tardive et nectarifère attire de nombreux insectes (Davis et al. 2018, Johnson et al. 2019).

3.1.2 La gestion des renouées asiatiques

Les opérations de gestion des renouées asiatiques peuvent être réalisées en vue de trois buts : éradiquer les foyers de renouées asiatiques implantés sur un site ou sur un territoire, réduire leur développement et atténuer leurs impacts, ou empêcher leur dispersion. Les méthodes testées par les gestionnaires pour contrôler ou éradiquer les massifs de renouées asiatiques relèvent de plusieurs catégories (mécaniques, chimiques ou biologiques). Les opérations de gestion effectivement mises en place varient principalement en termes de méthodologie, de contexte de réalisation, et d'entretien mais présentent cependant des points communs. Elles sont tout d'abord inscrites dans la durée. Très

peu de méthodes de gestion des renouées asiatiques donnent des résultats immédiats (Dommanget et al. 2019), et certaines opérations de gestion sont associées à un suivi et/ou un entretien des sites traités (Child and Wade 2000). Pour aboutir, ces opérations doivent être intégrées dans une stratégie plus large. Enfin, un constat s'impose : on ne peut le plus souvent que faire régresser les foyers de renouées asiatiques, très rarement les faire disparaître (Delbart et al. 2012, Cottet et al. 2018).

Face à ces difficultés couplées à des impératifs de durabilité, de nouvelles méthodes se développent, incluant l'utilisation du génie écologique.

3.1.3 Le génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques

L'ingénierie écologique (*ecological engineering* en anglais) est définie comme la conception d'écosystèmes durables qui intègrent la société humaine et son environnement naturel pour le bénéfice des deux (Mitsch 2012). Employé dans ce cadre conceptuel, le génie végétal peut-être entendu comme une méthode de mise en œuvre de l'ingénierie écologique et désigne la construction d'ouvrages composés essentiellement de végétaux, réalisés dans le but de protéger, ou de restaurer, voire de remodeler ou de créer un écosystème fonctionnel (Adam et al. 2008). Le génie végétal est traditionnellement utilisés dans la lutte contre l'érosion des berges de cours d'eau. Mais depuis une vingtaine d'années, des techniques visant à restaurer la capacité compétitive des communautés végétales pour gérer des invasions biologiques, en utilisant des végétaux autochtones, émergent sur tout le territoire (Dommanget et al. 2015). Ces pratiques mobilisent des techniques de génie végétal, consistant à introduire des végétaux compétitifs dans les zones envahies par les renouées asiatiques. Elles présentent plusieurs intérêts : en plus de réduire le développement des renouées asiatiques, elles permettent également de reconstituer une communauté végétale compétitive plus proche de celles s'établissant historiquement dans ces milieux, tout en s'appuyant sur les capacités d'auto-organisation des systèmes vivants. Les opérations de restauration écologique des zones envahies peuvent ainsi participer à la reconstitution de nouvelles communautés végétales, y intégrant les renouées asiatiques mais réduisant leur caractère dominant, en limitant les actions humaines à la plantation / bouturage des espèces natives, et à leur entretien les premières années. Cependant, très peu d'information à ce jour n'existe sur l'effet de ces pratiques sur le fonctionnement de ces écosystèmes, que ce soit sur le retour de la flore spontanée, les composantes biochimiques du sol ou encore les communautés d'insectes qu'elles supportent. De même, il existe très peu de retour d'expérience sur les effets à moyen terme de ces travaux sur la biodiversité pourtant lancés en très grand nombre par les gestionnaires.

3.1.4 Objectifs de l'étude

Mieux connaître et quantifier les impacts des invasions végétales sur les berges de cours d'eau et les effets des interventions de gestion sur le fonctionnement de ces écosystèmes représente un enjeu majeur pour guider les gestionnaires dans leurs pratiques. En prenant le cas d'étude des renouées asiatiques et de leur gestion par génie végétal, ce volet du projet BEECOVER s'intéresse aux effets de ce complexe d'espèces et de la restauration des zones envahies sur la flore, le sol et les insectes volants. Une première étape consiste à dresser un panorama des pratiques de gestion des renouées asiatiques par le génie végétal sur le bassin versant amont du Rhône pour mieux en définir les contours. Ce travail de recensement des ouvrages de génie écologique pour le contrôle des renouées asiatique a été réalisé avec l'aide d'Héloïse DUC, étudiante en Master 1 de Géographie (Sorbonne Université – Master Environnement : dynamiques des territoires et des sociétés, parcours Géodynamiques des

Espaces Présents et Passés), encadrée par des chercheurs d'INRAE. L'intégralité de son travail est placée en Annexe 3.1. Les travaux présentés concernant cette partie sont extraits de son mémoire.

Dans un deuxième temps, l'étude d'une sélection d'ouvrages de génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques permettra de comparer ces écosystèmes aux systèmes envahis par les renouées asiatiques et à des cordons rivulaires boisés sans renouées considérés comme des écosystèmes de référence. La comparaison entre ces trois écosystèmes permettra également de quantifier les impacts des renouées asiatiques. Trois compartiments seront étudiés : la communauté végétale, la communauté de pollinisateurs et la chimie du sol.

3.2 Matériels et méthodes

3.2.1 Recensement et description de l'utilisation du génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques sur le bassin versant du Rhône

La revue bibliographique s'est basée sur 188 documents, obtenus à l'aide de recherches sur Sherlock, OpenEditions, Hal et Google Scholar, d'emprunts de documents à partir de la base documentaire du LESSEM, et de la participation à une journée thématique sur les espèces exotiques envahissantes organisée par l'association Gentiana (Grenoble, le 30 avril 2019). La revue a d'abord porté sur la littérature scientifique (articles, ouvrages) afin de constituer une base de connaissances générales à propos du génie végétal ainsi que des renouées asiatiques et de leur gestion, puis sur les documents de littérature grise (plaquettes d'information, rapports de bureaux d'étude, actes de colloques) produits au sujet des renouées asiatiques au sein du bassin versant amont du Rhône, en vue de répertorier des opérations de génie végétal. Dans un objectif de dresser une liste qui soit la plus exhaustive possible, toutes les évocations de projets ou d'ouvrages ont été retenues, même les plus infimes (légende d'une photographie) ou celles qui n'avaient peut-être pas vu le jour. Les opérations répertoriées et les informations à leur sujet ont été recensées, avant d'être complétées à partir de 215 documents obtenus via le moteur de recherche Google.

La liste ainsi obtenue a été comparée à celle réalisée par INRAE lors de précédents travaux², et avec la base de données GeniVeg³. Le faible nombre de nouveaux projets répertoriés *via* ces comparaisons laisse penser que la majorité des ouvrages et des projets de gestion des renouées asiatiques relevant du génie végétal dans le bassin versant amont du Rhône à propos desquels il existait une trace écrite ont été recensés.

Des entretiens téléphoniques ont été réalisés pour compléter et harmoniser les informations recueillies au travers de la revue bibliographique sur les opérations répertoriées. Ces entretiens devaient remplir quatre objectifs :

- obtenir une description détaillée des opérations de gestion,
- savoir quel(s) effet(s) elles avaient eu sur les renouées asiatiques,
- cerner les motivations et le ressenti des acteurs impliqués,
- et fournir si possible des indications sur d'autres projets susceptibles de nous intéresser.

² Base de données interne établie à partir d'entretiens, et réalisée en auto-financement dans le cadre de travaux sur le génie végétal et les renouées asiatiques initiés par Irstea en 2011-2012

³ <https://genibiodiv.inrae.fr/base-de-donnees-des-ouvrages/>

Le format de l'entretien a été choisi. Un entretien est en effet plus souple et plus long qu'un questionnaire, il permet donc d'obtenir des informations plus complètes, et laisse plus de place aux suggestions et aux découvertes. Un guide d'entretien (voir rapport de stage, Annexe 3.1), a été élaboré avec l'aide de Manon ALLIBE (étudiante en sociologie, stagiaire M1 au LESSEM) et d'Isabelle ARPIN (sociologue, LESSEM). Certains entretiens ont été complétés par des visites de site, afin de vérifier leur intérêt pour la suite de l'étude.

Quatorze entretiens ont été effectués. La majorité a été entièrement enregistrée, sauf refus de la part de l'enquêté ou incapacité technique. Les enquêtés étaient protégés par un contrat de cession des droits.

À partir des informations ainsi obtenues, deux bases de données ont été générées : une base de données « gestionnaires » (Annexe 3.2) et une base de données « ouvrages » (Annexe 3.3). La base de données « gestionnaires » liste les gestionnaires interviewés (14) et les ouvrages auxquels ils ont participé. La base de données « ouvrages » décrit les ouvrages mis en place par les gestionnaires interviewés (44 ouvrages décrits).

Les deux bases de données ainsi créées ont été utilisées pour dresser un portrait des techniques de génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques et aborder la question de leur efficacité (telle que perçue par les gestionnaires). L'intégralité des résultats est disponible dans la partie IV du rapport de stage de Master 1 (Annexe 3.1). Nous en donnons un résumé dans la partie 3.3.1 du présent rapport.

3.2.2 Sélection des sites d'étude

Pour l'étude comparative, il s'agit de cibler des ouvrages sur lesquels des relevés écologiques seront effectués. Ces ouvrages doivent se trouver à proximité de zones encore envahies par les renouées asiatiques et de zones qui n'ont jamais été envahies, afin de pouvoir conduire l'analyse comparative visant à quantifier les différences dans le fonctionnement écologique de ces trois systèmes. Le contexte paysager et l'âge des ouvrages doivent être similaires pour permettre de séparer l'effet de l'envahissement de celui de la restauration par des techniques de génie végétal.

A partir de la base de données « ouvrages », cinq gestionnaires ont été ciblés et contactés pour des visites de site. Les visites préliminaires ont pu être effectuées de mai à décembre 2019 au sein des bassins versants :

- Des Brévenne et Turdine (69), géré par le SYRIBT
- De l'Herbasse (26), géré par le SIABH
- De la Bourbre (38), géré par le SMABB
- De la Semène (42), géré par l'EPAGE Loire-Lignon
- Du Doubs (25), ouvrages ayant été mis en place par l'association ECHÉL.

Dans le cas des ouvrages réalisés sur la Semène, le Doubs et l'Herbasse, aucun site comparable envahi n'est plus présent. Ils ont donc été exclus de l'étude écologique comparative. En revanche, dans le cas des bassins versants de la Brévenne et de la Bourbre, respectivement 3 et 4 zones avec à la fois des ouvrages de génie écologique (replantation de ligneux sur une zone envahie par les renouées asiatiques), des zones envahies (couverture herbacée composée à plus de 60% de renouées asiatiques) et des zones dites « de référence » (cordon boisé en bordure de cours d'eau n'ayant jamais été envahi

par des renouées asiatiques) ont pu être identifiées. La sélection de ces zones a été consolidée par des visites répétées durant la saison de végétation 2020.

3.2.3 Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage des communautés végétales, des communautés de pollinisateurs et du sol a été réalisé d'avril à septembre selon le plan d'échantillonnage schématisé dans la figure 3.1. Au sein de chacun des deux bassins versants échantillonnés (Bourbre - 38 et Brévenne – 69), trois à quatre sites de trois placettes (un site = un triptyque de placettes) ont été matérialisés temporairement. Chaque placette représente une des trois modalités étudiées : envahie par les renouées asiatiques (en rouge, « envahi »), cordon rivulaire boisé n'ayant jamais été envahi (en vert, « de référence ») et ayant fait l'objet d'une gestion des renouées asiatiques par génie végétal (en jaune, « restauré »).

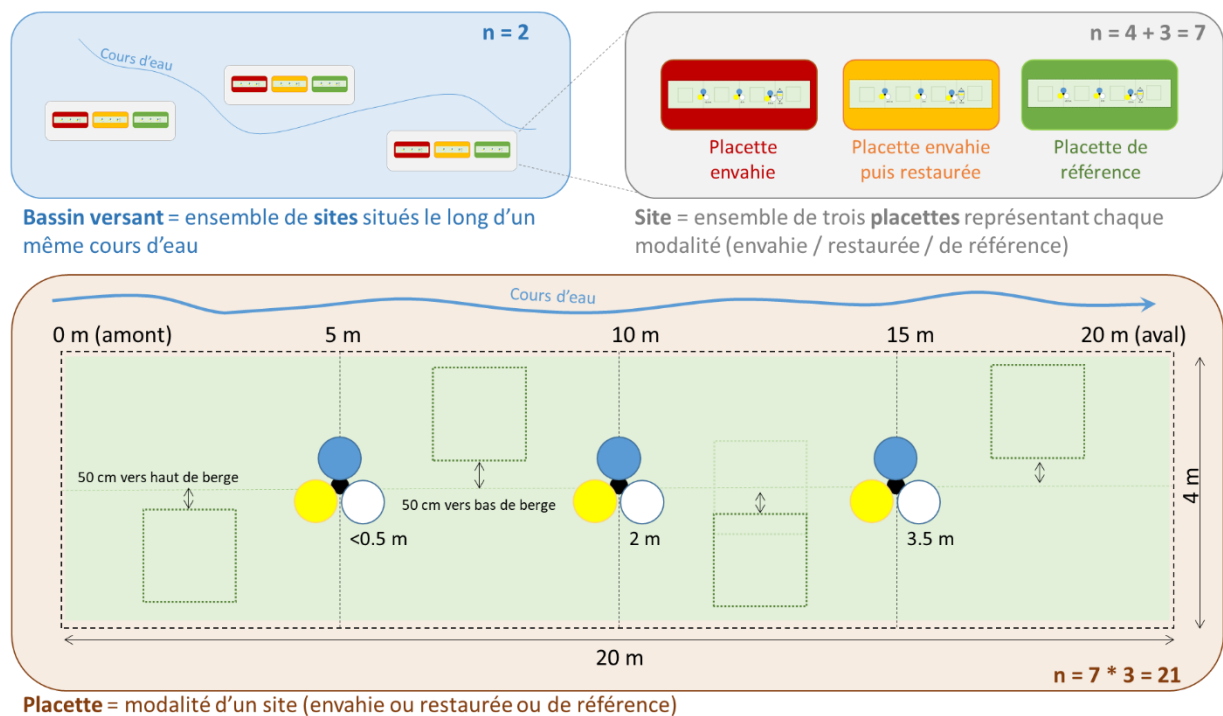


Figure 3.1 : Plan d'échantillonnage. Trois placettes sont matérialisées sur chaque site. Au total, sept sites ont été échantillonnés, répartis sur deux bassins versants (4 sur le bassin versant de la Bourbre, 3 sur celui de la Brévenne). Les cercles colorés en bleu, blanc ou jaune représentent les coupelles de capture d'insectes (voir ci-dessous). Sur chaque placette, les relevés sont réalisés au sein d'un transect de 4*20 m (rectangle vert pâle).

Chaque site est éloigné d'en moyenne de 4.5km (min 350m ; max 16.7km à vol d'oiseau) du site le plus proche ; au sein de chaque site, les placettes sont situées dans un périmètre de 225m en moyenne (min 15m ; max 910m à vol d'oiseau) afin d'avoir une homogénéité paysagère et dans les conditions environnementales (Tableau 3.1). Une analyse en composante principale a été conduite sur le pourcentage de différents types d'occupation du sol dans deux zones tampons de 100 et 1000m autour des placettes afin de vérifier l'homogénéité paysagère entre les placettes au sein des sites (Annexe 3.4).

BV	Site	Placette	CodeSite	Cours d'eau	Rive	Distance amont (m)	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Bourbre	Pont Rouge	Envahi	BoPRInv	Canal Mouturier	RD	0	45°33'48.69"N	5°24'46.91"E	311
		Référence	BoPRRef	La Bourbre	RG	450	45°33'44.59"N	5°24'25.62"E	308
		Restauré	BoPRRes	Canal Mouturier	RG	40	45°33'45.06"N	5°24'22.72"E	307
	Pré Battoir	Envahi	BoBattInv	La Bourbre	RG	2940	45°34'01.28"N	5°22'08.04"E	301
		Référence	BoBattRef	La Bourbre	RD	15	45°34'01.53"N	5°22'07.07"E	301
		Restauré	BoBattRes	La Bourbre	RD	35	45°34'01.99"N	5°22'05.07"E	301
	Ancienne STEP	Restauré	BoSTEPRes	La Bourbre	RD	350	45°34'01.64"N	5°21'48.23"E	297
		Référence	BoSTEPRef	La Bourbre	RD	75	45°34'00.93"N	5°21'43.78"E	296
		Envahi	BoSTEPInv	La Bourbre	RD	50	45°34'00.50"N	5°21'40.63"E	296
	Villefontaine	Référence	BoVillRef	Canal de dessèchement de La Bourbre	RD	16735	45°38'03.73"N	5°10'05.17"E	210
		Envahi	BoVillInv	Canal de dessèchement de La Bourbre	RD	55	45°38'05.55"N	5°10'01.92"E	210
		Restauré	BoVillRes	Canal de dessèchement de La Bourbre	RD	25	45°38'06.78"N	5°09'59.89"E	210
Brévenne	Les Allognets	Restauré	BrAlloRes	La Brévenne	RD	0	45°45'37.07"N	4°33'31.01"E	290
		Envahi	BrAlloInv	La Brévenne	RD	540	45°45'50.18"N	4°33'49.52"E	287
		Référence	BrAlloRef	La Brévenne	RD	911	45°46'14.89"N	4°34'16.43"E	287
	La Rochette	Référence	BrRochRef	Le Conant	RD	2120	45°47'18.51"N	4°34'56.24"E	276
		Envahi	BrRochInv	La Brévenne	RD	260	45°47'19.50"N	4°35'08.54"E	260
		Restauré	BrRochRes	La Brévenne	RD	70	45°47'22.42"N	4°35'10.96"E	258
	Le Martinet	Restauré	BrMartRes	La Brévenne	RG	640	45°47'43.91"N	4°35'20.80"E	255
		Envahi	BrMartInv	La Brévenne	RG	65	45°47'46.55"N	4°35'19.42"E	255
		Référence	BrMartRef	Le Penon	RD	590	45°48'03.78"N	4°35'06.88"E	278

Tableau 3.1 : Position des sites et des placettes. BV signifie Bassin Versant. La colonne *Distance amont (m)* donne la distance à la placette en amont la plus proche.

La hauteur de précipitation annuelle moyenne sur le bassin versant de la Bourbre est de 856.44 mm et la température journalière moyenne est de 12.06°C (station météorologique de Bourgoin, données MétéoFrance entre 1993 et 2021). Sur la Brévenne et d'après la station météorologique la plus proche (station météorologique de Liergues, données MétéoFrance entre 1993 et 2021), la précipitation annuelle moyenne est de 707.48 mm et la température journalière moyenne est de 11.92°C.

Chaque placette correspond à un transect de 20 m de long et 4 m de large (Figure 3.1).

3.2.4 Echantillonnage du sol

Sur chacune des 21 placettes, trois points d'échantillonnage sur des quadrats d'environ un mètre carré ont été effectués d'amont en aval le long du transect. Les prélèvements ont été effectués du 17 au 18 mai 2021. Sur chaque point d'échantillonnage, un litre de sol (profondeur 0-10 cm) a été récupéré pour les analyses élémentaires et enzymatiques.

Les analyses ont été effectuées par le laboratoire INRAE ISPA (Interactions Sol Plante Atmosphère, coordination des analyses par Nicolas Fanin) situé à Bordeaux et ont bénéficié d'un financement complémentaire de l'Office Français pour la Biodiversité ayant permis le dosage des enzymes impliquées dans les cycles de l'azote, du carbone et du phosphore. Les variables suivantes ont été dosées : nitrate (NO₃), ammonium (NH₄), azote minéral (MinN), azote total (N_{tot}), phosphate (PO₄), phosphore total (P_{total}), carbone organique (C_{org}), rapports C/N_{total}, C/P_{total}, N/P_{total}, Calcium (Ca), cuivre (Cu), fer (Fe), potassium (K), soufre (S), zinc (Zn), manganèse (Mn), et pour les enzymes relatives à la dégradation du carbone organique : β -1,4-glucosidase (BG), α -1,4-glucosidase (AG), 1,4- β -D-cellobiohydrolase (CBH), β -xylosidase (XYL), à la dégradation de l'azote : β -1,4-N-acetylglucosaminidase (NAG), L-leucine aminopeptidase (LAP), et à la dégradation du phosphore : alcaline phosphatase (AP).

3.2.5 Echantillonnage de la flore

La flore herbacée est échantillonnée sur quatre quadrats de 1 m² placés régulièrement le long du transect, alternativement au-dessous et au-dessus du décimètre central délimitant le transect (Figure

3.1). Une estimation visuelle du pourcentage de recouvrement au sol de chaque espèce est réalisée une fois au mois de juin 2021, c'est-à-dire au pic de végétation.

Les végétaux ligneux sont inventoriés au sein de l'intégralité du transect de 20 * 4 m par estimation visuelle de la projection au sol de leur canopée. Comme pour les végétaux herbacés, un relevé exhaustif a été réalisé en juin 2021 pour chaque placette.

Par ailleurs, à l'occasion de chaque session de capture (voir 3.2.6), les espèces en fleur (herbacées et ligneuses) au sein du transect sont identifiées et notées.

3.2.6 Capture des insectes volants

La méthode de capture par coupelles colorées a été choisie (Westphal et al. 2008, Davis et al. 2018) En effet, cette méthode a l'avantage de cibler les insectes pollinisateurs (attirés par la couleur) par rapport à des méthodes plus exhaustives mais moins sélectives comme les tentes Malaises. Par ailleurs, elle est moins sensible au biais observateur et est particulièrement efficace pour les inventaires d'abeilles, taxons initialement ciblés par l'étude BEECOVER (Westphal et al. 2008). De plus, les coupelles peuvent être placées à différentes hauteurs, permettant ainsi de collecter des insectes volants au sol comme à plusieurs mètres de hauteur. Cette méthode est donc particulièrement adaptée aux milieux multistrates de la présente étude. Enfin, elle permet de collecter des insectes volants sur une durée continue de 72h, ce qui permet de s'affranchir des aléas d'ensoleillement desquels dépendent les méthodes d'observation directe.

Ainsi, trois jeux de trois coupelles ont été disposés chaque mois entre avril et septembre sur chacune des 21 placettes de l'étude (Figure 3.2). Chaque jeu était composé d'une coupelle blanche, d'une coupelle bleue et d'une coupelle jaune. D'avril à juin, les coupelles mises en place étaient des coupelles en fibres végétales de couleur neutre (bol en bagasse Beige, 750ml, Ø 170mm, www.pro-jet.fr) peintes au spray (traceur de chantier ROCOL® 650ml bleu, blanc et jaune, www.mabeo-direct.com). A partir du mois de juillet et compte-tenu de problèmes récurrents d'étanchéité, les coupelles en bagasse ont été remplacées par des coupelles en plastique alimentaire transparent (bol en plastique PET, 750ml, Ø165mm, SABERT®, www.monouso.fr), également peintes au spray. Le diamètre des coupelles cartons étaient 170mm et celui des coupelles plastiques de 165mm.

Les coupelles étaient placées sur des supports métalliques fixés sur des piquets bois à différentes hauteurs (0.50, 1.50, 3.50 m) afin de réaliser des captures rendant compte de la structure verticale de la communauté végétale. Chaque mois, la hauteur des coupelles était redistribuée et attribuée aléatoirement à chaque piquet afin d'éviter tout biais.

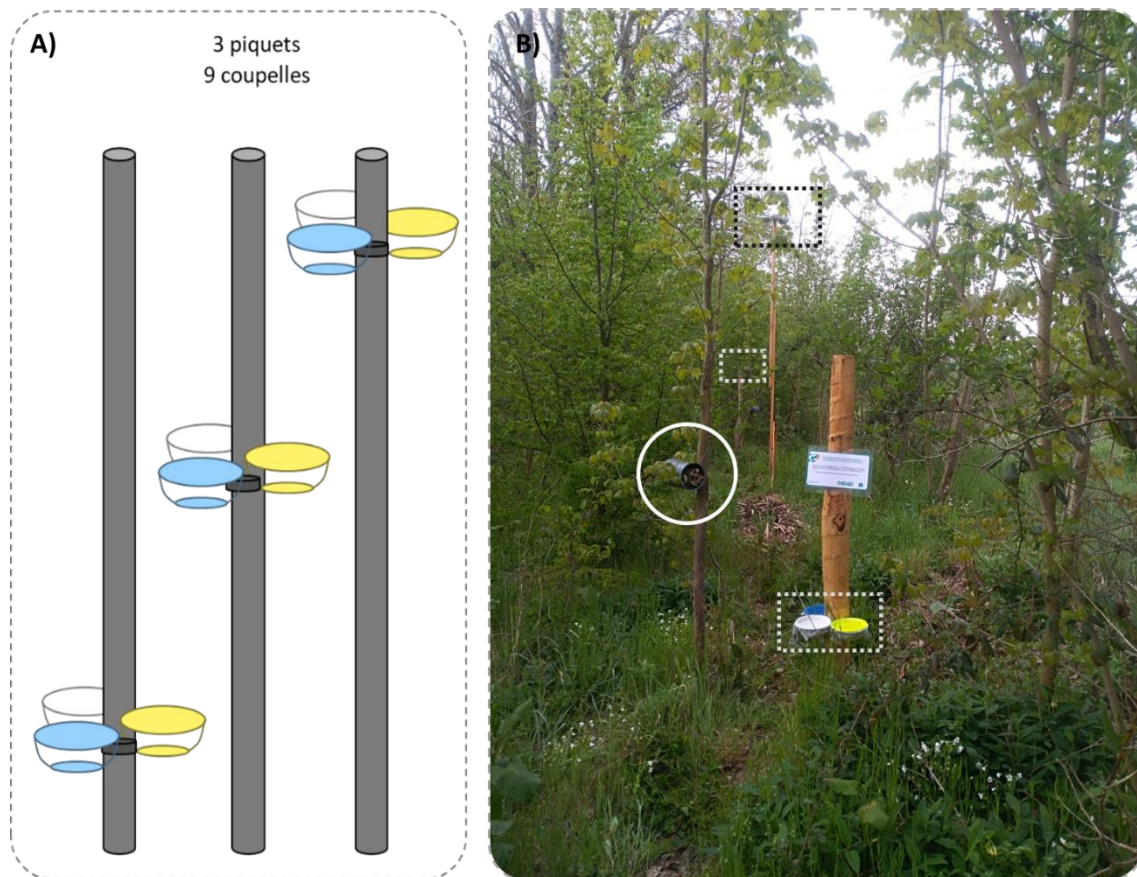


Figure 3.2 : A) Schéma d'installation des coupelles pour chaque placette et B) photographie de leur mise en place *in situ* sur une des placettes © Fanny DOMMANGET, INRAE. Les encadrés pointillés entourent les jeux de trois coupelles, le cercle blanc un des deux nichoirs à insecte posés dans chaque placette.

Les piquets étaient positionnés à 5, 10 et 15m le long du transect de chaque placette. Seule la hauteur des coupelles variait à chaque session de capture.

Chaque mois entre avril et septembre, les coupelles étaient mises en place en fin de journée ou tôt le matin, remplies d'eau avec une goutte de produit vaisselle citronné afin de réduire la tension de surface et faciliter la capture. Les coupelles étaient récupérées 72h plus tard, les insectes piégés étaient filtrés puis transférés dans un pilulier rempli d'éthanol 70° pour conservation avant identification. L'identification a été réalisée par David GENOUD, spécialiste en entomologie.

3.2.7 Nichoirs à insectes et suivi des émergences

Afin de compléter l'échantillonnage des coupelles colorées, des nichoirs à insectes ont été mis en place en avril 2021. Ces deux méthodes ont été démontrées comme étant complémentaires pour la capture d'abeilles (Westphal et al. 2008). Sur chacune des 21 placettes, deux nichoirs à insectes ont été placés face au sud – sud-est, à 1.50 m de hauteur environ. Chaque nichoir est constitué d'un tube PVC de 10cm de diamètre et 20 cm de long dans lequel des sections de bambous (*Phyllostachys* sp.), de carton (<https://www.wildcare.eu>) et de roseaux (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) de différents diamètres (4 à 12mm) ont été disposées.

Chaque mois, une photographie a été prise afin de pouvoir quantifier le taux d'occupation, à savoir le nombre de tubes bouchés ou ayant été bouchés par rapport à l'ensemble des tubes.

Les nichoirs ont été récupérés en septembre 2021. En octobre, un des deux nichoirs de chaque placette a été disséqué et les loges occupées par des nids ont été comptées. Les loges ont été triées selon leurs ressemblances et classées par « types », numérotés de 1 à 6 afin d'appréhender, même à un grain grossier, la diversité des insectes nicheurs. Le second nichoir a été conservé en chambre froide à 4°C et sorti en mars 2022. Les insectes émergents ont été capturés et épinglés toutes les semaines jusqu'à mi-mai.

La construction des nichoirs, leur suivi et l'identification des organismes capturés ont été pilotés par Sébastien Ibanez du Laboratoire d'Ecologie Alpine de l'Université Savoie-Mont-Blanc.

3.2.8 Analyses statistiques

Les analyses sont conduites avec le logiciel de programmation statistique libre R (R Core Team, version 4.1.0).

Pour les éléments majeurs, mineurs et les enzymes du sol, des analyses en composantes principales (ACP) ont été conduites à l'aide du package `ade4` et les impressions graphiques à l'aide du package `factoextra`. Compte-tenu de la structure emboîtée des données (placettes emboîtées dans les sites), des tests de Friedman par paire ont été réalisés afin de déterminer si les types de milieu expliquaient les différences observées.

Les données stationnelles (pourcentages de litière, recouvrement végétal total, sol nu et bryophytes) et de richesse spécifique ont été analysées avec des tests appariés de Friedman suivis de tests post-hoc non paramétriques de Wilcoxon.

Pour les données de flore et les pollinisateurs capturés par coupelles, des analyses de positionnement multidimensionnel non métrique (non-metric multidimensional scaling – NMDS) ont été conduites à l'aide du package `vegan`. Ces analyses adaptées aux données avec de nombreux zéros comme c'est le cas pour les relevés de végétation et les abondances des insectes volants capturés permettent de visualiser la variabilité des données sur un plan en deux dimensions. La significativité des différences entre groupes a été testée par des tests de permutation de type ADONIS avec le package `vegan`. L'identification des espèces associées à chaque milieu a été réalisée avec le package `indicspecies` mobilisant l'indice `IndVal` proposé par Dufrêne et Legendre (1997).

L'analyse de l'occupation des nichoirs à insectes s'est appuyée sur des modèles mixtes généralisés afin de prendre en compte la spécificité de la distribution des données (binomiale pour l'occupation des tubes et de Poisson pour le nombre de loges occupées) et leur structure spatiale emboîtée. L'effet du type de milieu (« envahi », « restauré », « de référence ») est considéré comme fixe, les effets du bassin versant et du site sont considérés comme aléatoires et emboîtés. L'analyse de l'occupation des tubes a été réalisée indépendamment pour chaque mois. Les différences observées sont considérées comme significatives au seuil de $p = 0.05$. Les modèles mixtes généralisés ont été réalisés grâce au package `lme4` et les tests post-hoc grâce au package `multcomp`.

3.3 Résultats

3.3.1 Panorama des méthodes de génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques

Les résultats complets de cette étude basée sur l'analyse d'entretiens réalisés auprès de gestionnaires sur le BV amont du Rhône sont disponibles dans le rapport en annexe 3.1. Un article technique en synthétisant l'essentiel a été diffusé en 2019 sur la plateforme web du Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes⁴.

3.3.1.1 Description par grandes familles

On distingue deux familles de techniques (Figure 3.3) : les techniques de mise en concurrence végétale (plantations, bouturage et couches de branches à rejets, ensemencement) et les techniques de préparation du sol (géotextile, fauchage, paillages, arrachage, tri des rhizomes, exportation des rhizomes, décaissage). Le bouturage, si l'on inclut les couches de branches à rejet, est la technique la plus utilisée, probablement en lien avec sa facilité de mise en œuvre et son faible coût. Trois techniques très peu employées (le tri des rhizomes, l'exportation des rhizomes et le décaissage), qui concernent un travail du sol plus profond, sont généralement utilisées ensemble. Elles ont en commun de nécessiter des moyens techniques, financiers et logistiques plus importants que les autres techniques employées dans les ouvrages recensés.

Les entretiens ont mis en évidence l'importance des coûts dans les processus de décision. Les coûts plus faibles des recours à des végétaux vivants ont pu renforcer leur attrait aux yeux des gestionnaires. Certaines techniques, les couches de branches à rejets notamment, semblent moins répandues que d'autres. Leur emploi moindre peut être lié au fait que certains acteurs ne les connaissent pas (le cas dans quelques enquêtes) ou que cette technique requiert plus de matériel végétal.

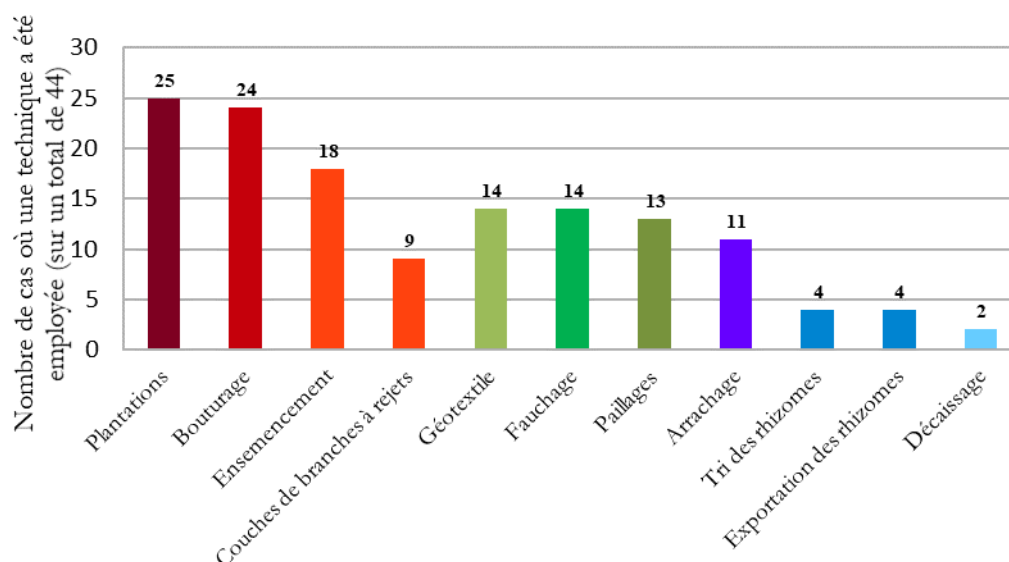


Figure 3.3 : Nombre d'occurrences de l'utilisation des différentes techniques employées dans les ouvrages de génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques recensés.

⁴ <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/portrait-esquisse-du-genie-vegetal-en-tant-quoutil-de-gestion-des-renouees-asiatiques/>

3.3.1.2 Association et couplage de techniques

Plusieurs techniques peuvent être associées. Ainsi, 75% des ouvrages mobilisent deux à quatre techniques. La majorité des ouvrages s'appuient donc sur la combinaison de plusieurs techniques, en moyenne trois.

Les techniques de mise en concurrence (plantations, bouturage et couches de branches à rejet et ensemencement) sont le plus souvent combinées entre elles et l'association la plus fréquente se compose du bouturage au sens large (boutures ou couches de branches à rejets) et de plantations. Ces techniques sont dans la majorité des cas accompagnées de mesures de préparation des sols ; c'est particulièrement le cas pour le bouturage, incluant les couches de branches à rejet (26/33).

Les mesures de préparation des sols les plus employées sont le géotextile et les paillages. Le protocole de préparation des sols privilégié implique les indispensables actions préalables de fauche ou d'arrachage, suivies de la pose d'un géotextile biodégradable ou de la mise en place de paillages.

3.3.1.3 L'importance de l'entretien

La très grande majorité des ouvrages a fait l'objet d'un entretien post-mise en place. Toutes les techniques mises en œuvre dans le cadre de l'entretien sont des méthodes mécaniques, de fauche, d'arrachage ou de coupes sélectives, à raison dans la plupart des cas d'un ou deux passages par an, sur une durée de 2 à 5 ans. Certains ouvrages ont fait l'objet d'un entretien de 5 à 10 ans.

3.3.1.4 Efficacité perçue et satisfaction

L'efficacité du génie végétal a été évaluée subjectivement au travers des réponses données à la question « Quel est votre ressenti sur cette méthode de gestion ? » (Figure 3.4). Pour 14 ouvrages sur 44, le génie végétal a réussi à contenir les renouées asiatiques et pour 17 autres ouvrages, l'efficacité a été considérée comme mitigée, soit parce que l'efficacité n'a pas été immédiate, soit parce que les renouées asiatiques sont encore très présentes. Enfin dans 12 cas, l'efficacité a été jugée comme mauvaise. L'efficacité perçue est la plus forte lorsqu'au moins deux techniques sont combinées et que l'itinéraire technique reste simple. Ainsi les méthodes impliquant des interventions lourdes sur les sites (décaissage...) suscitent des attentes fortes et par conséquent des déceptions plus importantes. D'après les perceptions de l'efficacité du génie végétal, les meilleures méthodes seraient celles mobilisant deux ou plus techniques de mise en concurrence végétale après une étape de fauche ou d'arrachage, sans forcément utiliser de méthodes de couverture du sol (bâchage, paillage...). Enfin, l'entretien sur plusieurs années paraît indispensable pour augmenter les chances de succès de l'ouvrage. Les motifs d'insatisfaction le plus souvent avancés sont le fait que l'utilisation du génie végétal nécessite des équipes nombreuses, pour des résultats qui ne sont pas immédiats. A l'inverse, les facteurs de satisfaction les plus souvent cités sont leur efficacité vis-à-vis du contrôle des renouées asiatiques et leur intégration dans le milieu environnant.

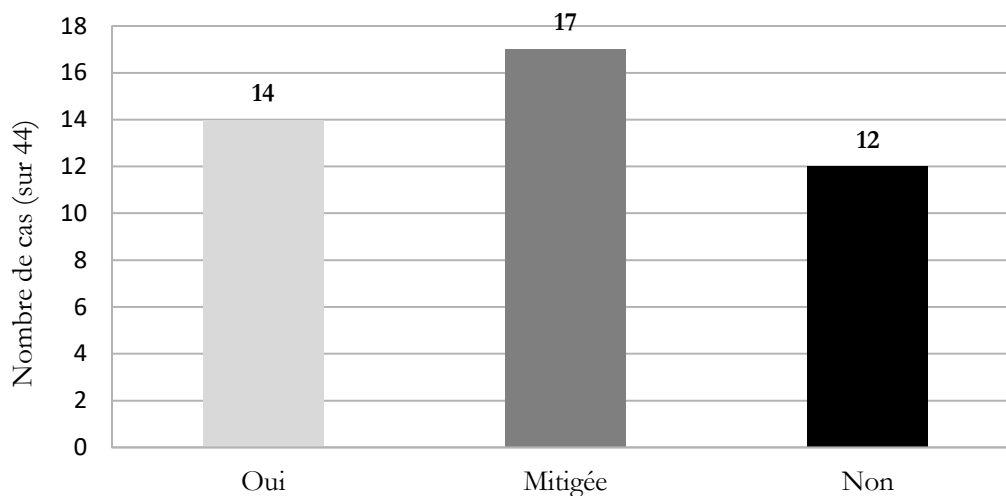


Figure 3.4 : Efficacité des ouvrages pour le contrôle des renouées asiatiques recensés, telle qu'évaluée par les gestionnaires enquêtés.

3.3.2 Etude *in situ* comparative des milieux envahis, milieux rivulaires de référence et milieux envahis puis gérés par des méthodes de génie écologique

Les résultats présentés dans cette section sont issus de l'analyse des données de capture, de prélèvement et d'observation récoltées en 2021 sur sept triptyques (milieu envahi par les renouées asiatiques, milieu envahi puis restauré par des techniques de génie végétal et milieu rivulaire de référence) de placettes. Une placette correspond donc à un type de milieu (« envahi », « restauré » ou « de référence ») au sein d'un des sept sites de l'étude.

3.3.2.1 Sol

3.3.2.1.1 Eléments majeurs du sol

Les éléments majeurs du sol montrent une grande variabilité. Contrairement aux hypothèses, les milieux envahis ne convergent pas les uns vers les autres (Figure 3.5). Ce sont plutôt les milieux post-envahissement (« Restaurés ») qui sont les plus homogènes entre eux concernant les éléments majeurs. Leur position à droite sur la projection de l'ACP (Figure 3.5 - B) montre que ce sont des milieux plus pauvres en nutriments, à l'inverse des milieux envahis par les renouées asiatiques qui se retrouvent les plus à gauche sur le graphique, ce qui suggère un enrichissement en éléments majeurs suite à l'invasion. Les deux bassins versants se distinguent nettement, avec le bassin versant de la Brévenne plus riche en phosphate et le bassin versant de la Bourbre plus riche en azote et carbone.

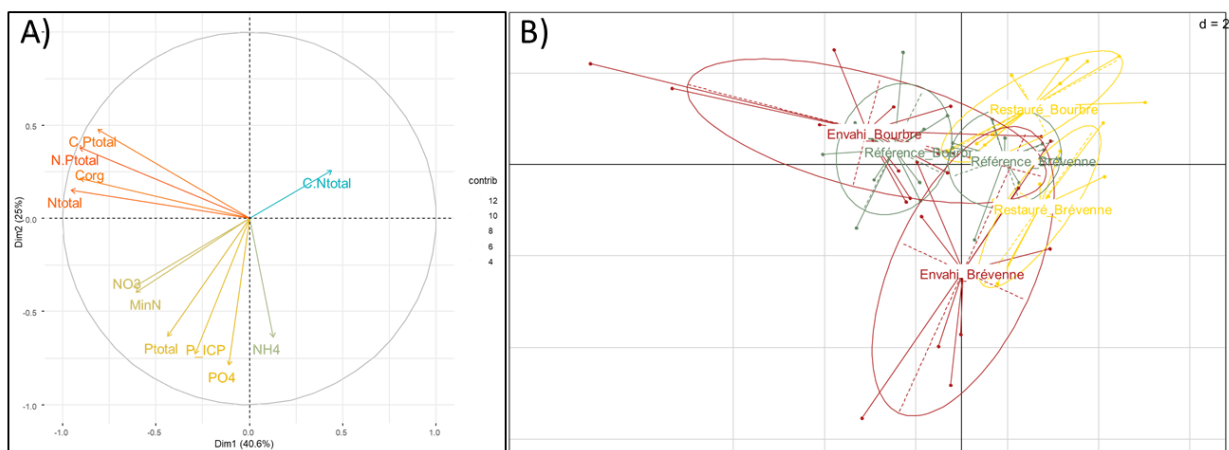


Figure 3.5 : Projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les éléments majeurs pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abrégés, se référer dans le texte.

Les tests appariés de Friedman (Tableau 3.2) ne montrent aucune différence significative entre les différents types de milieux pour l'ammonium (NH₄), le nitrate (NO₃) ou l'azote minéral (MinN). En revanche, les milieux « restaurés » sont significativement plus pauvres en azote total (Ntot) et en carbone organique (Corg) que les milieux « envahis ». Ils sont également plus pauvres en Ntot et Corg que les milieux « de référence » mais dans une moindre mesure. Les différences observées pour le phosphore total (Ptot) rendent compte d'une plus grande richesse sous les sites « envahis » comparativement aux autres milieux, mais ces différences ne sont pas significatives au seuil de 0.05.

Variables	Test Friedman par paire	p-value	Interprétation
NH ₄	ns	0.3679	
NO ₃	ns	0.1561	
MinN	ns	0.1561	
Ntot	**	0.02113	Rest < Inv et Rest < Ref
Corg	***	0.002149	Rest < Inv et Rest < Ref
Ptot	**	0.02113	Inv > Rest et Inv > Ref

Tableau 3.2 : Résultats des tests appariés de Friedman sur les éléments majeurs du sol et testant les différences entre types de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Les différences indiquées en gras sont significatives au seuil de 0.05 après tests post-hoc (correction de Bonferroni appliquée).

Les concentrations en éléments mineurs tels que le zinc (Zn), le calcium (Ca), le soufre (S), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le potassium (K) et le manganèse (Mn) ont été mesurées. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les trois types de milieux. En revanche, les deux bassins versants sont nettement séparés sur le plan de l'ACP (Figure 3.6). Le bassin versant de la Brévenne

semble assez homogène (regroupement des ellipses en haut à droite du graphique, figure 3.6 - B) et sa position montre une plus riche concentration en fer que le bassin versant de la Bourbre.

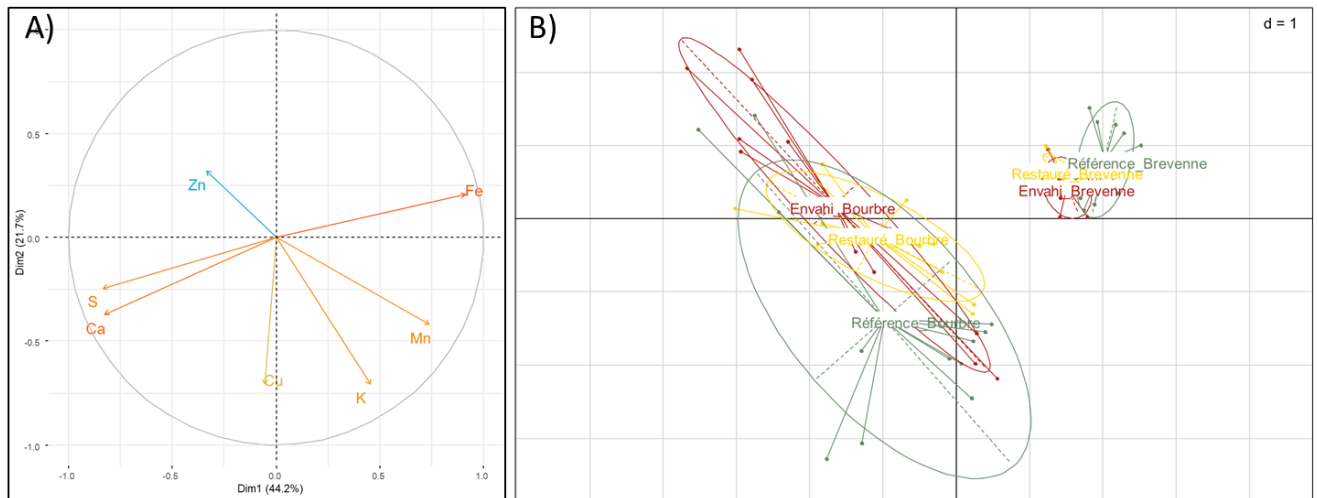


Figure 3.6 : Projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les éléments mineurs pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abréviations, se référer dans le texte.

Concernant les enzymes microbiennes impliquées dans le cycle du carbone, de l'azote et du phosphore, les différences entre bassins versants semblent structurer la variabilité du jeu de données (Figure 3.7). Les sites « restaurés » sont toutefois appauvris en enzymes impliquées dans le cycle du carbone (Cenz) comparativement aux sites « envahis » et en enzymes impliquées dans le cycle du phosphore (Penz) comparativement aux sites « de référence » (Tableau 3.3). Cependant, ces différences ne sont pas significatives au seuil de 0.05 après les tests post-hoc. Les sites « envahis » ne présentent pas de différences avec les sites « de référence ».

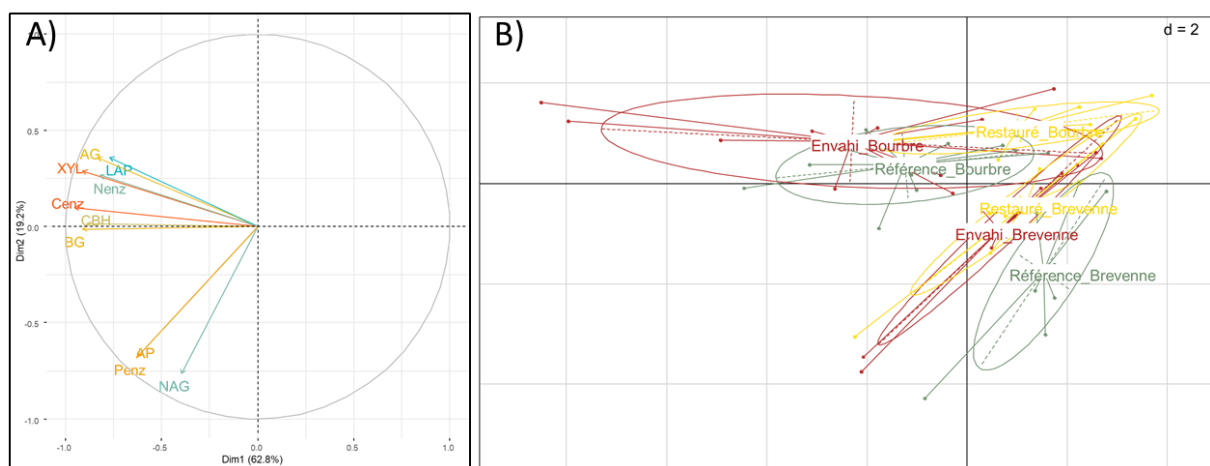


Figure 3.7 : Projection sur les deux premières dimensions de l'analyse en composantes principales (ACP) pour les enzymes pour A) les variables et B) des individus. Les ellipses représentent les groupes par bassin versant (Brévenne et Bourbre) et par type de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Pour les abréviations, se référer dans le texte.

Variables	Test Friedman par paire	p-value	Interprétation
<i>Cenz</i>	**	0.01832	Rest < Inv
<i>Nenz</i>	ns	0.3679	
<i>Penz</i>	**	0.01193	Rest < Ref

Tableau 3.3 : Résultats des tests appariés de Friedman sur l'activité enzymatique dans le sol relative à la dégradation du carbone, de l'azote et du phosphore (resp. Cenz, Nenz, Penz) et testant les différences entre types de milieu (Envahi, Restauré, Référence). Les différences indiquées en gras sont significatives au seuil de 0.05 après tests post-hoc (correction de Bonferroni appliquée).

3.3.2.2 Flore

Les données stationnelles prélevées sur les placettes montrent que les renouées asiatiques augmentent significativement la quantité de litière et le recouvrement végétal total comparativement aux placettes « restaurées » et dans une moindre mesure aux placettes de « référence » (Figure 3.8 - A et B). Les placettes envahies hébergent également significativement moins de bryophytes que les autres types de milieu (Figure 3.8 - D). En revanche, le pourcentage de sol nu n'est pas affecté par les renouées asiatiques (Figure 3.8 - C). Les zones « restaurées » ne se distinguent des zones de « référence » sur aucun des paramètres testés.

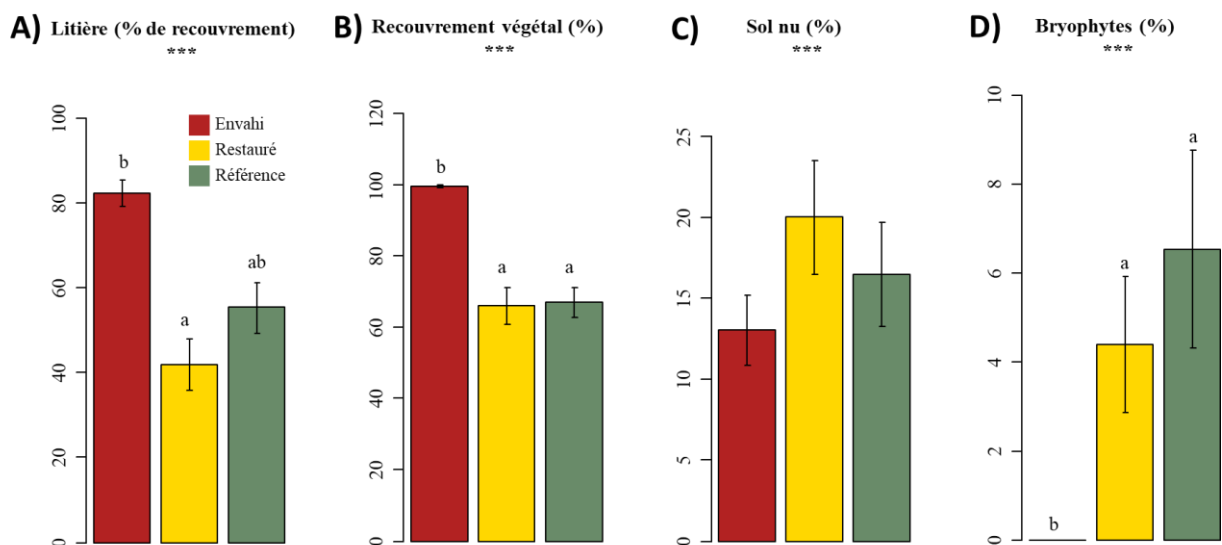


Figure 3.8 : Barplot comparant les milieux « envahis », les milieux « restaurés » et les milieux rivulaires « de référence » sur la base de A) leur litière, B) le recouvrement végétal total, C) le pourcentage de sol nu et D) le pourcentage de bryophytes. Des lettres différentes indiquent une différence significative au seuil de 0.05.

La richesse spécifique (nombre d'espèces recensées sur les placettes) varie significativement selon le type de milieu (Figure 3.9). Les placettes restaurées ont significativement plus d'espèces végétales que les autres milieux. Le nombre d'espèces végétales recensées sur les sites envahis est trois fois moins élevé que dans les placettes restaurées. Les placettes de référence ont des richesses spécifiques intermédiaires, significativement plus faibles que les zones restaurées. Les patrons sont identiques entre les deux bassins versants.

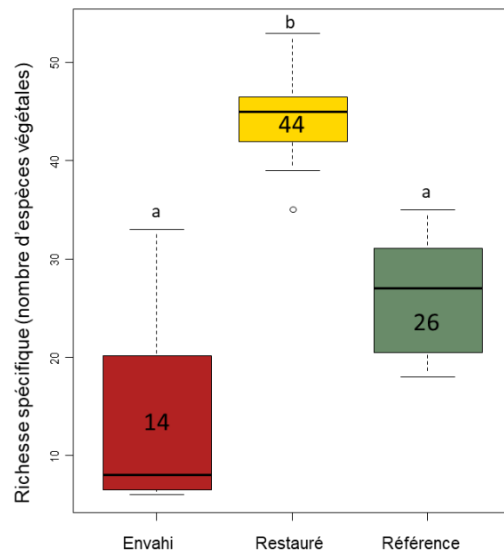


Figure 3.9 : richesse spécifique (nombre d'espèces végétales recensées) en fonction du type de milieu (envahi, restauré, de référence). Les chiffres indiquent la richesse spécifique moyenne. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les types de milieu au seuil de 0.05.

Les analyses multidimensionnelles réalisées sur les données d'abondance des espèces végétales révèlent des différences marquées en termes de composition d'espèces végétales. Ces différences apparaissent nettement sur la représentation graphique selon le type de milieux (Figure 3.10 - A) et beaucoup moins selon les sites (Figure 3.10 - B). Il semblerait donc que les différences en termes de composition végétale soient liées au type de milieu. Les placettes « envahies » se distinguent ainsi nettement des placettes de « référence » et des placettes « restaurées ». Il est également à noter que les placettes « restaurées » se détachent des placettes de « référence », soulignant ainsi qu'elles ne sont pas composées des mêmes espèces ou dans les mêmes abondances que les milieux rivulaires choisis comme milieux de référence dans cette étude. Par ailleurs, les placettes « restaurées » sont proches les unes des autres et leurs différences ne dépendent pas du bassin versant (Figure 3.10 - C), ce qui peut témoigner d'une certaine homogénéité dans le choix des espèces utilisées par les gestionnaires.

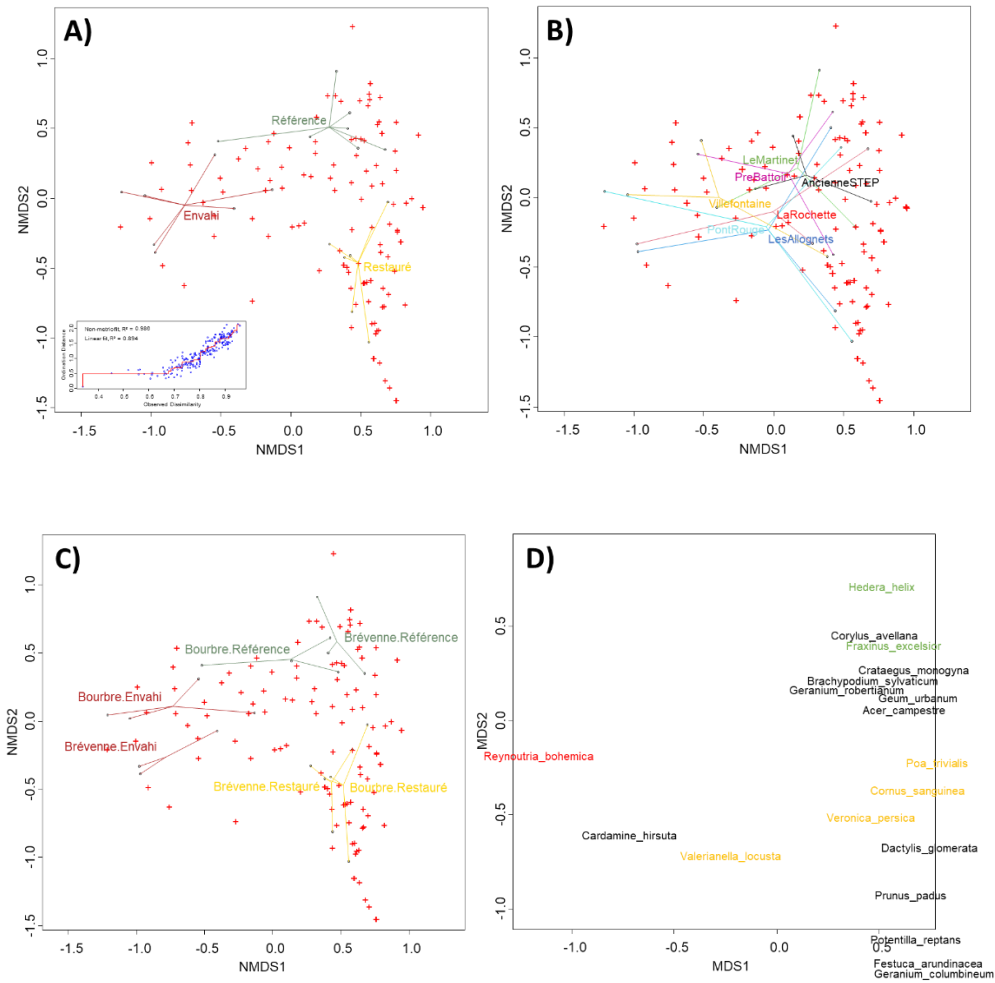


Figure 3.10 : Résultats graphiques de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les données d'abondance des espèces végétales (herbacées et ligneuses). Représentation graphique des espèces (croix rouges) et des placettes (points noirs) sur le plan des deux premières dimensions de la NMDS. Les centroïdes sont représentés selon les trois types de milieu (A), selon les sept sites différents (B) et selon les types de milieux au sein de chaque bassin versant (C). Les espèces les mieux représentées sur le plan sont reportées (D) et leur colorisation rend compte de leur association avec un des types de milieux (rouge – envahi ; jaune – restauré ; vert – référence).

Les espèces figurant dans la figure 3.10 - D sont celles qui ont une bonne représentation sur le graphique et qui expriment le mieux la variabilité entre les placettes. On retrouve parmi ces espèces celles qui sont spécifiquement trouvées dans les milieux envahis (*Reynoutria x bohemica*), dans les milieux restaurés (p.ex. *Veronica persica* ou *Valerianella locusta*) et dans les milieux rivulaires de référence (*Hedera helix* et *Fraxinus excelsior*) (cf. Tableau 3.4).

Placettes envahies	stat	p.value
<i>Reynoutria x bohemica</i>	0.977	1e-04 ***
Placettes restaurées	stat	p.value
<i>Veronica persica</i>	0.699	0.0042 **
<i>Cornus sanguinea</i>	0.589	0.0015 **
<i>Valerianella locusta</i>	0.466	0.0052 **
<i>Chelidonium majus</i>	0.38	0.0168 *
<i>Poa trivialis</i>	0.364	0.0107 *
Placettes de référence	stat	p.value
<i>Hedera helix</i>	0.754	0.0011 **
<i>Fraxinus excelsior</i>	0.615	0.0118 *

Tableau 3.4 : Identification des espèces associées aux milieux « envahis », « restaurés » et « de référence ». Les statistiques indiquées rendent compte de la force d'association entre les espèces végétales et les milieux. Seules les espèces ayant une association significative (p-value <0.05) sont indiquées.

Lorsque l'on s'intéresse plus spécifiquement aux floraisons, la variation temporelle du nombre d'espèces en fleur montre que les milieux envahis ne sont pas plus riches que les milieux rivulaires de référence (excepté en Septembre) alors que les milieux restaurés sont significativement plus riches aux mois de Mai et Juin et légèrement plus riches en Avril et Juillet (Figure 3.11). En Septembre, les milieux envahis ont plus d'espèces en fleur que les autres milieux. Ce résultat est à mettre en perspective avec le constat que très peu d'espèces recensées fleurissent à cette période (moins de 3). Dans les placettes envahies, ce sont très majoritairement les renouées asiatiques qui sont recensées, sauf dans la placette envahie du site de PreBattoir, plus forestier, où fleurissent également *Convolvulus sepium* L. et *Rubus fruticosus* L.

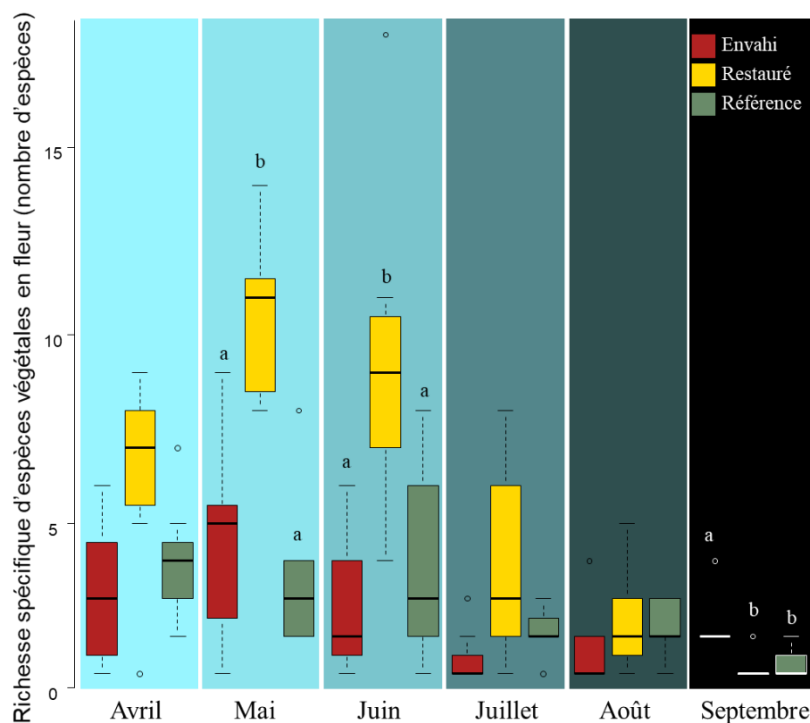


Figure 3.11 : Variation temporelle de la richesse spécifique en espèces végétales en fleur sur les placettes envahies, restaurées et de référence. Les lettres indiquent des différences significatives, après un test post-hoc de Wilcoxon faisant suite au test apparié de Friedman (seuil de 0.05).

Les milieux se démarquent également en termes de composition d'espèces en fleur (Figure 3.12). Les milieux « restaurés » se détachent des autres types de milieu quel que soit le bassin versant. Leur répartition spatiale sur le plan de la NMDS rend compte de la diversité florale. A l'inverse, les milieux « envahis » et « de référence » sont confinés à la partie droite du graphique et leur empreinte spatiale plus réduite témoigne d'une plus faible diversité d'espèces fleurissant. Les bassins versants de la Brévenne et de la Bourbre se démarquent assez peu, sauf pour leurs milieux de « référence ».

L'étude de la composition des espèces en fleur au cours des mois (polygones bleus sur la Figure 3.12) montre des compositions qui diffèrent entre le groupe « printemps » rassemblant Avril et Mai et le groupe « Été » qui rassemble Juin et Juillet. Août et Septembre sont représentés par des polygones plus réduits et confinés à la partie droite du graphique. Moins d'espèces fleurissent sur ces deux derniers mois ce qui peut expliquer ce patron. Pour les mois d'Avril et Mai, les polygones superposent principalement les placettes « restaurées » et « envahies ». Les placettes « restaurées » se caractérisent par des espèces végétales aux floraisons précoces comme des *Rosaceae* (*Prunus* sp., *Malus* sp. ...). Concernant les placettes « envahies », on retrouve des espèces précoces telles que *Ficaria verna* ou *Veronica hederifolia* fleurissant avant la croissance végétative des renouées asiatiques.

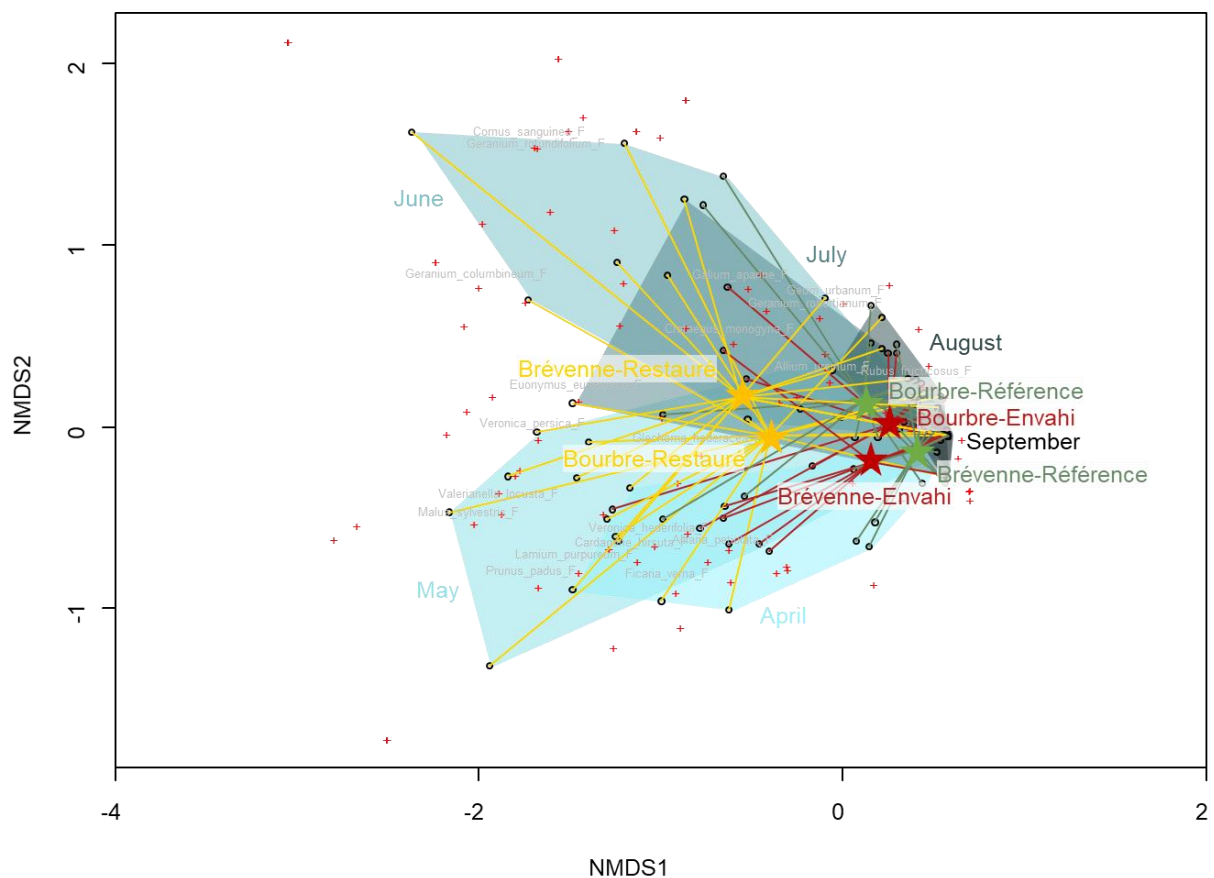


Figure 3.12 : Résultats graphiques de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les données d'abondance des espèces végétales en fleur (herbacées et ligneuses). Représentation graphique des espèces en fleur (croix rouges) et des placettes (points noirs) sur le plan des deux premières dimensions de la NMDS. Les centroïdes sont représentés selon les types de milieux au sein de chaque bassin versant. Les espèces les mieux représentées sur le plan sont reportées en gris. Les polygones en dégradé de bleus représentent la répartition des placettes et espèces selon les mois de l'année.

3.3.2.3 Insectes volants

Cent trente-et-un taxons différents, dont 56 *Apidae*, ont été capturés sur l'ensemble de la campagne de capture. Les guêpes solitaires *Trypoxylon* sp. et les mouches scorpions *Panorpa* sp. sont les taxons les plus abondants (nombre d'individus sur l'ensemble de la saison de capture) et les plus fréquemment capturés (nombre de fois où le taxon a été capturé). L'abeille domestique *Apis mellifera* est le troisième taxon le plus fréquemment retrouvé (capturés sur 21 des 106 relevés et sur 12 des 21 placettes) et le cinquième en termes d'abondance. La petite abeille des sables *Andrena minutula* est également fréquente (11 des 21 placettes) et abondante. Deux taxons rares d'abeilles solitaires ont été détectés : *Lasioglossum bluethgeni* dans deux placettes envahies et une restaurée et *Lasioglossum monstificum* dans deux placettes restaurées du bassin versant de la Brévenne.

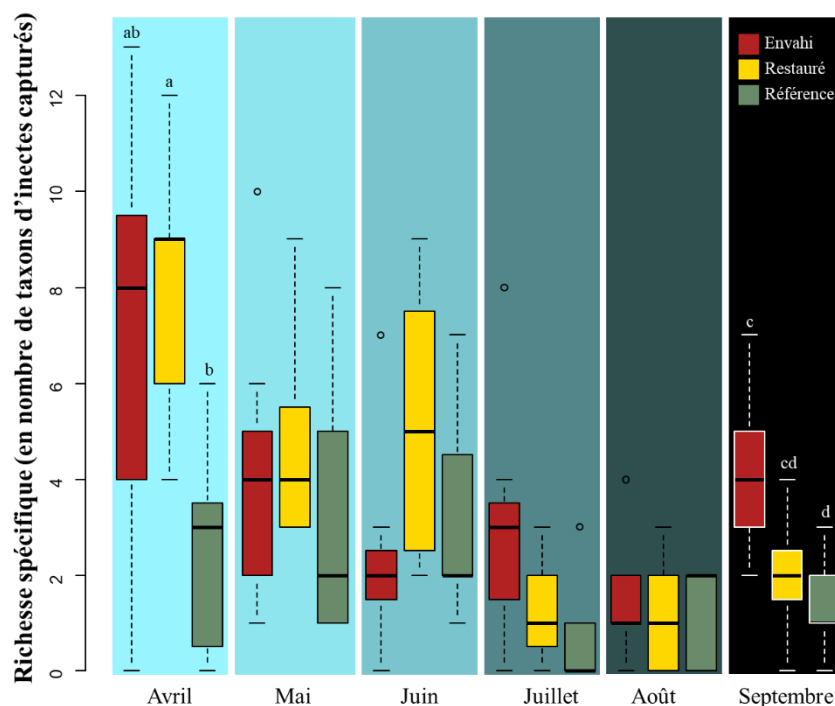


Figure 3.13 : Variation temporelle de la richesse spécifique en insectes volants sur les placettes envahies, restaurées et de référence. Les lettres indiquent des différences significatives, après un test post-hoc de Wilcoxon faisant suite au test apparié de Friedman (seuil de 0.05).

Significativement plus de taxons ont été capturés sur les placettes envahies comparativement aux placettes de référence (deux à trois fois plus), en particulier aux mois d'Avril et de Septembre (Figure 3.13). La richesse spécifique des placettes restaurées est aussi plus élevée que sur les placettes de référence en début de saison mais les différences s'estompent au fil des mois. Le nombre de taxons capturés sur les placettes restaurées est équivalent au nombre de taxons capturés sur les placettes envahies. De manière générale, la richesse spécifique est la plus importante au mois d'Avril et diminue régulièrement jusqu'au mois d'Août avant de remonter, sur les placettes « envahies », au mois de Septembre.

Lorsque l'on s'intéresse à la composition des communautés d'insectes capturés (abondance et identité des différents taxons), il apparaît qu'elle semble répondre plus à l'influence de la saison (Figure 3.14 - B) qu'au type de milieu (Figure 3.14 - A). En effet, la composition d'insectes aux mois d'Avril, Mai et Juin se distinguent nettement des autres. On note toutefois un glissement vers la gauche du graphique pour les placettes « envahies » comparativement aux placettes de « référence » (Figure 3.14 - A). Des tests de permutation multivariés distinguent légèrement les placettes « envahies » des placettes « restaurées » et de « référence » sur le bassin versant de la Bourbre (ADONIS, $p_{ajustée} = 0.096$ et $p_{ajustée} = 0.189$ respectivement), et sur le bassin versant de la Brévenne, les placettes « envahies » des placettes de « référence » (ADONIS, $p_{ajustée} = 0.208$). La dispersion des échantillons selon les sites (Figure 3.14 - C) ne montre aucune différence entre eux.

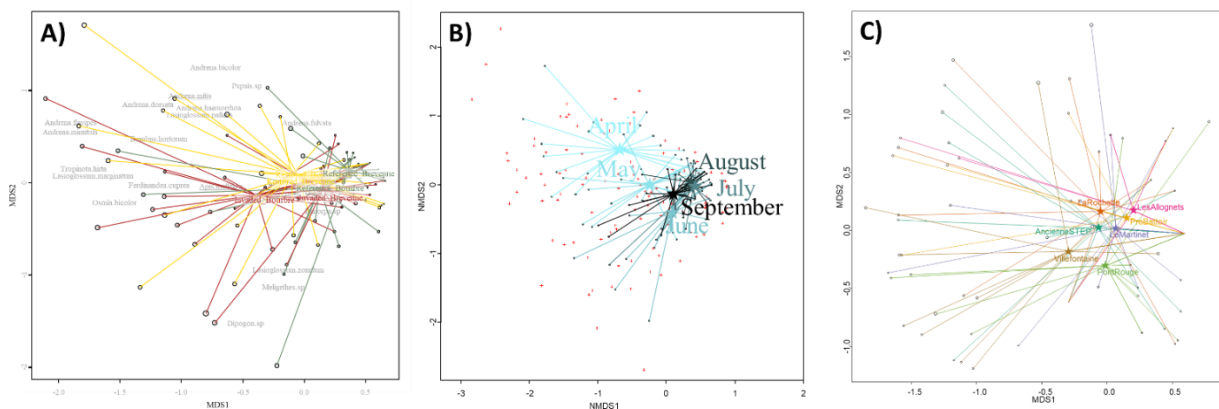


Figure 3.14 : Représentation graphique des résultats de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les insectes volants capturés dans les coupelles colorées en fonction A) du type de milieu au sein de chaque bassin versant, B) des mois de l'année et C) des 7 sites différents.

En extrayant la composition des échantillons en fonction des mois, des différences entre types de milieux apparaissent pour les mois d'Avril et Septembre (Figure 3.15). Sur le mois d'Avril, les placettes de « référence » sont décalées vers la droite du graphique comparativement aux placettes « restaurées » et « envahies », qui se distinguent les unes des autres sur le deuxième axe (vertical) de la NMDS. Pour Septembre, les placettes « restaurées » et de « référence » sont confinées sur la droite du graphique tandis que les placettes « envahies », à gauche, paraissent plus diversifiées. Ces observations graphiques confirment l'analyse de la variation temporelle de la richesse spécifique ci-dessus : les placettes « envahies » se distinguent des placettes « restaurées » et de « référence » au mois de Septembre, à la fois en termes d'assemblage de taxons d'insectes capturés et en termes de richesse en espèces.

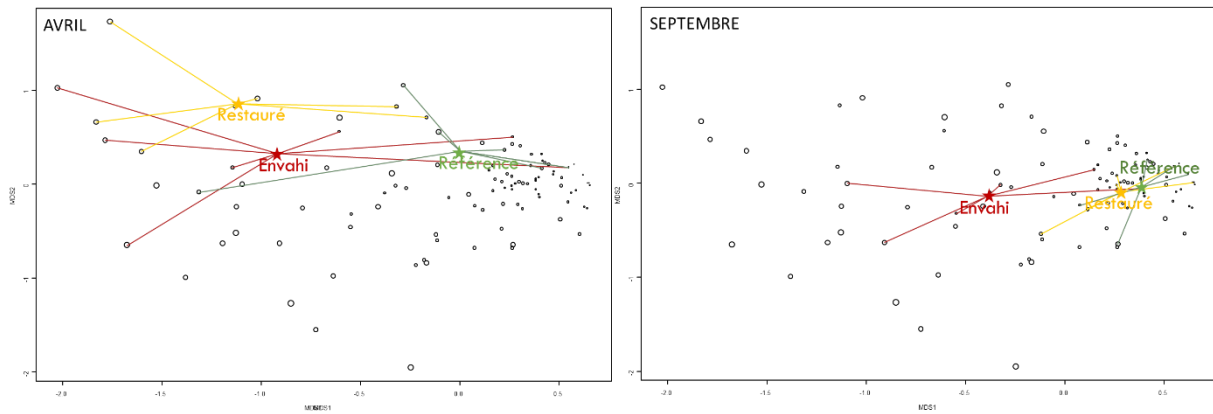


Figure 3.15 : Représentation graphique des résultats de l'analyse multidimensionnelle non métrique (NMDS) sur les insectes volants capturés dans les coupelles colorées en fonction du type de milieu pour les mois d'Avril et de Septembre.

3.3.2.4 Insectes nicheurs

Les nichoirs à insectes ont été suivis chaque mois. Leur taux d'occupation augmente logiquement au cours du temps (Figure 3.16) mais avec des vitesses différentes selon les types de milieux. Le taux d'occupation est supérieur dans les placettes « de référence » par rapport aux placettes « envahies » au mois de Mai mais cette différence s'estompe rapidement. En effet, l'occupation des nichoirs augmente continuellement et plus rapidement dans les placettes « envahies » tout au long de la saison de capture pour dépasser significativement l'occupation des nichoirs des placettes « restaurées » à partir du mois de Juillet et des placettes « de référence » à partir du mois d'Août qui se ralentit et se stabilise à partir du mois de Juillet. Il n'y a pas d'écart notable entre l'occupation des nichoirs des placettes « restaurées » et « de référence ».

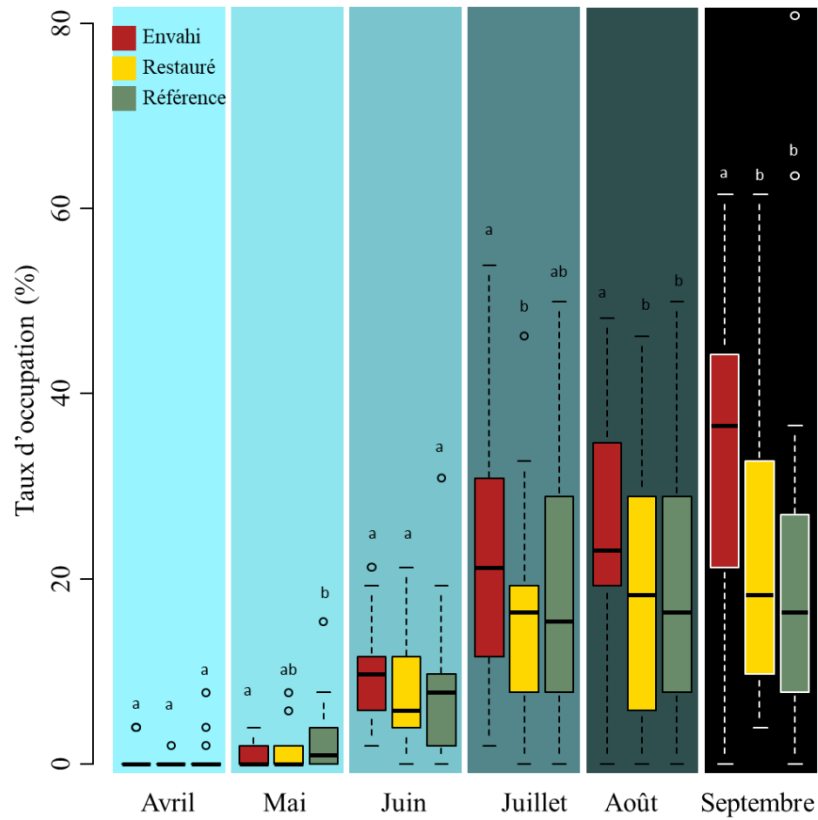


Figure 3.16 : Evolution temporelle du taux de remplissage des nichoirs à insectes installés sur les placettes « envahies » par les renouées asiatiques, « restaurées » et de « référence ». Pour chaque mois indépendamment, deux lettres différentes indiquent des différences significatives au seuil de 0.05 (cf. chapitre 3.2.8).

Le nombre total de loges occupées à l'intérieur des tubes composant les nichoirs est plus important dans les placettes « envahies » comparativement aux autres placettes (Figure 3.17), et ce de manière significative (p -value < 0.001). Ce résultat se retrouve sur les deux bassins versants et sur cinq des sept sites étudiés (sauf Villefontaine et AncienneSTEP).

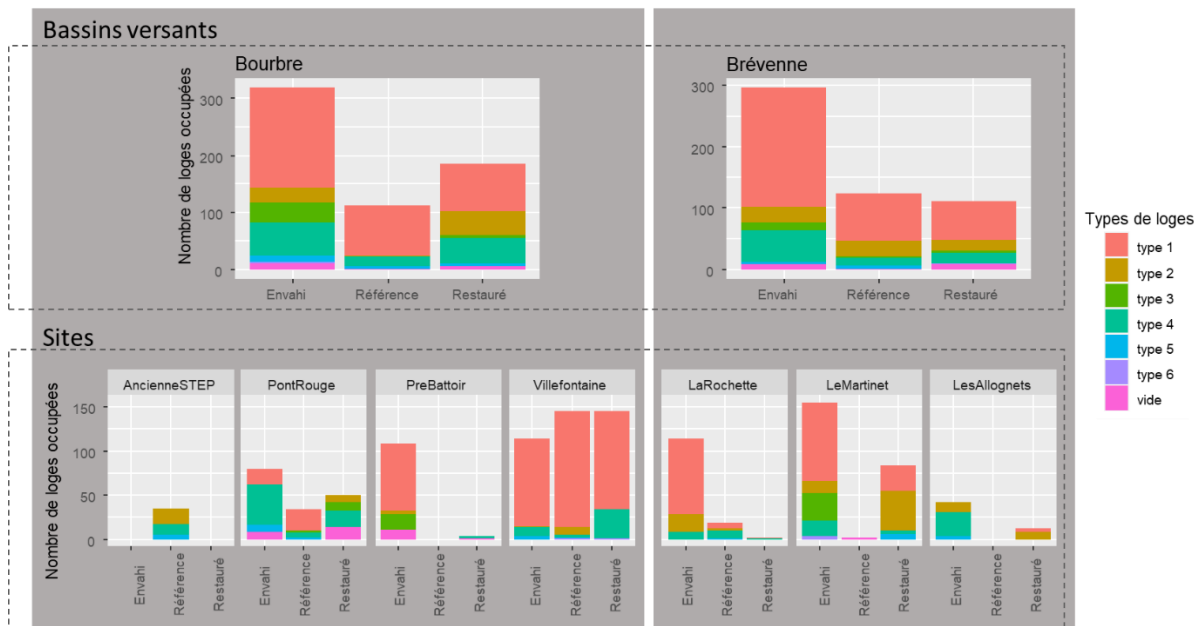


Figure 3.17 : Nombre de cellules occupées en fonction des placettes « envahies », de « référence » et « restaurées » sur chaque bassin versant et chaque site. Les types de loge en légende ont été distingués par leur aspect, notamment en fonction des matériaux de construction utilisés, de leur couleur, de la présence d'un cocon, de pollen ou de proie.

Le type de loge n°1 est le plus abondant, tous types de milieux confondus, et représente dans la majorité des placettes envahies plus de la moitié des loges étudiées (excepté pour les sites AncienneSTEP, PontRouge et les Allognets). A partir des individus suffisamment matures trouvés dans ces loges, on peut avancer qu'il s'agit de loges d'individus appartenant à la famille des *Sphecidae*, hyménoptères se nourrissant de nectar à l'âge adulte mais dont les larves sont carnassières (des proies ont été trouvées dans plus d'un tiers des loges de type n°1). Les loges de type 2 et 4 appartiendraient plutôt à des abeilles du genre *Osmia*, famille des *Megachilidae*.

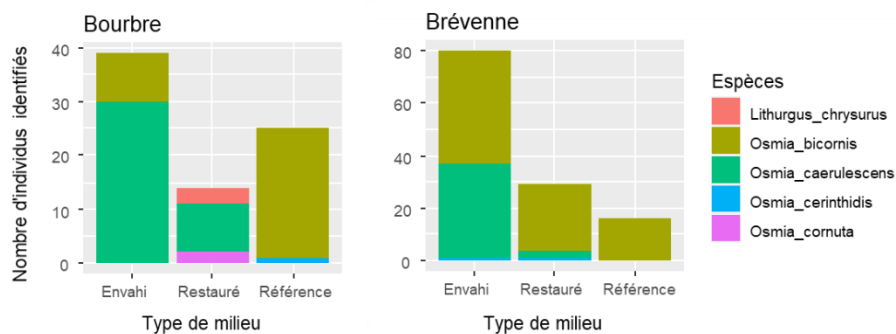


Figure 3.18 : Nombre d'individus identifiés après émergences appartenant au clade des Anthophila (abeilles) en fonction du type de milieu, pour les bassins versants de la Bourbre et de la Brévenne.

D'ailleurs, la très grande majorité des abeilles identifiées après émergences fait partie du genre *Osmia* (Figure 3.18). On retrouve dans les résultats pour l'émergence des individus *Anthophila* la même conclusion que celle pour les loges occupées : les placettes « envahies » ont la plus grande abondance d'individus, comparativement aux autres placettes, et ce quel que soit le bassin versant. On notera ici la plus forte diversité trouvée dans les placettes « restaurées » du bassin versant de la Bourbre, mais

qui dépend surtout du seul site de PontRouge, seul site où ont été identifiées *Osmia cornuta* et *Lithurgus chrysurus*.

3.4 Discussions

3.4.1 Sur le génie végétal et le contrôle des renouées asiatiques

Cette étude est, à notre connaissance, le premier effort de synthèse des pratiques de génie végétal utilisé spécifiquement pour la gestion des renouées asiatiques. Quarante-quatre ouvrages mis en œuvre par une quinzaine de gestionnaires ont été décrits et analysés, sur la partie amont du bassin versant du Rhône. Certains éléments sont récurrents parmi les ouvrages recensés. Les techniques de mise en concurrence sont privilégiées, et elles sont le plus souvent associées à des actions sur la couverture des sols (géotextile, paillages). La mise en place de la majorité des ouvrages de génie végétal comporte trois étapes : la préparation du site d'implantation, la réalisation, et l'entretien. Au-delà de ces points communs, des différences subsistent quant aux modalités de réalisation des ouvrages. Par exemple, si certains types d'actions sont effectivement souvent associées, les techniques employées pour les réaliser sont susceptibles de varier. La majorité des ouvrages de génie végétal sont entretenus pendant les cinq années qui suivent leur réalisation. Les modalités d'entretien sont homogènes (méthodes mécaniques simples de type fauche, répétées pendant la saison végétative).

Dans notre étude, le génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques se caractérise par des avis en demi-teinte sur son efficacité : il ne répond pas complètement aux objectifs et aux attentes des acteurs qui y recourent. En effet, les ouvrages mis en place semblent bien réguler les massifs de renouées asiatiques, mais les autres attentes des acteurs ne sont pas suffisamment satisfaites. Le temps de travail important qu'impliquent les opérations de génie végétal et le décalage temporel entre l'installation des ouvrages et l'apparition de leurs premiers effets positifs ont notamment été évoqués de manière récurrente sur le ton du regret. Ces conclusions sur l'efficacité doivent être interprétées avec précaution : elles rendent compte du ressenti des gestionnaires (attentes et résultats) plutôt que d'une évaluation objective des effets sur les populations de renouées asiatiques et sur le milieu.

3.4.2 Sur les impacts des renouées asiatiques

3.4.2.1 Sur le sol

Les résultats de notre étude sur les effets des renouées asiatiques portent sur les éléments majeurs et mineurs du sol ainsi que sur les enzymes liées au fonctionnement microbien impliqué dans les cycles du Carbone, de l'Azote et du Phosphore.

Ils mettent en évidence un enrichissement global des placettes envahies en éléments majeurs mais, pris un à un, les éléments majeurs ne présentent pas de différence significative entre les placettes envahies et les placettes de référence. Par ailleurs, aucune convergence en termes de concentration en éléments majeurs sous les renouées asiatiques n'a pu être mise en évidence. Ceci semble aller à l'encontre de l'hypothèse de construction de niche proposée par Dassonville et al. postulant que l'effet des renouées asiatiques pouvait homogénéiser les concentrations en enrichissant le sol particulièrement lorsque les conditions nutritives étaient appauvries (Dassonville et al. 2007, Dassonville et al. 2011). Les effets « bassins versants » sont en revanche manifestes, ce qui souligne la variabilité des sites étudiés. Ceci est cohérent avec la littérature scientifique qui décrit une forte

variabilité des effets des renouées asiatiques sur les composantes chimiques du sol différant selon les sites étudiés ou les périodes de l'année (Dassonville et al. 2007, Koutika et al. 2007, Dassonville et al. 2008, Tharayil et al. 2013, Stefanowicz et al. 2017). Une approche intégrant plus spécifiquement les conditions locales pourrait permettre d'aller plus loin sur cette analyse, notamment en vérifiant si les effets des renouées asiatiques varient à la fois dans leur direction (enrichissement ou appauvrissement) et dans leur magnitude en fonction de la richesse nutritive locale du sol.

Aucune différence n'a été détectée non plus entre le sol prélevé sous les renouées asiatiques et sous les milieux rivulaires boisés, choisis comme référence. Encore une fois, la différence entre les deux bassins versants est structurante et peut avoir masqué d'éventuels impacts des renouées asiatiques malgré la prise en compte de cet effet dans les tests statistiques.

Enfin, concernant les enzymes du sol, les résultats sont encore une fois très variables, en particulier entre les bassins versants. Ainsi, aucune différence n'a été mise en évidence entre les placettes envahies et les placettes de référence, ce qui est cohérent avec certaines études de la littérature scientifique (Stefanowicz et al. 2021) mais pas avec d'autres (Dassonville et al. 2011). En effet, dans leur étude, Stefanowicz et al. (2021) ont étudiés 25 paires de placettes. Les enzymes dosées, dont la β -glucosidase, n'ont pas présenté de différences entre celles envahies et leurs voisines non envahies situées dans des friches et des zones rivulaires, excepté l'activité des peroxydases, non testée ici, qui est impliquée notamment dans la dégradation de la lignine. Dassonville et al. (2011) de leur côté, avaient démontré que les renouées asiatiques réduisaient l'activité potentielle des enzymes impliquées dans le cycle de l'azote, mais surtout dans les milieux où cette activité était la plus élevée, mettant ainsi en évidence une variabilité de leurs effets selon les conditions locales. Notre étude témoigne aussi de l'importance des conditions locales sur la variabilité de l'effet des renouées asiatiques sur les enzymes impliquées dans les cycles biogéochimiques du sol. Comme pour les éléments majeurs, une étude plus approfondie des relations entre effet des renouées et conditions locales permettrait d'apporter des éclairages sur cette hypothèse.

3.4.2.2 Sur la flore

La comparaison des données stationnelles et de la richesse spécifique entre placettes envahies par les renouées asiatiques et placettes de référence ne laisse aucun doute sur les impacts des renouées sur la végétation. Les renouées asiatiques réduisent de près de la moitié le nombre moyen d'espèces végétales recensées comparativement aux placettes en milieu rivulaire voisin. Les espèces végétales réussissant à cohabiter avec les renouées asiatiques sont des herbacées précoces de milieu riche, se développant avant leur poussée végétative (comme *Ficaria verna* Huds. ou *Veronica hederifolia* L.), des espèces opportunistes (comme *Galium aparine* L.) ou arborées (comme *Acer platanoides* L. ou *Robinia pseudoacacia* L.). La composition floristique sur les placettes envahies est assez homogène entre les bassins versants, dominée par les renouées asiatiques, et différent avec les placettes de référence, dont la composition reflète les conditions ombragées et humides des milieux rivulaires boisés. Ces résultats rejoignent ceux de la littérature (entre autres : (Lavoie 2017) ; (Maurel et al. 2010) en milieu urbain ; (Aguilera et al. 2010, Chmura et al. 2013), en milieux rivulaires), en particulier ceux de Stoll et al. (2012) qui trouvent aussi que les espèces précoces sont moins affectées et que les renouées réduisent d'environ 50% la richesse spécifique.

Les différences de composition entre placettes envahies et de référence sont moins visibles lorsque l'on s'intéresse uniquement aux espèces en fleur, que ce soit en termes de composition ou de richesse

spécifique. Cela peut être lié à la temporalité des floraisons, qui est identique quel que soit le milieu au sein d'un site, et qui peut lisser les différences entre placettes envahies et de référence. En effet, la composition végétale des placettes de référence est majoritairement ligneuse, avec des espèces arborées ou arbustives dont les relevés, débutés en Avril et terminés en Septembre, n'ont pas permis de détecter leur floraison. Par exemple, *Hedera helix*, très présent sur les placettes de référence, fleurit tardivement. Cette espèce n'a été détectée en fleur que sur une seule placette de référence au mois de Septembre. Par ailleurs, le mois d'Avril 2021 a été marqué par de fortes gelées qui ont probablement impacté la floraison d'espèces fleurissant au printemps. On n'a par exemple observé aucune fleur de *Robinia pseudoacacia* sans autre explication que ces événements météorologiques exceptionnels. La conséquence est une possible sous-estimation des espèces impactées par ces gelées lors du recensement des espèces en fleur, notamment celles dont les bourgeons étaient les plus exposés, soit les espèces de la canopée. Les placettes envahies étant peu arborées, cet épisode a pu introduire un biais dans l'appréciation des floraisons dont l'interprétation doit donc rester comparative (entre placettes et pour cette année uniquement) et non représentative de la potentialité des milieux étudiés à l'échelle de plusieurs années. En Septembre, les milieux de référence n'abritent que très peu d'espèces en fleur (uniquement *Rubus fruticosus* en fleur sur la seule placette de Villefontaine et *Hedera helix* sur la seule placette de PreBattoir), à l'inverse des milieux envahis où les renouées asiatiques fleurissent abondamment. Dans un seul site, la placette envahie héberge également deux autres espèces en fleur : *Convolvulus sepium* et *Rubus fruticosus*. Sur cette placette, les renouées asiatiques poussaient sous couvert arboré et le massif était moins dense et moins étendu que dans les autres placettes envahies, ce qui permettait probablement à d'autres espèces végétales de cohabiter.

3.4.2.3 Sur les communautés d'insectes volants

L'objectif de cette étude était notamment de décrire la communauté d'insectes pollinisateurs attirés par les différents milieux étudiés et de mettre en évidence d'éventuelles différences en termes de richesse spécifique et de composition entre des placettes envahies par les renouées asiatiques et des placettes situées en milieu boisé rivulaire. Deux méthodes complémentaires ont été choisies afin de (i) cibler des taxons volants attirés par la couleur (attirés donc par les corolles florales) ; (ii) comparer par le déploiement du même protocole des milieux différents en termes de composition floristique mais aussi de structure (différentes strates de végétation) et ce de manière répétée dans le temps ; (iii) éviter les biais observateurs par l'utilisation de captures passives ; (iv) réduire le risque lié à une météo défavorable en mettant en œuvre des sessions de capture sur plusieurs jours plutôt que quelques heures. La méthode de capture par coupelles colorées a donc été choisie, car elle permet de détecter des changements de composition et d'abondance (Lebuhn et al. 2013), et associée à la pose de nichoirs à insectes, elle est efficace pour l'évaluation de la richesse spécifique (Westphal et al. 2008). Toutefois, ces méthodes sont moins performantes pour l'évaluation de l'abondance des gros organismes car ils arrivent plus souvent à s'extraire de la solution de la coupelle que les organismes plus petits et moins puissants (O'Connor et al. 2019). Cette limite ne remet pas en cause l'approche comparative choisie ici mais l'interprétation des résultats en termes de composition doit en tenir compte.

L'analyse de la richesse spécifique révèle un nombre plus important d'insectes capturés dans les placettes envahies comparativement aux placettes de référence au mois de Septembre, période de floraison des renouées asiatiques. Sur les autres mois de l'année, et malgré le fait que peu de fleurs soient disponibles dans les milieux envahis en dehors de la floraison des renouées, la richesse spécifique n'est pas significativement inférieure comparativement aux milieux de référence. Cela peut

être dû à plusieurs facteurs. Tout d'abord, les milieux de référence n'abritent que peu d'espèces en fleur sur la période considérée. Ils ne sont pas plus riches en espèces en fleur que les milieux envahis. De plus, les coupelles sont placées plus souvent en zone ombragée dans les milieux rivulaires du fait de leur structure en plusieurs strates de végétation, ce qui peut réduire leur attraction pour les insectes (Lebuhn et al. 2013). Ensuite, l'apport en ressources florales pourrait être fourni à l'échelle paysagère plutôt qu'à l'échelle de la communauté. Le milieu envahi échantillonné viendrait donc compléter les ressources florales disponibles à une échelle plus large (Neumuller et al. 2020, Ropars et al. 2020). Ainsi, les renouées asiatiques pourraient venir compléter les ressources florales disponibles à l'échelle d'un paysage par leur floraison en Septembre, période où peu d'autres espèces végétales sont en fleur (Davis et al. 2018). Cet effet positif des végétaux exotiques a déjà été mis en évidence en milieu urbain où les plantes exotiques viennent compléter les ressources fournies par les végétaux locaux, en particulier en fin de saison (Staab et al. 2018).

Lorsque l'on considère la composition en taxons capturés, les placettes envahies diffèrent des zones de référence en particulier en Avril et en Septembre. Si l'effet de la floraison des renouées asiatiques peut expliquer la plus forte richesse spécifique et la composition différente comme cela a déjà été mis en évidence au Royaume-Unis (Davis et al. 2018), la distinction de composition des placettes envahies au mois d'Avril est plus difficile à expliquer, d'autant qu'elle s'accompagne d'une forte richesse spécifique en insectes. Deux hypothèses peuvent être avancées : (i) la première est que les espèces végétales fleurissant à cette période sont très attractives et expliquent la plus forte attractivité des placettes envahies à cette période comparativement aux placettes de référence ; (ii) la deuxième est que les glandes extraflorales des renouées asiatiques peuvent fournir une ressource nutritive exploitée par les insectes pollinisateurs. Ces glandes sont connues pour être utilisées par les fourmis, dans un échange mutualiste où la fourmi protégerait les renouées asiatiques des prédateurs et herbivores. Aux Etats-Unis, une guêpe morphologiquement proche de fourmis a également été observée sur les glandes nectarifères extraflorales des renouées asiatiques (Johnson et al. 2019). Mais jamais leur utilisation par des insectes volants n'a été publiée.



Figure 3.19 : Photographies d'*Apis mellifera* en train d'utiliser le nectar issu des glandes extraflorales des renouées asiatiques. Placette envahie sur le bassin versant de la Brévenne. © Fanny DOMMANGET, INRAE.

En revanche, des observations durant le mois de Mai sur une de nos placettes confirment qu'elles peuvent être exploitées par *Apis mellifera* (Figure 3.19). Cette hypothèse est confortée par le fait qu'*Apis mellifera* est associée aux zones envahies dans notre étude et est également un des taxons les

plus abondants visitant les renouées asiatiques (Johnson et al. 2019). De plus, elle a été capturée sur les placettes envahies non seulement en Septembre pendant la floraison des renouées asiatiques mais aussi en Avril et Mai. Néanmoins des analyses plus poussées doivent être conduites afin de mieux comprendre l'attractivité des milieux envahis par les renouées asiatiques vis-à-vis des insectes volants.

3.4.2.4 Sur les communautés d'insectes nicheurs

L'utilisation des différents milieux étudiés pour nicher est variable. Le taux de remplissage des nichoirs installés est plus important en début de saison dans les milieux de référence comparativement aux milieux envahis mais cet écart se réduit et s'inverse en été. Le remplissage et le nombre de loges occupées est ainsi plus important en fin de saison dans les nichoirs des placettes envahies. Ce résultat vient renforcer la mise en évidence de l'attractivité en termes de ressources nutritives des milieux envahis. Les milieux envahis par les renouées asiatiques sont donc fréquentés par plus d'insectes tout en ayant une plus grande richesse spécifique. Cette fréquentation a pour objectif l'utilisation à la fois des ressources florales mais répond aussi au besoin d'un habitat pour nicher. A notre connaissance, aucune étude n'a encore étudié la fréquentation de milieux envahis par la méthode des nichoirs. Toutefois, certaines études mettent en évidence une relation positive entre la richesse d'espèces en fleur et le remplissage des nichoirs (Bihaly et al. 2021), ce qui n'est pas notre cas. Une hypothèse serait que la fréquentation des différents milieux dépendrait localement non pas de la richesse en espèces florales mais de l'abondance de la ressource (Hegland and Boeke 2006, Lazaro and Totland 2010). On notera que les espèces identifiées après émergence dans les nichoirs complètent la liste des espèces capturées par coupelles colorées. *Lithurgus chrysurus* n'a pas été capturée dans les coupelles, de même que *Osmia bicornis*, *O. caerulescens* et *O. cerinthis*, ce qui souligne l'intérêt d'utiliser des méthodes de capture complémentaires.

3.4.3 Sur les effets des pratiques de génie végétal pour la gestion des renouées asiatiques

3.4.3.1 Sur le sol

Si l'analyse des différents éléments majeurs et mineurs du sol n'a mis en évidence aucune différence significative liée aux renouées asiatiques si ce n'est un léger enrichissement global en nutriments, les placettes restaurées, elles, diffèrent des placettes envahies et dans une moindre mesure des placettes de référence quant à leur concentration en azote total et carbone organique. De même concernant les enzymes du sol, les placettes restaurées contiennent moins d'enzymes relatives à la dégradation du carbone que les placettes envahies et d'enzymes relatives au phosphore que les placettes de référence.

Cet appauvrissement nutritif et microbien des placettes restaurées comparativement aux autres peut être lié au travail superficiel (voire profond pour le site de PontRouge) du sol. En effet, les placettes restaurées ont pour la majorité d'entre elles (4 sur 7 et une pour laquelle c'est incertain) fait l'objet d'un travail du sol préalable à la plantation. Cependant les placettes ayant fait l'objet d'un travail du sol ne sont pas celles situées les plus à droite sur le graphique, et donc les moins riches en éléments majeurs ou en enzymes. Cette hypothèse mériterait d'être testée plus spécifiquement.

3.4.3.2 Sur la flore

Les efforts de gestion sur les placettes restaurées ont surtout porté sur la végétation : des ligneux ont été replantés et parfois un semis a été réalisé. Ces efforts sont clairement perceptibles sur les variables stationnelles dont les valeurs sont proches de celles des placettes de référence. La richesse spécifique

moyenne est très haute comparativement aux placettes envahies (44 contre 14 espèces végétales recensées) et également plus importante que sur les placettes de référence (26 espèces végétales), ce qui témoigne de la réussite de ces ouvrages plusieurs années après leur mise en place.

Les compositions végétales s'écartent de celles des placettes envahies et des placettes de référence. Cela peut s'expliquer par les espèces choisies par les gestionnaires qui ne visaient pas spécifiquement à converger vers un milieu rivulaire de référence type (pas de référence explicitement choisie) mais plutôt de recréer une communauté végétale diversifiée et dominée par des espèces indigènes. En revanche, sur les deux bassins versants, les communautés végétales des placettes restaurées ont des compositions proches, ce qui peut témoigner de pratiques analogues entre les deux organismes de gestion. Le choix des espèces végétales, souvent issues de pépinières, a peut-être été contraint par leur disponibilité. Une enquête sur les choix ayant abouti à la sélection de telle ou telle espèce pourrait éclairer cette observation.

Concernant les espèces en fleur, la richesse des placettes restaurées est largement supérieure à celle des placettes envahies et de référence. Ces milieux offriraient donc une plus grande diversité de ressources florales, en particulier sur les mois d'Avril à Juillet. L'étude de la composition des espèces en fleur confirme leur intérêt floristique sur les premiers mois de l'année où les milieux restaurés se démarquent des autres milieux. Des espèces comme *Valerianella locusta*, les Véroniques ou les Géraniums pour les herbacées et les Pommiers et Prunus pour les ligneuses semblent participer à cette diversité floristique sur les premiers mois étudiés.

3.4.3.3 Sur les communautés d'insectes volants

De manière assez surprenante et malgré leur forte diversité floristique, les placettes restaurées ne sont pas plus fréquentées par les insectes pollinisateurs que les placettes envahies. Elles le sont plus que les placettes de référence, en particulier en début d'année. Si la diversité des ressources a été identifiée comme un facteur majeur structurant l'abondance et la richesse des communautés de pollinisateurs, c'est surtout l'abondance des ressources florales qui semble attirer les insectes à l'échelle très locale comme c'est le cas de notre étude (Hegland and Boeke 2006, Lazaro and Totland 2010). Ceci pourrait expliquer le patron observé. Les milieux restaurés sont spécifiquement fréquentés par *Andrena mitis*, une petite abeille « déterminante ZNIEFF » (INPN 2022). Sur le bassin versant de la Brévenne, on retrouve aussi le rare *Lasioglossum monstificum*, également espèce déterminante ZNIEFF et classée comme quasiment menacée à l'échelle européenne et mondiale (INPN 2022).

A la lumière de l'identité de certains des taxons capturés sur ces placettes, une étude de la rareté des espèces les fréquentant pourrait permettre de voir dans quelle mesure ces milieux représentent des milieux d'intérêt pour la conservation de certains taxons.

3.4.3.4 Sur les communautés d'insectes nicheurs

Le remplissage des nichoirs ne diffère pas entre les placettes restaurées et de référence et est plus faible que dans les placettes envahies. L'attractivité de ces milieux pour l'habitat reste donc inférieure à celle des placettes envahies. La déconnection avec la richesse floristique encourage à prospecter plus amplement les déterminants de cette observation, notamment *via* l'étude des offres d'habitats de chaque milieu (présence de cannes sèches, de sol accessible, etc.).

3.5 Conclusions sur le volet 2

Le volet 2 ciblait l'étude des renouées asiatiques et d'une de ses modalités de gestion recréant un couvert végétal concurrent et basé sur les techniques de génie écologique. Une première phase de recensement et d'étude des ouvrages de génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques existants sur l'amont du Bassin versant du Rhône a permis de décortiquer les itinéraires techniques déployés sur plus de 40 ouvrages auprès d'une quinzaine de gestionnaires. Une grande diversité de techniques est mise en œuvre, associée ou non avec des techniques d'accompagnement. L'efficacité de la méthode de gestion par génie végétal, si elle semble réguler les massifs de renouées asiatiques, ressort malgré tout en demi-teinte du fait du temps de travail important qu'il nécessite et du décalage temporel entre sa mise en œuvre et leurs premiers effets positifs.

La deuxième partie de l'étude devait venir compléter les enquêtes auprès des gestionnaires afin d'apprécier quantitativement et comparativement les milieux restaurés avec les milieux de référence (cordons rivulaires boisés) et les milieux envahis auxquels ils succédaient, sur la base de l'étude descriptive des paramètres chimiques du sol, de la flore et des insectes pollinisateurs. Nous avons ainsi comparé trois types de milieux (envahi par les renouées asiatiques – « envahi » ; cordon rivulaire boisé de référence non envahi par les renouées asiatiques – « de référence » ; envahi par les renouées asiatiques puis restauré par des techniques de génie végétal – « restauré ») avec un objectif double : (i) quantifier les impacts des renouées asiatiques par comparaison des milieux envahis avec les milieux de référence ; (ii) positionner les milieux restaurés par rapport aux milieux envahis et aux milieux de référence afin d'apprécier l'effet des efforts de gestion pour restaurer la biodiversité.

Il apparaît en premier lieu que les effets des renouées asiatiques sur le sol ne sont pas si évidents, notamment lorsqu'on les compare aux effets des pratiques de gestion qui semblent appauvrir en nutriments et ralentir le fonctionnement microbien. La dépendance aux conditions initiales apparaît comme structurante et sa prise en compte dans une deuxième phase d'analyse devrait apporter des éclairages plus précis quant à la variabilité des effets des renouées asiatiques par rapport au statut nutritif initial du milieu. L'analyse de la composition floristique est sans équivoque : les renouées asiatiques réduisent fortement la diversité floristique, bien que des espèces précoces réussissent à accomplir leur cycle avant le démarrage végétatif des renouées. La restauration par replantation d'espèces végétales ligneuses permet de réintroduire une diversité floristique importante et diversifiée qui se maintient au fil des ans, les ouvrages étudiés ayant entre 5 et 15 ans. Néanmoins, cette diversité végétale semble déconnectée de la diversité en insectes pollinisateurs et nicheurs car la diversité et la composition de ceux-ci ne se démarquent que peu des milieux envahis ou des milieux de référence. Par ailleurs, les compositions et la diversité des insectes identifiés montrent une attractivité des milieux envahis pour la recherche d'habitats (cf. taux de remplissage des nichoirs) et pour la recherche nutritive (cf. captures par coupelles colorées). On notera que des espèces rares ont été trouvées dans les milieux restaurés en particulier. Il est donc possible que ces milieux aient un intérêt conservatoire plus important que les milieux envahis qui semblent à première vue attirer des insectes communs généralistes comme l'abeille domestique. La mise en lien entre les données de captures et les données floristiques et paysagères devrait donner des éléments éclairants sur le rôle de la composition végétale pour la composition des communautés d'insectes pollinisateurs dans le cas précis des milieux envahis et de leur restauration. De même, une analyse fonctionnelle ou ciblée sur l'intérêt conservatoire de certaines espèces apporterait des éléments pertinents pour orienter les pratiques des gestionnaires.

4 Indicateurs de suivi

Le tableau ci-dessous reprend celui de la fiche action, mis à jour avec l'année à laquelle sont attendus les indicateurs de suivis et de résultats.

Résultats	Indicateurs de suivi	Année prévue de mise à disposition	Quantité
Base de données d'ouvrages de génie écologique pour la lutte contre les renouées asiatiques	Nombre d'ouvrages saisi	2019	44
Cartes de présence des EEE, historique et actuelle, associées à un contexte paysager	Nombre de cartes	2020	NA
Réseau de placettes permanentes (ouvrages et suivi des berges)	Nombre de placettes	2020	- 7 ouvrages - 60 relevés phytosociologiques
Rapports intermédiaires	Un rapport en année 1, un autre en année 2	2019 – 2020	2
Rapport final	Un rapport en année 3	2021	1 (2022)
Articles de vulgarisation	Nombre (1 à 2)	2021	1
Articles scientifiques	Nombre (1 à 2)	2021	1 en préparation
Participations à un colloque international	2	2021	1 annulé (contexte sanitaire)

Tableau 4.1 - Indicateurs de suivi du projet attendus par année. Le surlignage vert pointe les indicateurs réalisés.

5 Références bibliographiques

- Adam, P., N. Debiais, F. Gerber, and B. Lachat. 2008. Le génie végétal, Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques. Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables.
- Aguilera, A. G., P. Alpert, J. S. Dukes, and R. Harrington. 2010. Impacts of the invasive plant *Fallopia japonica* (Houtt.) on plant communities and ecosystem processes. *Biological Invasions* **12**:1243-1252.
- Alpert, P., E. Bone, and C. Holzapfel. 2000. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **3**:52-66.
- Amoros, C., and P. Wade. 1996. Ecological successions. Pages 211-241 *The fluvial hydrosystems*. Springer.
- Barney, J. N. 2006. North American history of two invasive plant species: Phytogeographic distribution, dispersal vectors, and multiple introductions. *Biological Invasions* **8**:703-717.
- Bihaly, A. D., A. Kovacs-Hostyanszki, M. Szalai, and M. Sarospataki. 2021. Nesting activity of cavity-nesting bees and wasps is lower in small-scale apple orchards compared to nearby semi-natural habitats. *Agricultural and Forest Entomology* **23**:49-58.
- Blackburn, T. M., P. Pyšek, S. Bacher, J. T. Carlton, R. P. Duncan, V. Jarošík, J. R. U. Wilson, and D. M. Richardson. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* **26**:333-339.
- Bottolier-Curtet, M. 2010. Conséquences des invasions végétales sur le fonctionnement des écosystèmes riverains fluviaux. Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Toulouse.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensociologie. Grundzuge der Vegetationskunde. 3 Aufl Springer Wein AT.
- Cáceres, M. D., and P. Legendre. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* **90**:3566-3574.
- Catford, J. A., C. C. Daehler, H. T. Murphy, A. W. Sheppard, B. D. Hardesty, D. A. Westcott, M. Rejmanek, P. J. Bellingham, J. Pergl, C. C. Horvitz, and P. E. Hulme. 2012. The intermediate disturbance hypothesis and plant invasions: Implications for species richness and management. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* **14**:231-241.
- Catford, J. A., B. J. Downes, C. J. Gippel, and P. A. Vesk. 2011. Flow regulation reduces native plant cover and facilitates exotic invasion in riparian wetlands. *Journal of Applied Ecology* **48**:432-442.
- Catford, J. A., R. Jansson, and C. Nilsson. 2009. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Diversity and Distributions* **15**:22-40.
- Child, L., and M. Wade. 2000. The Japanese knotweed manual, Chichester, UK.
- Chmura, D., P. Nejfeld, M. Borowska, G. Woźniak, T. Nowak, and B. Tokarska-Guzik. 2013. The importance of land use type in *Fallopia (Reynoutria) japonica* invasion in the suburban environment. *Polish Journal of Ecology* **61**:379-384.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a non-equilibrium state. *Science* **199**:1302-1310.
- Corenblit, D., J. Steiger, E. Tabacchi, E. Gonzalez, and A. M. Planty-Tabacchi. 2014. Ecosystem engineers modulate exotic invasions in riparian plant communities by modifying hydrogeomorphic connectivity. *River Research and Applications* **30**:45-59.
- Cottet, M., A. Rivière-Honegger, A. Evette, F. Piola, S. Rouifed, F. Dommanget, L. Vaudor, and J. Vally. 2018. Représentations et pratiques de gestion des renouées asiatiques : intègrent-elles les dynamiques à long terme des écosystèmes ? *Géocarrefour* **92**:21.
- Cottet, M., A. Rivière-Honegger, L. Vaudor, L. Colombain, F. Dommanget, and A. Evette. 2020. The end of a myth: Solving the knotweeds invasion "problem". *Anthropocene* **30**:11.

- Dassonville, N., N. Guillaumaud, F. Piola, P. Meerts, and F. Poly. 2011. Niche construction by the invasive Asian knotweeds (species complex *Fallopia*): Impact on activity, abundance and community structure of denitrifiers and nitrifiers. *Biological Invasions* **13**:1115-1133.
- Dassonville, N., S. Vanderhoeven, W. Gruber, and P. Meerts. 2007. Invasion by *Fallopia japonica* increases topsoil mineral nutrient concentrations. *Ecoscience* **14**:230-240.
- Dassonville, N., S. Vanderhoeven, V. Vanparys, M. Hayez, W. Gruber, and P. Meerts. 2008. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. *Oecologia* **157**:131-140.
- Davis, E. S., R. Kelly, C. A. Maggs, and J. C. Stout. 2018. Contrasting impacts of highly invasive plant species on flower-visiting insect communities. *Biodiversity and Conservation* **27**:2069-2085.
- Davis, M. A., J. P. Grime, and K. Thompson. 2000. Fluctuating resources in plant communities: A general theory of invasibility. *Journal of Ecology* **88**:528-534.
- Davis, M. A., and K. Thompson. 2000. Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader: a proposed nomenclature scheme for invasion ecology. *Bulletin of the ecological society of America* **81**:226-230.
- Debay, P., T. Legland, and G. Pache. 2020. Liste actualisée et hiérarchisée des espèces exotiques envahissantes, bilan de la problématique végétale invasive en Rhône-Alpes., Conservatoire botanique national alpin.
- Delbart, E., G. Mahy, B. Weickmans, F. Henriët, S. Crémer, N. Pieret, S. Vanderhoeven, and A. Monty. 2012. Can land managers control Japanese knotweed? Lessons from control tests in Belgium. *Environmental Management* **50**:1089-1097.
- Dommanget, F., V. Breton, O. Forestier, P. Poupart, N. Daumergue, and A. Evette. 2015. Contrôler des renouées invasives par les techniques de génie écologique: retours d'expérience sur la restauration de berges envahies. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* **70**:215-228.
- Dommanget, F., A. Evette, F. Piola, S. Rouifed, and W. Brasier. 2019. État de l'art des techniques de génie végétal pour contrôler les renouées. *Revue Science Eaux & Territoires* **27**:74-79.
- Dommanget, F., A. Evette, T. Spiegelberger, C. Gallet, M. Pacé, M. Imbert, and M. L. Navas. 2014. Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques. *Journal of Environmental Management* **132**:71-78.
- Dufour, S., N. Barsoum, E. Muller, and H. Piegay. 2007. Effects of channel confinement on pioneer woody vegetation structure, composition and diversity along the River Drôme (SE France). *Earth Surface Processes and Landforms* **32**:1244-1256.
- Dufrêne, M., and P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* **67**:345-366.
- ECOSPHERE. 2009. Site Natura 2000 de Miribel-Jonage - Documents d'Objectifs.
- Ellenberg, H. 1992. Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. *Scr geobot* **18**:1-248.
- Elton, C. E. 1958. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. The University of Chicago Press, Chicago.
- European Commission, D.-G. F. E. 2022. Commission Implementing Regulation (EU) 2022/1203 of 12 July 2022 amending Implementing Regulation (EU) 2016/1141 to update the list of invasive alien species of Union concern. *Official Journal of the European Union* L 186/10.
- Falk-Petersen, J., T. Bøhn, and O. T. Sandlund. 2006. On the numerous concepts in invasion biology. *Biological Invasions* **8**:1409-1424.
- Favre, E., and N. Greff. 2005. DOCUMENT D'OBJECTIFS NATURA 2000 (Sites n° FR8201645 et FR8201653) - Milieux alluviaux de la basse vallée de l'Ain.
- Garofano-Gomez, V., F. Martinez-Capel, W. Bertoldi, A. Gurnell, J. Estornell, and F. Segura-Beltran. 2013. Six decades of changes in the riparian corridor of a Mediterranean river: a synthetic analysis based on historical data sources. *Ecohydrology* **6**:536-553.
- Gonzalez, E., V. Martinez-Fernandez, P. B. Shafroth, A. A. Sher, A. L. Henry, V. Garofano-Gomez, and D. Corenblit. 2020. Regeneration of *Salicaceae* riparian forests in the Northern Hemisphere: A new framework and management tool (vol 218, pg 374, 2018). *Journal of Environmental Management* **275**:1.

- Grime, J. P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* **111**:1169-1194.
- Hegland, S. J., and L. Boeke. 2006. Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. *Ecological Entomology* **31**:532-538.
- Hood, W. G., and R. J. Naiman. 2000. Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants. *Plant Ecology* **148**:105-114.
- INPN. 2022. Inventaire National du Patrimoine Naturel. MNHN.
- Jamagne, M. 1967. Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Annales agronomiques* **18**.
- Janssen, P., J. C. Stella, H. Piegay, B. Rappelle, B. Pont, J. M. Faton, J. H. C. Cornelissen, and A. Evette. 2020. Divergence of riparian forest composition and functional traits from natural succession along a degraded river with multiple stressor legacies. *Science of the Total Environment* **721**:15.
- Johnson, L. R., B. Breger, and F. Drummond. 2019. Novel plant-insect interactions in an urban environment: enemies, protectors, and pollinators of invasive knotweeds. *Ecosphere* **10**:16.
- Julve, P. 1998. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Institut Catholique de Lille, Lille.
- Kappes, H., R. Lay, and W. Topp. 2007. Changes in different trophic levels of litter-dwelling macrofauna associated with giant knotweed invasion. *Ecosystems* **10**:734-744.
- Koutika, L. S., S. Vanderhoeven, L. Chapuis-Lardy, N. Dassonville, and P. Meerts. 2007. Assessment of changes in soil organic matter after invasion by exotic plant species. *Biology and Fertility of Soils* **44**:331-341.
- Laliberté, E., and P. Legendre. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* **91**:299-305.
- Lavoie, C. 2017. The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives. *Biological Invasions* **19**:2319-2337.
- Lavorel, S., K. Grigulis, S. McIntyre, N. S. G. Williams, D. Garden, J. Dorrough, S. Berman, F. Quétier, A. Thébault, and A. Bonis. 2008. Assessing functional diversity in the field - Methodology matters! *Functional Ecology* **22**:134-147.
- Lazaro, A., and O. Totland. 2010. Local floral composition and the behaviour of pollinators: attraction to and foraging within experimental patches. *Ecological Entomology* **35**:652-661.
- Lebuhn, G., S. Droege, E. F. Connor, B. Gemmill-Herren, S. G. Potts, R. L. Minckley, T. Griswold, R. Jean, E. Kula, D. W. Roubik, J. Cane, K. W. Wright, G. Frankie, and F. Parker. 2013. Detecting Insect Pollinator Declines on Regional and Global Scales. *Conservation Biology* **27**:113-120.
- Liebault, F., and H. Piegay. 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms* **27**:425-444.
- Louvel, J., V. Gaudillat, and L. Poncet. 2013. EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce., MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudgelas, and M. De Poorter. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A selection from the Global Invasive Species Database. CSE (Commission de la Sauvegarde des Espèces) - IUCN.
- Marston, R. A., J. Girel, G. Pautou, H. Piegay, J. P. Bravard, and C. Arneson. 1995. Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development - Ain river, France. *Geomorphology* **13**:121-131.
- Martin, F.-M. 2019. The study of the spatial dynamics of Asian knotweeds (*Reynoutria* spp.) across scales and its contribution for management improvement. Université Grenoble Alpes, Grenoble.
- Maurel, N., S. Salmon, J. F. Ponge, N. Machon, J. Moret, and A. Muratet. 2010. Does the invasive species *Reynoutria japonica* have an impact on soil and flora in urban wastelands? *Biological Invasions* **12**:1709-1719.

- Mikulova, K., I. Jarolimek, J. Šibík, T. Bacigal, and M. Šibikova. 2020. Long-Term Changes of Softwood Floodplain Forests—Did the Disappearance of Wet Vegetation Accelerate the Invasion Process? *Forests* **11**:14.
- Mikulová, K., I. Jarolímek, J. Šibík, T. Bacigál, and M. Šibíková. 2020. Long-Term Changes of Softwood Floodplain Forests—Did the Disappearance of Wet Vegetation Accelerate the Invasion Process? *Forests* **11**:1218.
- Mitsch, W. J. 2012. What is ecological engineering? *Ecological Engineering* **45**:5-12.
- Mortenson, S. G., and P. J. Weisberg. 2010. Does river regulation increase the dominance of invasive woody species in riparian landscapes? *Global Ecology and Biogeography* **19**:562-574.
- Naiman, R. J., H. Decamps, and M. E. McClain. 2005. *Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier.
- Neumuller, U., H. Burger, S. Krausch, N. Bluthgen, and M. Ayasse. 2020. Interactions of local habitat type, landscape composition and flower availability moderate wild bee communities. *Landscape Ecology* **35**:2209-2224.
- O'Connor, R. S., W. E. Kunin, M. P. D. Garratt, S. G. Potts, H. E. Roy, C. Andrews, C. M. Jones, J. M. Peyton, J. Savage, M. C. Harvey, R. K. A. Morris, S. P. M. Roberts, I. Wright, A. J. Vanbergen, and C. Carvell. 2019. Monitoring insect pollinators and flower visitation: The effectiveness and feasibility of different survey methods. *Methods in Ecology and Evolution* **10**:2129-2140.
- Ortega, Y. K., and D. E. Pearson. 2005. Weak vs. strong invaders of natural plant communities: Assessing invasibility and impact. *Ecological Applications* **15**:651-661.
- Pautou, G. 1988. Perturbations anthropiques et changements de végétation dans les systèmes fluviaux. L'organisation du paysage fluvial rhodanien entre Genève et Lyon. *Documents de cartographie écologique* **31**:73-96.
- Pautou, G., J. Girel, and G. Ain. 1978. Etude Ecologiques de la Vallée du Rhône - Carte de la végétation à 1/25.000 - feuille de Morestel-Yenne. CNRS.
- Pautou, G., J. Girel, J. Peiry, F. Hughes, K. Richards, R. Foussadier, B. Garguet-Duport, T. Harris, and N. Barsoum. 1996. Les changements de végétation dans les hydrosystèmes fluviaux: l'exemple du Haut-Rhône et de l'Isère dans le Gresivaudan. *Revue d'écologie alpine*:41-66.
- Pierce, S., D. Negreiros, B. E. Cerabolini, J. Kattge, S. Díaz, M. Kleyer, B. Shipley, S. J. Wright, N. A. Soudzilovskaia, and V. G. Onipchenko. 2017. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. *Functional ecology* **31**:444-457.
- Planty-Tabacchi, A. M., E. Tabacchi, R. J. Naiman, C. Deferrari, and H. Décamps. 1996. Invasibility of species-rich communities in riparian zones. *Conservation Biology* **10**:598-607.
- Pysek, P., J. Pergl, F. Essl, B. Lenzner, W. Dawson, H. Kreft, P. Weigelt, M. Winter, J. Kartesz, M. Nishino, L. A. Antonova, J. F. Barcelona, F. J. Cabezas, D. Cardenas, J. Cardenas-Toro, N. Castano, E. Chacon, C. Chatelain, S. Dullinger, A. L. Ebel, E. Figueiredo, N. Fuentes, P. Genovesi, Q. J. Groom, L. Henderson, Inderjit, A. Kupriyanov, S. Masciadri, N. Maurel, J. Meerman, O. Morozova, D. Moser, D. Nickrent, P. M. Nowak, S. Pagad, A. Patzelt, P. B. Pelsler, H. Seebens, W. S. Shu, J. Thomas, M. Velayos, E. Weber, J. J. Wieringa, M. P. Baptiste, and M. van Kleunen. 2017. Naturalized alien flora of the world: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia* **89**:203-274.
- Rameau, J.-C., D. Mansion, and G. Dumé. 1989. *Flore forestière française: Plaines et collines*. Forêt privée française.
- Richardson, D. M., P. Pysek, M. Rejmanek, M. G. Barbour, F. Dane Panetta, and C. J. West. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions* **6**:93-107.
- Ropars, L., L. Affre, L. Schurr, F. Flacher, D. Genoud, C. Mutillod, and B. Geslin. 2020. Land cover composition, local plant community composition and honeybee colony density affect wild bee species assemblages in a Mediterranean biodiversity hot-spot. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* **104**:10.

- Saccone, P., J. P. Pages, J. Girel, J. J. Brun, and R. Michalet. 2010. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics. *New Phytologist* **187**:831-842.
- Schnitzler, A., B. W. Hale, and E. M. Alsum. 2007. Examining native and exotic species diversity in European riparian forests. *Biological Conservation* **138**:146-156.
- Siemens, T. J., and B. Blossey. 2007. An evaluation of mechanisms preventing growth and survival of two native species in invasive Bohemian knotweed (*Fallopia x bohemica*, *Polygonaceae*). *American Journal of Botany* **94**:776-783.
- Staab, M., G. Pufal, T. Tschardt, and A. M. Klein. 2018. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments-A systematic overview and user guide. *Methods in Ecology and Evolution* **9**:2226-2239.
- Stefanowicz, A. M., A. Banaś, M. Stanek, M. W. Woch, and S. Zubek. 2020. Large differences in biomass quantity and quality between invasive *Reynoutria japonica* and resident vegetation are not reflected in topsoil physicochemical properties. *Geoderma* **368**.
- Stefanowicz, A. M., P. Kapusta, M. Stanek, M. Frac, K. Oszust, M. W. Woch, and S. Zubek. 2021. Invasive plant *Reynoutria japonica* produces large amounts of phenolic compounds and reduces the biomass but not activity of soil microbial communities. *Science of the Total Environment* **767**:13.
- Stefanowicz, A. M., M. Stanek, M. Nobis, and S. Zubek. 2017. Few effects of invasive plants *Reynoutria japonica*, *Rudbeckia laciniata* and *Solidago gigantea* on soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment* **574**:938-946.
- Stohlgren, T. J., D. T. Barnett, and J. Kartesz. 2003. The rich get richer: patterns of plant invasions in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment* **1**:11-14.
- Stoll, P., K. Gatzsch, H. P. Rusterholz, and B. Baur. 2012. Response of plant and gastropod species to knotweed invasion. *Basic and Applied Ecology*.
- Tabacchi, E., A. M. Planty-Tabacchi, L. Roques, and E. Nadal. 2005. Seed inputs in riparian zones: Implications for plant invasion. *River Research and Applications* **21**:299-313.
- Tena, A., H. Piegay, G. Seignemartin, A. Barra, J. F. Berger, B. Mourier, and T. Winiarski. 2020. Cumulative effects of channel correction and regulation on floodplain terrestrialisation patterns and connectivity. *Geomorphology* **354**:19.
- Tharayil, N., P. Alpert, P. Bhowmik, and P. Gerard. 2013. Phenolic inputs by invasive species could impart seasonal variations in nitrogen pools in the introduced soils: A case study with *Polygonum cuspidatum*. *Soil Biology and Biochemistry* **57**:858-867.
- Thiebaut, M., S. Nicolas, and F. Piola. 2020. "The fad for *Polygonum* will fade away!": historic aspects of the propagation and success in France of the *Reynoutria* complex based on archives. *Botany Letters* **167**:301-314.
- Tickner, D. P., P. G. Angold, A. M. Gurnell, and J. O. Mountford. 2001. Riparian plant invasions: hydrogeomorphological control and ecological impacts. *Progress in Physical Geography* **25**:22-52.
- Urgenson, L. S., S. H. Reichard, and C. B. Halpern. 2012. Multiple competitive mechanisms underlie the effects of a strong invader on early- to late-seral tree seedlings. *Journal of Ecology* **100**:1204-1215.
- Valery, L., H. Fritz, J. C. Lefeuvre, and D. Simberloff. 2008. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions* **10**:1345-1351.
- Vanderhoeven, S., N. Dassonville, and P. Meerts. 2005. Increased topsoil mineral nutrient concentrations under exotic invasive plants in Belgium. *Plant and Soil* **275**:169-179.
- Vazquez-Tarrio, D., M. Tal, B. Camenen, and H. Piegay. 2019. Effects of continuous embankments and successive run-of-the-river dams on bedload transport capacities along the Rhone River, France. *Science of the Total Environment* **658**:1375-1389.
- Von Holle, B. 2005. Biotic resistance to invader establishment of a southern Appalachian plant community is determined by environmental conditions. *Journal of Ecology* **93**:16-26.

- Ward, J., K. Tockner, D. B. Arscott, and C. Claret. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater biology* **47**:517-539.
- Westphal, C., R. Bommarco, G. Carre, E. Lamborn, N. Morison, T. Petanidou, S. G. Potts, S. P. M. Roberts, H. Szentgyorgyi, T. Tscheulin, B. E. Vaissiere, M. Woyciechowski, J. C. Biesmeijer, W. E. Kunin, J. Settele, and I. Steffan-Dewenter. 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs* **78**:653-671.
- Williamson, M. H., and A. Fitter. 1996. The varying success of invaders. *Ecology* **77**:1661-1666.
- Zajac, A., B. Tokarska-Guzik, and M. Zajac. 2011. The role of rivers and streams in the migration of alien plants into the Polish Carpathians. *Biodiversity: Research and Conservation* **23**:43-56.

ANNEXE 2.1 – B : HARMONISATION DES NOMENCLATURES MIRIBEL-JONAGE

Miribel-Jonage - Harmonisation des nomenclatures

1987		2020
Espaces artificialisées		
	Eaux (étangs, canaux, ... Plans d'eau artificiels, canaux)	Eaux dormantes de surface (C1, C1.142, C1.221, C1.231, C1.25, C1.33)
Terres agricoles	Grandes cultures (blé, maïs, orge, sorgho, ...) Pépinières	Pâturages ininterrompus (E2.111, E2.112) Prairies de fauche planitiaires subatlantiques (E2.221) Prairies améliorées sèches ou humides (E2.61)
Plantations ligneux	Plantations ligneux	Plantations forestières très artificielles de feuillus caducifoliés (G1.C)
Autres milieux arti.	Groupements herbacées de recolonisation des milieux neufs (friches industrielles, dépôts, gravières, ...)	Végétations herbacées anthropiques (E5.1) Bâtiments des villes et des villages (J1) Réseaux routiers (J4.2)
Habitats riverains		
Milieux aquatiques	Eaux courantes Sol nu (dépôts sableux, dépôts de graviers et galets alluviaux)	Eaux dormantes de surface (C1, C1.142, C1.221, C1.231, C1.25, C1.33) Berges périodiquement inondées à végétation pionnière et éphémère (C3.51, C3.511, C3.513, C3.53)
Herbacés hygrophiles	Phragmitaies aquatiques et semi-aquatiques Phragmitaies semi-aquatiques à <i>Carex</i> (anciens lits) Cariçaie à <i>Carex elata</i> en touradons Cariçaie à <i>Carex riparia</i> et <i>Carex acutiformis</i> Prairie à Joncs et Molinie Phragmitaie à <i>Carex acutiformis</i> et <i>Equisetum hyemale</i> sur dépôts sableux Prairies à hautes herbes (<i>Solidago</i> , <i>Filipendula</i> , <i>Lysimachia</i> , ...)	Roselières et formations de bordure à grands héliophytes autres que les roseaux (C3.21, C3.22, C3.231, C3.28) Formations à grandes cypéracées normalement sans eau libre (D5.212, D5.216, D5.218) Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses (E3.44) Lisières et prairies humides ou mouilleuses à grandes herbacées et à fougères (E5.41, E5.43)
Herbacés mésophiles	Groupements herbacés influencés par les activités humaines	Pâturages permanents mésotrophes et prairies post-pâturage (E2.1)
Steppes	Pelouse à <i>Bromus erectus</i> Pelouse écorchée à <i>Teucrium</i> divers et <i>Fumana procumbens</i> Steppes et lisières à <i>Hypericum</i> Steppe à <i>Oenothera biennis</i> et espèces rudérales	Gazons eurosibériens sur débris rocheux (E1.11) Pelouses calcaires vivaces et steppes riches en bases (E1.264, E1.271) Ourlets forestiers thermophiles (E5.2, E5.22)
Bois tendres	Saussaie à <i>Salix purpurea</i> (anciens bras) Groupement bas à Orme (<i>Ulmus minor</i>) Sausaie ripariale à saules arbustifs divers (<i>Salix viminalis</i> , <i>Salix triandra</i> , ...) (F9.211) Lande dense à <i>Salix purpurea</i> et arbustes divers sur dépôts sableux épais Saulaie ripariale à Saules blancs Groupement à saules blancs et peuplier noir sur sols sableux profonds Aulnaie à <i>Alnus glutinosa</i> Aulnaie à <i>Alnus incana</i> et <i>Alnus glutinosa</i> en mélange avec <i>Salix alba</i> Aulnaie à <i>Alnus incana</i> sur sables Ripisylves à Saules blancs, Aulnes, Ormes, Frênes, Peupliers noirs et Robiniers Frênaie à Aulnes, Peupliers blancs, Merisier (<i>Prunus padus</i>), ou peupliers noirs Bois de peupliers noirs dominants avec sous bois à <i>Salix alba</i> , en mélange avec Peupliers blancs, à <i>Equisetum hyemale</i> ou avec sous bois à arbustes variés Bois secs à Peuplier noir sur graviers, arbres peu nombreux sur sous bois à épineux, éventuellement avec Robinier ou Bouleaux	Fourrés à Saule à trois étamines et à Osier blanc (F9.121) Sausaies marécageuses occidentales à Saule cendré (F9.211) Saulaies riveraines (G1.11, G1.111) Grandes forêts alluviales médio-européennes (G1.221) Aulnaies marécageuses méso-eutrophes (G1.411)
Bois durs	Frenaie à Orme Frenaie à Chêne pédonculé et Orme	Fourrés médio-européens sur sols riches (F3.11, F3.112) Fourrés atlantiques sur sols pauvres (F3.131) Fourrés à <i>Corylus</i> (F3.17) Chênaies à <i>Quercus pubescens</i> occidentales et communautés apparentées (G1.71) Plantations de <i>Robinia</i> (G1.C3)

ANNEXE 2.1 – A : HARMONISATION DES NOMENCLATURES BASSE VALLEE DE L'AIN

Basse vallée de l'Ain - Harmonisation des nomenclatures

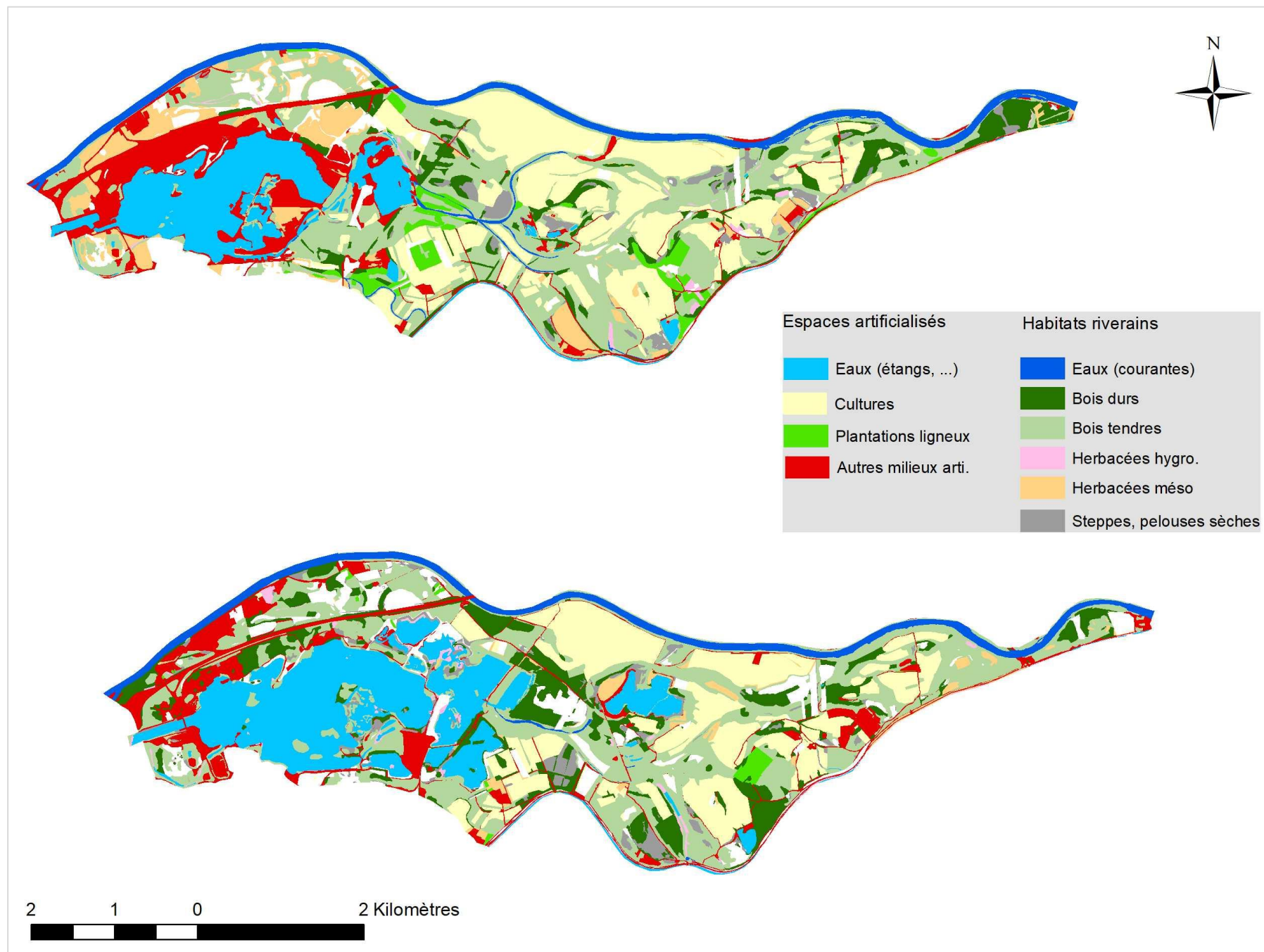
	1985	2005
Espaces artificialisés		
	Eaux (étangs, canaux,... Plans d'eau artificiels)	Eaux douces (22.1)
	Terres agricoles Cultures diverses Cultures à but cynergetique	Cultures (82.1)
	Plantations ligneux Peupleraie plantée à <i>Solidago gigantea</i>	Vergers, bosquets et plantations d'arbres (83.321, 88.31)
	Autres milieux arti. Sol nu en voie de colonisation (sablères, dépôts, ...)	Alignements d'arbres, haies, petits bois, bocage, parcs (84) Villes, villages et sites industriels (86.3) Terrains en friche et terrains vagues (87.1, 87.2)
Habitats riverains		
	Milieux aquatiques Eaux courantes Sol nu (dépôts sableux, dépôts de graviers et galets alluviaux)	Eaux douces (22.1) Végétations aquatiques (22.43) Lits des rivières (24.1) Végétations immergées des rivières (24.43)
	Herbacés hygrophiles Groupements à <i>Phragmites australis</i> et <i>Scirpus lacustris</i> Phragmitaies monosospécifiques et faciès à <i>Typha latifolia</i> Phragmitaies à <i>Carex</i> Phragmitaies à <i>Urtica dioica</i> et <i>Convolvulus sepium</i> Cariçaies à <i>Carex elata</i> Cariçaies à <i>Carex riparia</i> , <i>Carex gracilis</i> . Landes à <i>Salix cinerea</i> Groupements à <i>Melilotus alba</i> Groupements à <i>Phalaris arundinacea</i> Cladiaie à <i>Cladium mariscus</i>	Prairies humides eutrophes (37.2) Roselières (53.11, 53.16) Communautés à grandes laiches (53.21) Végétation à <i>Cladium mariscus</i> (53.33)
	Herbacés mésophiles Pelouse à <i>Bromus erectus</i> Prairies à <i>Poa trivialis</i> et <i>Dactylis glomerata</i> Groupement à <i>Oenothera biennis</i> sur labour abandonné	Prairies mésophiles (38)
	Steppes Pelouse à <i>Fumana procumbens</i>	Prairies pérennes denses et steppes médio-européennes (34.32, 34.33)
	Bois tendres Aunaie à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Carex</i> Aunaie mixte à <i>Alnus incana</i> et <i>Alnus glutinosa</i> Sausaie à <i>Salix viminalis</i> et <i>Salix triandra</i> Sausaie à <i>Salix alba</i> et <i>Carex acutiformis</i> Sausaie à <i>Salix alba</i> et <i>Salix alba</i> Sausaie à <i>Salix alba</i> et <i>Impatiens glandulifera</i> Sausaie à <i>Salix alba</i> et <i>Phalaris</i> Sausaie à <i>Salix eleagnos</i> Sausaie à <i>Salix divers</i> Aunaie à <i>Alnus incana</i> et <i>Equisetum hiemale</i>	Formations riveraines de saules (44.11, 44.12, 44.13) Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources(44.31, 44.33) Bois d'Aulnes marécageux de Saule et de Myrte des marais (44.91)
	Bois durs Frênaie à <i>Fraxinus excelsior</i> et <i>Prunus padus</i> Chênaie à <i>Quercus robur</i> Groupement à <i>Ailanthus glandulosa</i> Ormaie à <i>Ulmus minor</i> et <i>Acer negundo</i> Lande à <i>Robinia pseudoacacia</i> Groupement à feuillus divers (<i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Ulmus minor</i> ou <i>Robinia pseudoacacia</i>) Coupe à blanc ancienne (rejets de <i>Populus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Fraxinus</i> , ...) Fourré épais à <i>Crataegus monogyna</i> dominant Fourré à <i>Cornus sanguinea</i> dominant Lande à <i>populus nigra</i> Fourré épais à <i>Prunus spinosa</i> (dominant)	Fouffrés médio-européens sur sol fertile (31.81) Hêtraies (41.13) Chênaies-Charmaies (41.26)

ANNEXE 2.1-C : HARMONISATION DES NOMENCLATURES RN HAUT-RHÔNE

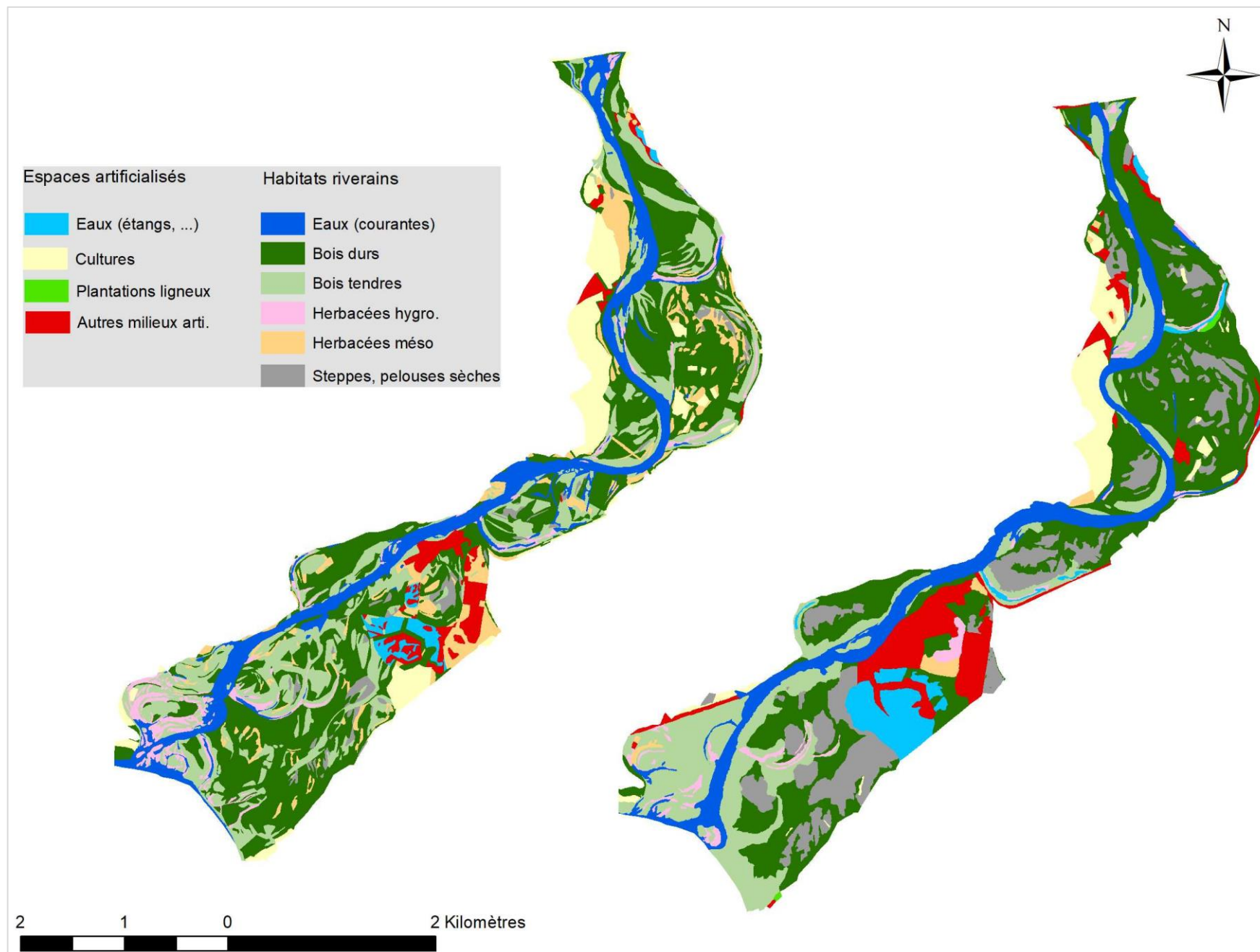
Réserve naturelle du Haut-Rhône - Harmonisation des nomenclatures

1978		2018
Espaces artificialisées		
Eaux (étangs, canaux,...)		
Terres agricoles	Cultures, Prairies artificielles	Cultures (82.11, 82.2, 82.3) Prairies sèches améliorées (81.1)
Plantations ligneux	Peupleraies	Vergers, bosquets et plantations d'arbres (83.15, 83.31) Plantations et formations spontanées de <i>Robinia pseudoacacia</i> (83.324)
Autres milieux arti.	Espaces urbanisés	Alignements d'arbres, haies, petits bois, bocage, parcs (84.1) Parcs urbains et grands jardins (85.2, 85.3) Villes, villages et sites industriels (86.2) Terrains en friche et terrains vagues (87.1, 87.2)
Habitats riverains		
Milieux aquatiques	Eaux courantes Groupement à <i>Melilotus alba</i> sur alluvions sableuses et graveleuses inondées en périodes de crues	Bancs de graviers sans végétation (24.21) Eaux douces (22.12) Lits des rivières (24.14) Végétation immergées des rivières (24.43) Bancs de graviers des cours d'eau (24.22)
Herbacés hygrophiles	Phragmitaie type composée de <i>Phragmites communis</i> en peuplements denses sur substrat limoneux inondé pendant la plus grande partie de l'année Groupement à <i>Cladium narcissus</i> , <i>Eupatorium cannabinum</i> , <i>Rhamnus frangula</i> , sur matelas organique saturé d'eau Groupement à <i>Schoenus nigricans</i> , <i>cladium mariscus</i> sur tourbe eutrophe. Prairies fauchées de façon irrégulière	Communautés à Reine des prés et communautés associées (37.1) Prairies humides eutrophes (37.21) Prairies humides holoigotrophes (37.311) Lisières humides à grandes herbes (37.71, 37.715, 37.72) Roselières (53.111, 53.112) Communautés à grandes laiches (53.2122, 53.2151, 53.216) Bordures à <i>Calamagrostis</i> des eaux courantes (53.4) Jonchaies hautes (53.5)
Herbacés mésophiles	Groupement à <i>Molinia caerulea</i>	Landes à fougères (31.86) Patures mésophiles (38.11) Prairies à fourrages des plaines (38.22)
Steppes		Prairies pérennes denses et steppes médio-européennes (34.3328) Lisières forestières thermophiles (34.42) Prairies siliceuses à annuelles naines (35.21)
Bois tendres	Aulnaie à <i>Alnus glutinosa</i> , sur sol saturé d'eau ou inondé pendant l'hiver ou le printemps Groupement à <i>Salix cinerea</i> sur sol à gley et sur tourbe riche en argiles Saulaie à <i>Salix triandra</i> , à <i>Salix alba</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> et groupements herbacés dans les lônes en début de colmatage Saulaie à <i>Salix alba</i> , <i>Impatiens roylei</i> sur sol alluvial calcaire Aulnaie à <i>Alnus incana</i> , <i>Equisetum hyemale</i> sur sol alluvial Groupement à <i>Salix eleagnos</i> , <i>Hippophae rhamnoides</i> sur alluvions graveleuses et caillouteuses	Formations riveraines de saules (44.12, 44.13) Galerie d'Aulnes blancs (44.2) Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (44.311, 44.314, 44.33) Forêts méditerranéennes de Peupliers, d'Ormes et de Frênes (44.61) Bois d'Aulnes marécageux de Saule et de Myrte des marais (44.911, 44.92)
Bois durs	Frenaie à <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Quercus robur</i> sur sol alluvial à gley Frenaie à <i>Populus alba</i> , <i>Quercus robur</i> sur sol alluvial calcaire Charmaie à <i>Quercus robur</i> sur sol brun marmorisé	Chênaies-Charmaies (41.233, 41.244, 41.271) Frênaies (41.39) Fourrés médio-européens sur sol fertile (31.811, 31.812, 31.872) Chênaies thermophiles et supra-méditerranéennes (41.711) Forêts mixtes de Chênes, d'Ormes et de Frênes des grands fleuves (44.42)

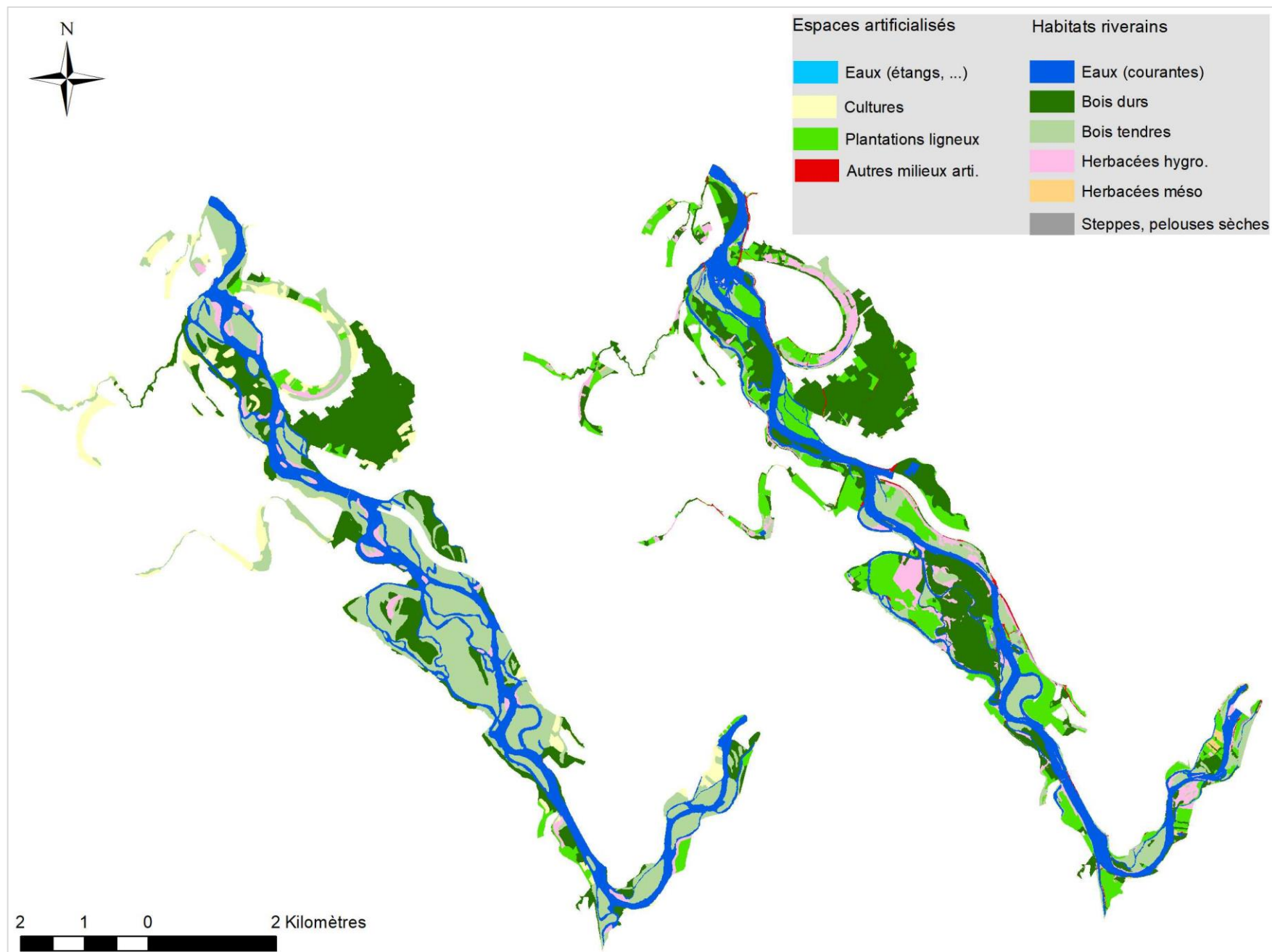
Annexe 2.2a – Cartographies de Miribel-Jonage



Annexe 2.2b – Cartographie de la Basse vallée de l'Ain



Annexe 2.2c – Cartographies de la Réserve Naturelle du Haut-Rhône



Annexe 2.3 – Matrices d'évolution

MIRIBEL-JONAGE	Espaces artificialisés				Habitats riverains						Total 1987
	Eaux (étangs, canaux,...)	Cultures	Plantations ligneux	Autres milieux arti.	Eaux (courantes)	Bois durs	Bois tendres	Herbacées hygro	Herbacées méso	Steppes	
Eaux (étangs, ...)	245,4			3,2		1,5	8,4	3,3	0,3	0,8	262,9
Espaces artificialisés Cultures	34,4	363,6	0,5	22,6		9,1	22,2	0,4	26,8	10,7	490,5
Espaces artificialisés Plantations ligneux	2,7	6,5	5,9	1,0		0,3	18,4	23,1	0,0	0,1	58,4
Espaces artificialisés Autres milieux arti.	55,2	0,0		99,2		0,3	29,5	56,1	4,6	11,9	257,9
Habitats riverains Eaux (courantes)		0,3		0,2	103,1	0,7	13,1	0,1		0,0	117,6
Habitats riverains Bois durs		11,9	0,8	0,6	0,0	37,9	67,5	0,2	2,3	4,0	135,0
Habitats riverains Bois tendres		52,4	7,6	3,2	5,4	125,3	371,3	5,2	3,0	14,0	620,0
Habitats riverains Herbacées hygro		1,3	1,0	0,1	0,5	4,4	7,8	4,1	0,3	0,6	21,9
Habitats riverains Herbacées méso		20,7	3,2	2,0		22,6	37,2	4,4	5,4	21,9	158,4
Habitats riverains Steppes		2,7	1,1	0,3	0,0	8,5	11,8	0,2	0,3	5,9	34,3
Total 2021	427,1	383,9	12,6	215,2	109,5	257,8	618,5	22,6	39,7	70,1	2156,8

BASSE VALLEE DE L'AIN	Espaces artificialisés				Habitats riverains						Total 1985
	Eaux (étangs, canaux,...)	Cultures	Plantations ligneux	Autres milieux arti.	Eaux (courantes)	Bois durs	Bois tendres	Herbacées hygro	Herbacées méso	Steppes	
Eaux (étangs, ...)	10,5			5,0		2,7			0,3		18,5
Espaces artificialisés Cultures	11,5	50,0	0,4	8,5		1,6	11,2	2,2	0,2	3,0	91,2
Espaces artificialisés Plantations ligneux								0,0			0,0
Espaces artificialisés Autres milieux arti.	4,7	0,7		27,3		0,0	9,3		0,4	0,8	43,4
Habitats riverains Eaux (courantes)		2,8	1,4	0,3	78,3	11,9	46,4	6,7		2,2	150,4
Habitats riverains Bois durs		11,9	5,2	0,2	20,7	239,6	60,4	6,8	5,2	75,5	446,6
Habitats riverains Bois tendres		7,7	2,2	0,7	23,5	92,1	69,9	7,2	1,0	44,2	260,4
Habitats riverains Herbacées hygro		1,9		0,1	4,7	6,8	23,3	5,2	1,2	0,2	44,7
Habitats riverains Herbacées méso		0,8	1,4		4,5	30,5	5,0	0,8	1,2	25,3	85,2
Habitats riverains Steppes		1,3	0,2		0,2	6,4	0,0	2,7		13,2	26,3
Total 2005	53,1	61,1	1,7	93,6	133,4	410,5	207,4	29,6	12,3	163,9	1166,6

RN DU HAUT-RHONE	Espaces artificialisés				Habitats riverains						Total 1978
	Eaux (étangs, canaux,...)	Cultures	Plantations ligneux	Autres milieux arti.	Eaux (courantes)	Bois durs	Bois tendres	Herbacées hygro	Herbacées méso	Steppes	
Eaux (étangs, ...)											
Espaces artificialisés Cultures		12,1	51,7	1,7		3,6	39,8	8,6	24,1	3,8	146,8
Espaces artificialisés Plantations ligneux		0,2	22,1	0,8		1,5	5,5	6,8	5,7	0,4	43,0
Espaces artificialisés Autres milieux arti.				0,0							0,0
Habitats riverains Eaux (courantes)		0,0	20,6	2,6	259,0	31,6	40,7	24,3	1,2	1,3	381,2
Habitats riverains Bois durs		2,5	101,9	3,2	16,7	249,1	19,9	25,1	1,2	1,7	421,3
Habitats riverains Bois tendres		3,5	172,8	4,4	50,8	189,4	127,4	59,6	2,7	3,9	614,6
Habitats riverains Herbacées hygro		0,0	10,4	0,1	13,4	6,2	11,2	7,7	0,3	0,0	49,4
Habitats riverains Herbacées méso											
Habitats riverains Steppes											
Total 2018		18,3	379,5	12,8	345,0	521,5	214,6	146,4	9,6	8,5	1656,3

Annexe 2.4a – Estimation (Estimate (\pm SE)) et intervalles de confiance (95% CI) pour chaque variable utilisée pour prédire les variations des valeurs moyennes (CWM) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime) des communautés. En gras : intervalle de confiance à 95% des coefficients excluant 0.

Paramètres	Humidité du sol (CWM)		Lumière (CWM)		Nutriment (CWM)	
	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)
Longitude	0.463 (\pm0.065)	(0.335; 0.590)	-0.285 (\pm0.035)	(-0.354; -0.217)	0.443 (\pm0.062)	(0.320; 0.565)
Date	-0.295 (\pm0.118)	(-0.526; -0.064)	-0.272 (\pm0.063)	(-0.397; -0.148)	0.120 (\pm 0.113)	(-0.101; 0.342)
Dénivelé	-0.396 (\pm0.094)	(-0.580; -0.211)	0.022 (\pm 0.043)	(-0.062; 0.105)	-0.140 (\pm 0.080)	(-0.296; 0.016)
Distance	-0.112 (\pm 0.083)	(-0.275; 0.052)	-0.015 (\pm 0.051)	(-0.114; 0.085)	-0.094 (\pm 0.083)	(-0.256; 0.068)
Epaisseur de sol	0.094 (\pm 0.077)	(-0.056; 0.245)	-0.241 (\pm0.039)	(-0.319; -0.164)	0.352 (\pm0.069)	(0.217; 0.487)
Texture	-0.217 (\pm0.086)	(-0.386; -0.049)	0.167 (\pm0.042)	(0.084; 0.250)	-0.211 (\pm0.078)	(-0.365; -0.058)
Date*Elevation	0.204 (\pm 0.118)	(-0.028; 0.435)	-0.001 (\pm 0.070)	(-0.138; 0.136)	0.111 (\pm 0.120)	(-0.125; 0.346)
Date*Distance	0.100 (\pm 0.125)	(-0.144; 0.345)	0.085 (\pm 0.070)	(-0.052; 0.222)	-0.114 (\pm 0.120)	(-0.350; 0.121)
Date*Epaisseur	-0.048 (\pm 0.125)	(-0.293; 0.197)	-0.030 (\pm 0.064)	(-0.155; 0.094)	0.012 (\pm 0.113)	(-0.210; 0.235)
Date*Texture	0.135 (\pm 0.123)	(-0.106; 0.377)	0.029 (\pm 0.067)	(-0.103; 0.160)	0.098 (\pm 0.119)	(-0.135; 0.331)

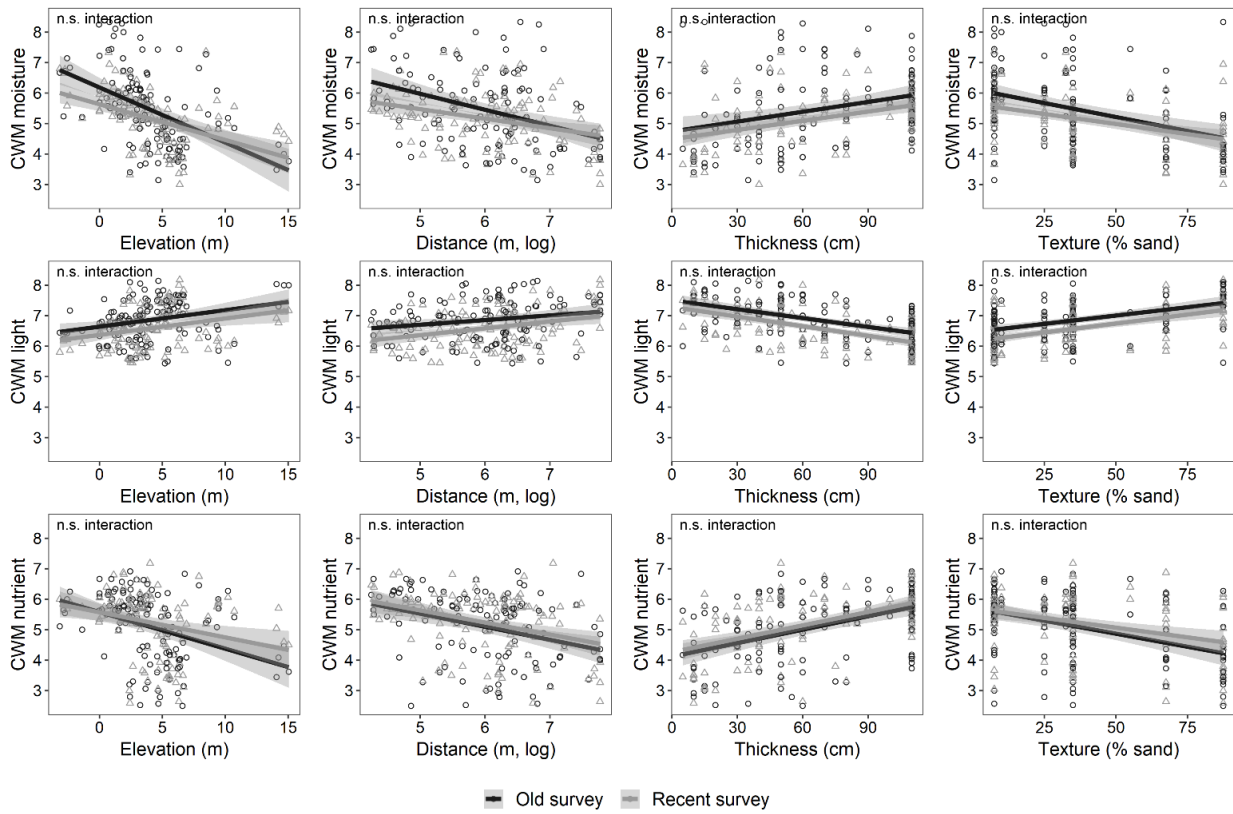
Paramètres	Compétitive (CWM)		Stress-tolérante (CWM)		Rudérale (CWM)	
	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)
Longitude	2.289 (\pm0.433)	(1.440; 3.138)	-1.423 (\pm0.652)	(-2.700; -0.146)	-0.408 (\pm 0.509)	(-1.405; 0.590)
Date	1.730 (\pm0.786)	(0.190; 3.270)	-2.772 (\pm1.018)	(-4.768; -0.776)	1.035 (\pm 0.883)	(-0.695; 2.765)
Dénivelé	-1.075 (\pm0.525)	(-2.104; -0.046)	-0.452 (\pm 0.632)	(-1.690; 0.787)	1.520 (\pm0.561)	(0.419; 2.620)
Distance	-1.348 (\pm0.529)	(-2.385; -0.310)	-1.892 (\pm0.838)	(-3.534; -0.250)	3.176 (\pm0.714)	(1.777; 4.575)
Epaisseur de sol	2.507 (\pm0.516)	(1.495; 3.520)	-1.368 (\pm 0.754)	(-2.845; 0.109)	-1.039 (\pm 0.597)	(-2.209; 0.131)
Texture	-1.929 (\pm0.504)	(-2.917; -0.940)	0.500 (\pm 0.677)	(-0.828; 1.827)	1.432 (\pm0.598)	(0.259; 2.605)
Date*Elevation	0.453 (\pm 0.840)	(-1.194; 2.100)	-0.072 (\pm 1.042)	(-2.113; 1.970)	-0.374 (\pm 0.910)	(-2.158; 1.410)
Date*Distance	-0.282 (\pm 0.834)	(-1.917; 1.353)	2.821 (\pm1.024)	(0.814; 4.829)	-2.546 (\pm0.884)	(-4.278; -0.814)
Date*Epaisseur	0.685 (\pm 0.787)	(-0.859; 2.228)	-1.424 (\pm 1.018)	(-3.419; 0.572)	0.748 (\pm 0.920)	(-1.055; 2.550)
Date*Texture	-0.062 (\pm 0.818)	(-1.665; 1.542)	0.774 (\pm 1.039)	(-1.263; 2.810)	-0.712 (\pm 0.913)	(-2.502; 1.078)

Annexe 2.4b – Estimation (Estimate (\pm SE)) et intervalles de confiance (95% CI) pour chaque variable utilisée pour prédire les variations des valeurs de dispersion (FDis) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) et des stratégies écologiques (valeurs de Grime) des communautés. En gras : intervalle de confiance à 95% des coefficients excluant 0.

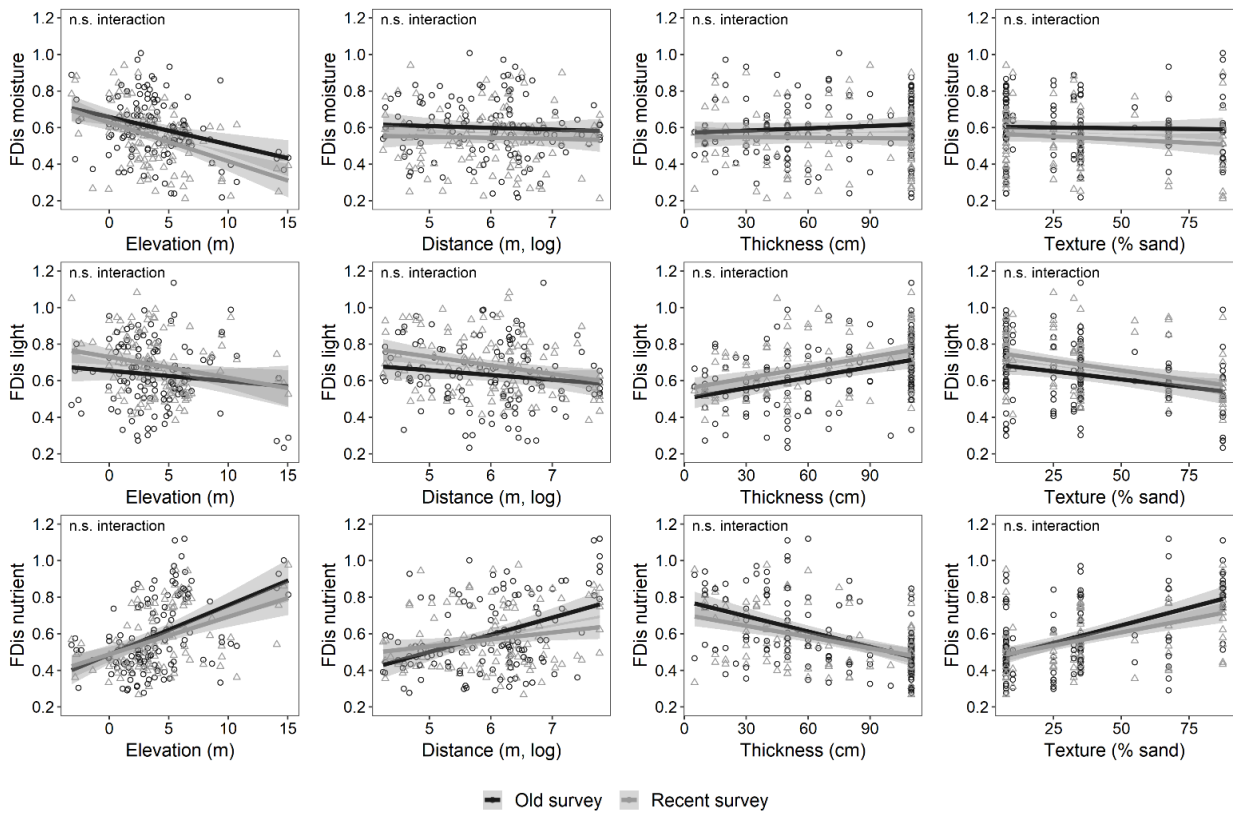
Parameters	Humidité du sol (FDis)		Lumière (FDis)		Nutriment (FDis)	
	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)
Longitude	0.011 (\pm 0.011)	(-0.010; 0.033)	0.047 (\pm0.011)	(0.025; 0.068)	-0.080 (\pm0.011)	(-0.101; -0.059)
Date	-0.058 (\pm0.020)	(-0.097; -0.019)	0.061 (\pm0.020)	(0.021; 0.100)	-0.024 (\pm 0.019)	(-0.061; 0.013)
Dénivelé	-0.052 (\pm0.014)	(-0.079; -0.025)	0.004 (\pm 0.014)	(-0.024; 0.031)	0.048 (\pm0.013)	(0.022; 0.074)
Distance	0.007 (\pm 0.013)	(-0.019; 0.033)	0.008 (\pm 0.016)	(-0.023; 0.039)	0.054 (\pm0.016)	(0.023; 0.084)
Epaisseur de sol	-0.009 (\pm 0.014)	(-0.037; 0.019)	0.055 (\pm0.012)	(0.030; 0.079)	-0.060 (\pm0.014)	(-0.088; -0.032)
Texture	0.005 (\pm 0.014)	(-0.022; 0.033)	-0.026 (\pm 0.013)	(-0.052; 0.000)	0.061 (\pm0.014)	(0.033; 0.089)
Date*Elevation	-0.022 (\pm 0.020)	(-0.061; 0.017)	-0.018 (\pm 0.021)	(-0.060; 0.023)	-0.022 (\pm 0.019)	(-0.059; 0.016)
Date*Distance	-0.005 (\pm 0.021)	(-0.046; 0.036)	-0.028 (\pm 0.021)	(-0.070; 0.013)	-0.058 (\pm0.019)	(-0.097; -0.020)
Date*Epaisseur	-0.022 (\pm 0.021)	(-0.063; 0.019)	-0.007 (\pm 0.020)	(-0.046; 0.033)	0.027 (\pm 0.019)	(-0.010; 0.064)
Date*Texture	-0.018 (\pm 0.021)	(-0.059; 0.023)	-0.009 (\pm 0.021)	(-0.050; 0.032)	-0.027 (\pm 0.019)	(-0.064; 0.010)

Parameters	Compétitive (FDis)		Stress-tolérante (FDis)		Rudérale (FDis)	
	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)	Estimate (\pm SE)	(95% CI)
Longitude	-0.057 (\pm0.010)	(-0.077; -0.037)	-0.031 (\pm0.010)	(-0.051; -0.011)	-0.002 (\pm 0.012)	(-0.025; 0.022)
Date	-0.019 (\pm 0.017)	(-0.052; 0.015)	0.039 (\pm0.018)	(0.004; 0.073)	0.077 (\pm0.021)	(0.035; 0.119)
Dénivelé	0.020 (\pm 0.012)	(-0.003; 0.043)	0.030 (\pm0.012)	(0.007; 0.053)	0.050 (\pm0.013)	(0.024; 0.076)
Distance	-0.008 (\pm 0.011)	(-0.030; 0.013)	0.015 (\pm 0.013)	(-0.011; 0.040)	0.063 (\pm0.018)	(0.027; 0.098)
Epaisseur de sol	-0.025 (\pm0.011)	(-0.046; -0.004)	-0.006 (\pm 0.014)	(-0.033; 0.021)	-0.008 (\pm 0.014)	(-0.036; 0.019)
Texture	0.016 (\pm 0.011)	(-0.005; 0.037)	0.022 (\pm 0.014)	(-0.006; 0.050)	0.034 (\pm0.014)	(0.007; 0.062)
Date*Elevation	-0.017 (\pm 0.017)	(-0.051; 0.017)	-0.016 (\pm 0.018)	(-0.051; 0.018)	-0.009 (\pm 0.021)	(-0.051; 0.033)
Date*Distance	0.000 (\pm 0.017)	(-0.034; 0.034)	-0.022 (\pm 0.018)	(-0.057; 0.013)	-0.055 (\pm0.022)	(-0.097; -0.013)
Date*Epaisseur	0.008 (\pm 0.017)	(-0.026; 0.041)	0.029 (\pm 0.018)	(-0.006; 0.064)	0.015 (\pm 0.022)	(-0.028; 0.059)
Date*Texture	-0.002 (\pm 0.017)	(-0.035; 0.032)	-0.030 (\pm 0.018)	(-0.065; 0.005)	-0.014 (\pm 0.022)	(-0.057; 0.029)

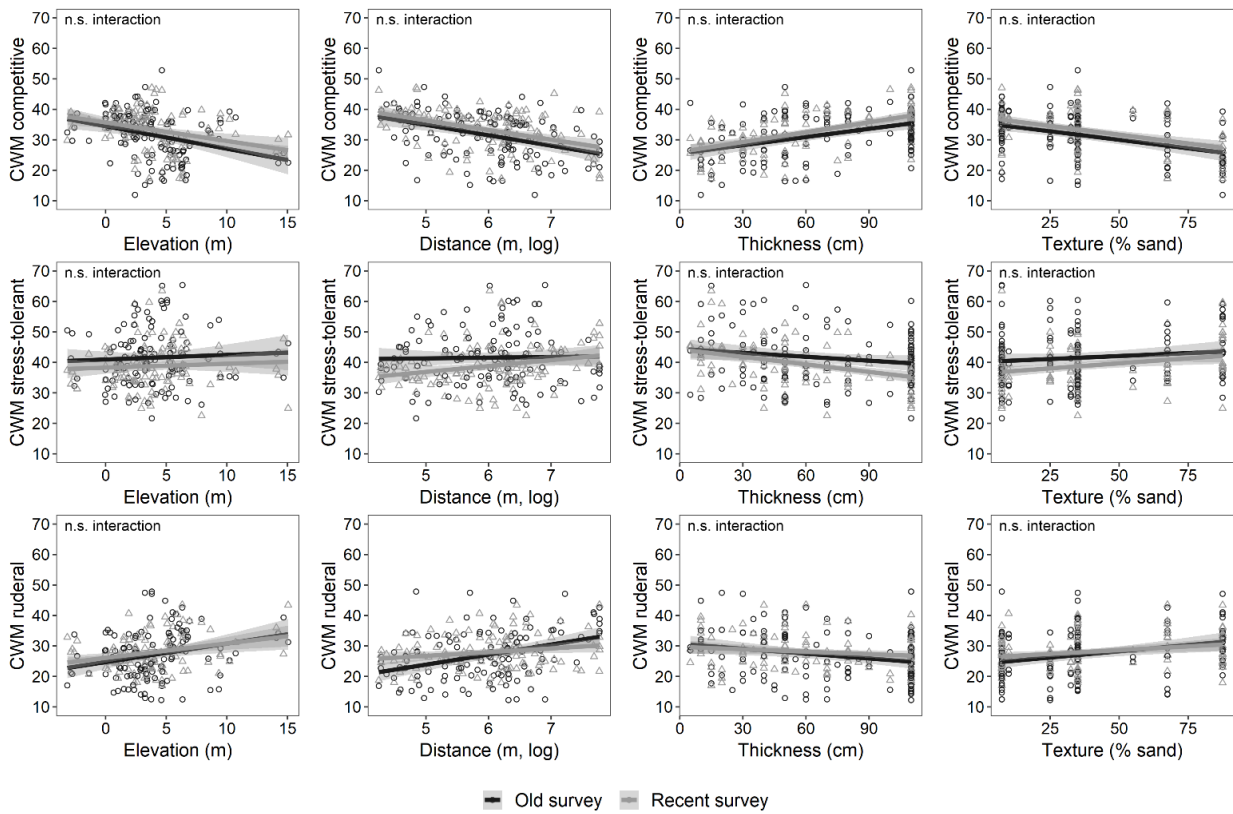
Annexe 2.5a - Variation de la moyenne (CWM) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) sur les variables de sol et de connectivité entre les relevés anciens et récents
 (n.s. interaction = interaction variable environnementale X date non significative)



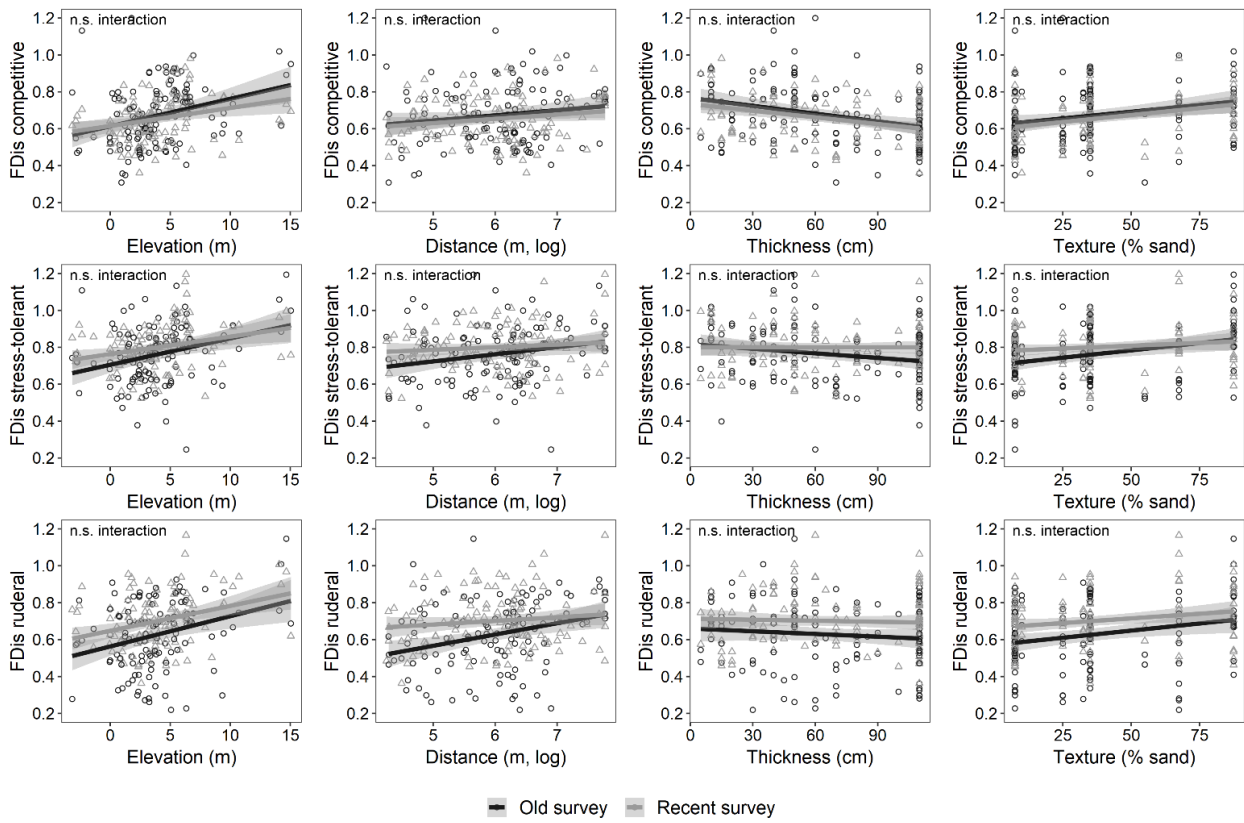
Annexe 2.5b – Variation de la moyenne (CWM) des stratégies écologiques (valeurs de Grime) sur les variables de sol et de connectivité entre les relevés anciens et récents



Annexe 2.5c - Variation des valeurs de dispersion (FDIs) des préférences écologiques (valeurs d'Ellenberg) sur les variables de sol et de connectivité entre les relevés anciens et récents



Annexe 2.5d – Variation de la moyenne (CWM) des stratégies écologiques (valeurs de Grime) sur les variables de sol et de connectivité entre les relevés anciens et récents



ANNEXE 3.1
Rapport de stage Héloïse DUC

Sorbonne Université - Master 1 Environnement : dynamiques des territoires et des sociétés (EDTS), parcours Géodynamiques des Espaces Présents et Passés (GEODEP)



Gestion des renouées asiatiques par le génie végétal : retour d'expériences



Héloïse DUC

Tutrice : Fanny DOMMANGET (Irstea)

Enseignant référent : Delphine GRAMOND

Soutenance prévue le 25/06/2019

Remerciements

Plusieurs personnes ont contribué à rendre mon stage très intéressant sur le plan personnel et humain. Je tiens à remercier mon encadrante, Fanny DOMMANGET, pour son accueil chaleureux, ses conseils précieux, et sa disponibilité. Ses remarques pertinentes, associées aux relectures attentives de Delphine GRAMOND et d'André EVETTE m'ont beaucoup fait progresser sur le plan des connaissances comme sur celui de la méthode. Isabelle ARPIN et Manon ALLIBE, en me guidant dans la conduite des entretiens téléphoniques et Vincent BRETON, en me fournissant une carte du bassin versant amont du Rhône, ont eux aussi été d'une grande aide dans l'élaboration de ce mémoire. Ce travail a aussi bénéficié des formations que j'ai suivies, et de la disponibilité de l'équipe du centre IRSTEA de Grenoble ; je pense en particulier à Nadège POPOFF, qui a pris le temps de relire ma bibliographie, ainsi que de me guider dans les locaux et au travers des différents outils informatiques du centre malgré l'approche de son comité de thèse. Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui nous ont accordé du temps lors des entretiens et des visites de terrain ; ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans les informations qu'ils nous ont communiquées.

Abstract

Asian knotweeds invade riparian ecosystems worldwide, causing various but mostly harmful ecological and socio-economic impacts. To date, no adequate management solution has been found. This study, which was conducted within the upstream part of the Rhône river watershed, investigates the suitability (the degree to which agents' aims and expectations are met) of plant-based engineering techniques for the management of said deleterious impacts. Plant-based engineering structures and projects were listed through phone interviews, and gathered into two databases. Structures characteristics and efficiency, as well as the degree to which plant-based engineering techniques met the interviewees' expectations were then quantitatively assessed. The suitability of plant-based engineering techniques for the management of Asian knotweeds' harmful impacts is mixed: they are rather efficient, but not fully satisfactory. This study highlights issues yet to solve, and paves the way for more refined conclusions on plant-based engineering techniques and their suitability.

Keywords: asian knotweeds, riparian ecosystems, plant-based engineering techniques, suitability, Rhône river

Résumé

Les renouées asiatiques ont envahi de nombreux cours d'eau à l'échelle mondiale, une invasion dont les effets écologiques et socio-économiques sont majoritairement délétères. Nous ne disposons cependant pas encore de méthodes adéquates pour gérer ce phénomène. Cette étude évalue la pertinence (adéquation aux attentes et aux objectifs des acteurs) du génie végétal en tant qu'outil de gestion des effets négatifs des renouées asiatiques, au sein du bassin versant amont du Rhône. Nous avons recensé des ouvrages et des projets de génie végétal par le biais d'entretiens téléphoniques. Les données ainsi collectées ont ensuite été rassemblées dans deux bases de données, qui ont été le support d'une analyse quantitative portant sur les caractéristiques et l'efficacité des ouvrages, ainsi que sur la satisfaction des enquêtés vis-à-vis du génie végétal. La pertinence du génie végétal semble en demi-teinte, entre des résultats plutôt prometteurs et des attentes qui ne sont pas complètement satisfaites. Nos conclusions mettent en évidence des difficultés à résoudre et esquissent de possibles améliorations, une voie à suivre pour obtenir une évaluation plus fine du génie végétal et de sa pertinence.

Mots-clés : renouées asiatiques, milieux rivulaires, génie végétal, pertinence, Rhône

Table des matières

<u>I)Introduction : Comprendre et gérer les invasions biologiques, un projet Irstea et Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.....</u>	<u>3</u>
1. Quand y-a-t-il invasion et quand y-a-t-il envahisseur ? Plusieurs courants de pensée.....	3
2. Les invasions biologiques, une préoccupation croissante depuis la seconde moitié du XX e siècle.....	4
3. Contexte général du stage : un partenariat entre Irstea et l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse sur la thématique des invasions biologiques.....	4
4. Présentation de notre cas d'étude : les renouées asiatiques.....	5
<u>II)État des connaissances et présentation du cadre de l'étude : À la recherche des effets des renouées asiatiques, et du mode de gestion le plus adapté.....</u>	<u>7</u>
1) Les renouées asiatiques : quels effets, quelle menace ?.....	7
1.1) Des impacts écologiques qui ne sont pas exclusivement négatifs.....	7
1.2 Les effets socio-économiques des renouées asiatiques : entre flou et consensus.....	7
1.3) Ambivalences et incertitudes...mais plus de mal que de bien.....	8
2) Comment gérer les renouées asiatiques ? Expérimentations et quête de LA solution.....	9
2.1) Gérer les renouées asiatiques : plusieurs opérations, mais des objectifs et des défis communs.....	9
2.2) Des expérimentations aux résultats insuffisamment satisfaisants.....	9
2.3) L'évolution des demandes sociétales conduit à l'évolution des méthodes de gestion.....	10
3) Le génie végétal, une méthode avec du potentiel et des zones d'ombre.....	11
3.1) Qu'est-ce que le génie végétal ? Principes et principales techniques.....	11
3.2) Des méthodes qui présentent des avantages pour la gestion des renouées asiatiques en milieu rivulaire.....	11
3.3)... Mais aussi des limites.....	12
Bilan : une exploration à poursuivre.....	12
<u>III)Matériels et méthodes : Constitution de bases de données d'opérations de génie végétal et analyse quantitative.....</u>	<u>13</u>
1) Revue bibliographique et recensement d'opérations de génie végétal.....	13
2) Entretiens téléphoniques et visites de sites : constitution de bases de données sur le génie végétal.....	15
3) Analyse quantitative des jeux de données.....	15
<u>IV)Résultats et interprétation : Portrait de la gestion des renouées asiatiques par le génie végétal dans le bassin versant amont du Rhône.....</u>	<u>16</u>
1) Conduite des entretiens.....	16
2) Analyse quantitative des jeux de données.....	16
2.1) Constitution des jeux de données.....	16
2.2) Description des ouvrages recensés (base de données B).....	17
2.2.1) Techniques employées.....	17

2.2.2) Nombre de techniques employées et associations de techniques.....	18
2.2.3) Entretien des ouvrages.....	20
2.3) Évaluation de l'efficacité des ouvrages recensés.....	21
2.3.1) Efficacité perçue globale du génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques.....	22
2.3.2) Effet de l'âge.....	23
2.3.3) Effets des conditions de réalisation des ouvrages.....	23
2.3.4) Effets de l'entretien des ouvrages.....	26
2.4) Le génie végétal, une méthode jugée satisfaisante ? (base de données A).....	28
2.4.1) Attentes par rapport au génie végétal.....	28
2.4.2) Facteurs d'insatisfaction.....	29
2.4.3) Facteurs de satisfaction.....	30
<u>V) Bilan/propositions : Plusieurs constats, et des pistes d'amélioration.....</u>	<u>31</u>
1) Principaux résultats de l'analyse quantitative.....	31
2) Des améliorations possibles.....	32
<u>VI) Conclusion : Des analyses qui mettent en évidence la pertinence en demi-teinte du génie végétal, et des perspectives.....</u>	<u>35</u>
1) Un travail, plusieurs étapes.....	35
2) Pertinence en demi-teinte du génie végétal, et perspectives.....	35
<u>VII) Bibliographie.....</u>	<u>36</u>
<u>VIII) Sitographie.....</u>	<u>37</u>

I) Introduction : Comprendre et gérer les invasions biologiques, un projet Irstea et Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

« Enfin, mes chers lecteurs, c'est une plante superbe que cette Renouée du Japon, mais d'une voracité, oh !
Combien ! »

« La Joie de la maison : journal hebdomadaire illustré », 12 avril 1894, p. 5.¹

Cette citation, tirée du journal hebdomadaire illustré « La Joie de la maison », pourrait à elle seule résumer l'histoire des invasions biologiques et des tensions auxquelles elles sont associées : l'introduction volontaire ou involontaire de nouvelles espèces sur un territoire a ses utilités (ici, la « beauté »), mais aussi ses désagréments, ici la « voracité » spatiale des espèces introduites.

1. Quand y-a-t-il invasion et quand y-a-t-il envahisseur ? Plusieurs courants de pensée

Qu'est-ce qu'une invasion biologique? Il n'existe pas de véritable consensus sur la question. Deux grands courants de pensée se dégagent cependant parmi les scientifiques qui étudient ce phénomène : celui des « conservationnistes » et celui des « écosystémistes » (Albouy, 2017). Les seconds considèrent l'invasion biologique comme un déplacement géographique ; la définition donnée par Williamson dans son ouvrage *Biological Invasions* le montre². Ce déplacement est assorti d'une expansion démographique, c'est-à-dire que l'espèce introduite survit et se reproduit lors d'une phase de naturalisation. Les « conservationnistes » ajoutent d'autres critères à cette définition : pour qu'il y ait invasion biologique, il faut non seulement que l'espèce prospère dans son nouvel espace, mais aussi qu'elle cause ce faisant des dommages, comme l'indique la définition d'espèce exotique envahissante donnée par l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN)³.

L'invasion est donc non seulement biologique (implantation de nouvelles espèces, modifications des interactions etc...), mais aussi géographique (déplacement) et sociétale (notions de qualités et de dommages) (Barbault et Atramentowicz, 2010), et elle est de plus influencée par la durée. Certaines espèces néophytes (introduites après 1500) (Fried, 2012) sont en effet perçues au bout d'un certain temps comme des espèces autochtones, au même titre que les archaeophytes (introduites avant 1500) (*Ibid.*). Il y a donc invasion biologique dès lors qu'une espèce (qualifiée d'espèce exotique envahissante) s'installe durablement et s'étend dans un territoire dans lequel elle est perçue comme nouvelle, et déborde les usages qui lui étaient assignés dans ce territoire. L'invasion est associée à un espace, une société et un temps donnés.

1 Source: BNF Gallica. Lien précis : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k54804899/f14.image.r=%22renou%C3%A9e%20du%20Japon%22?rk=214593;2>, consulté le 18/04/2019

2 « [u]ne invasion biologique survient quand un organisme vivant, quel qu'il soit, arrive quelque part hors de son aire de répartition initiale » (Williamson, 1996, d'après Albouy, 2017)

3 « [u]ne espèce exotique envahissante est une espèce allochtone dont l'introduction par l'Homme (volontaire ou fortuite), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espaces naturels avec des conséquences écologiques ou économiques ou sanitaires négatives » (UICN 2000, Mc.Neely et al. 2001, McNeely 2001) », source : <https://inpn.mnhn.fr/programme/especes-exotiques-envahissantes> (consulté le 18/04/2019)

2. Les invasions biologiques, une préoccupation croissante depuis la seconde moitié du XX^e siècle

Le déplacement d'espèces d'un espace à un autre n'est pas à proprement parler une nouveauté. Lors des grandes navigations de la Renaissance, des plantes et des animaux ont été transférés (volontairement ou involontairement) d'un point à l'autre du globe (Lewis et Maslin, 2015). L'accession de tels déplacements au rang de préoccupation mondiale est cependant récente. L'ouvrage de Charles Elton intitulé The Ecology of Invasions by Animals and Plants, paru en 1958, a marqué le départ de l'intérêt scientifique pour la question des invasions biologiques (Barbault et Atramentowicz, 2010; Albouy, 2017). Cette question a ensuite fait l'objet de travaux scientifiques, tels que l'ouvrage de Williamson cité plus haut, et a attiré l'attention d'organismes internationaux. Un groupe de travail sur les invasions biologiques a ainsi été créé en 1982 par le Comité scientifique de l'Environnement, une organisation non-gouvernementale (ONG) scientifique qui collabore avec l'UNESCO (*Ibid.*).

Les invasions biologiques constituent à l'heure actuelle une préoccupation pour des acteurs divers, à plusieurs échelles. En France par exemple, les espèces exotiques envahissantes mobilisent des acteurs locaux, tels que les syndicats de rivière, aussi bien que des acteurs rattachés aux échelles départementale (conseils départementaux) et régionale (conseils régionaux), et des acteurs qui agissent à l'échelle d'un bassin versant (agences de l'eau) (Cottet *et al.*, 2012) ou encore à l'échelle nationale (ministères, Agence Française pour la Biodiversité). Plusieurs questionnements se dégagent des travaux scientifiques et de littérature grise produits sur ce sujet, notamment : 1) Quels sont les effets des invasions biologiques ? 2) Peut-on les gérer et si oui, comment ?, et 3) un questionnement d'ordre éthique, qui porte sur la manière dont les scientifiques et la société en général doivent se positionner par rapport à ce phénomène.

3. Contexte général du stage : un partenariat entre Irstea et l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse sur la thématique des invasions biologiques

L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et Irstea ont pour projet d'apporter des éléments de réponse à certaines de ces interrogations, par le biais du projet « Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires ». Ce projet a débuté en 2019 et devrait s'étendre jusqu'en 2021. Son axe directeur est de déterminer si l'expansion de plantes exotiques envahissantes sur les berges des cours d'eau mène à une évolution « réelle et inéluctable »⁴ des communautés végétales rivulaires. Il s'agit donc de dégager des tendances de colonisation et de transformation (dans la durée) des communautés végétales rivulaires, puis de déterminer si et à quel point ces transformations affectent les milieux, et de pointer d'éventuelles solutions à ces impacts.

4 Voir les « Annexes », document n°1

Irstea et l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC) ont choisi d'étudier ces thématiques au sein du bassin versant amont du Rhône⁵ (partie française), qui est délimité par le sud des Vosges, le massif du Vercors et le nord-est du Massif Central (Monts du Lyonnais et du Vivarais, est de la plaine du Forez). Il englobe donc le haut Rhône et le moyen Rhône français (Dufour, 2005). Cet espace présente une grande diversité de milieux et de paysages, du point de vue du relief (espaces montagneux, de colline et de plaine) (*Ibid.*), de l'occupation des sols (grands centres urbains, espaces peu fréquentés ou fréquentés uniquement de manière saisonnière), et de son réseau hydrographique, composé du Rhône et de ses affluents, et placé sous trois types d'influences : une « influence montagnarde et nivo-glaciaire », dans le cas de l'Arve par exemple, « une influence subcontinentale de plaine » et, dans la partie sud de notre zone d'étude, un début d'« influence méditerranéenne » (*Ibid.*). Ces visages contrastés ont donné lieu à un envahissement hétérogène du bassin versant amont du Rhône par les plantes exotiques envahissantes. Tous les secteurs ne sont pas envahis au même degré, ou de la même manière (en termes de cortèges d'espèces, d'effets et d'enjeux, ou de types de lieux concernés). Le cas des renouées asiatiques, auxquelles un pan de ce projet et ce travail sont exclusivement consacrés, le montre.

4. Présentation de notre cas d'étude : les renouées asiatiques

Les renouées asiatiques sont considérées comme une des espèces exotiques envahissantes problématiques à l'échelle du bassin versant amont du Rhône. Sa partie amont, notre zone d'étude, est plus touchée que la partie aval, et les principaux foyers semblent se situer dans le département de l'Isère⁶.

Le groupe des renouées asiatiques se compose de trois espèces vivaces, *Reynoutria japonica* Hoult. (Renouée du Japon), *Reynoutria sachalinensis* ([F.Schmidt Petrop.], Nakai) (Renouée de Sakhaline) et *Reynoutria x bohémica* (Chrtek&Chrtkova) (Renouée de Bohême), l'hybride entre ces deux espèces. Elles forment un continuum morphologique (Tableau 1), et sont difficiles à distinguer; on parle donc d'un complexe d'espèces. Les renouées asiatiques sont dotées d'une grande capacité d'expansion et de compétition. Leur capacité à se reproduire végétativement *via* des fragments de leur rhizome ou de leur tige facilite leur dissémination (Child et Wade, 2000). Cette capacité de dispersion est d'ailleurs accrue, dans certains cas, par les caractéristiques géomorphologiques des espaces où elles s'implantent. Les corridors fluviaux constituent en effet un des espaces d'implantation préférentielle des renouées asiatiques, et les crues accélèrent leur propagation en dispersant des fragments de rhizomes et des propagules (Boyer, 2007). Les renouées asiatiques forment, au terme de leur installation, de denses peuplements monospécifiques: elles sécrètent des substances allélopathiques *via* leurs rhizomes, et croissent plus tôt dans l'année et plus vite que les autres plantes rivulaires, ce qui leur confère un avantage compétitif en termes d'utilisation des ressources (Child et Wade, 2000).

5 Une carte du bassin versant amont du Rhône (partie française) est disponible dans les « Annexes » (document n°3).

6 Cf rapport « Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE (réf. 062) », tome 1, vol. 2, Concept.Cours.d'EAU SCOP et TERE0 (2016), p.76

	<i>Reynoutria japonica</i>	<i>Reynoutria sachalinensis</i>	<i>Reynoutria x bohemica</i>
Croissance	Rapide, début du printemps	Rapide, début du printemps	Rapide, début du printemps
Hauteur	1-3 m	4-5 m	2,5-3 m
Tiges	Ronde, creuse, ramifiée, environ deux cm de diamètre, en général rouge foncée	Ronde, creuse, ramifiée, environ deux cm de diamètre, verte	Ronde, creuse, ramifiée, environ deux cm de diamètre, taches rouge foncé plus ou moins nombreuses
Feuilles	Large, alternes, base tronquée, limbe arrondi se terminant en pointe, longues de 15 cm environ, nervures (face intérieure) glabres	Longues, alternes, base cordiforme, limbe ovale se terminant en pointe, bords ondulés longues de 25 à 40 cm (environ), nervures (face intérieure) très poilues, poils longs	Limbe ovale se terminant en pointe, base cordiforme arrondie, bords ondulés, longues de 20 à 28 cm (environ), nervures (face intérieure) peu poilues à poilues, poils droits et courts
Fleurs	Blanc crème, faisceaux de grappes de 4-5 pièces florales	Blanc verdâtre ou blanc crème, faisceaux de grappes de 4-5 pièces florales	Blanches, faisceaux de grappes de 4-5 pièces florales
Floraison	Fin de l'été	Fin de l'été	Fin de l'été
Fruits	Akène, quelques millimètres (2 sur 4), brun foncé, brillant	Akène, quelques millimètres (3-4,5 mm de long), brun foncé, brillant	Akène, brun foncé, brillant
Système souterrain	Rhizomes, jusqu'à 2m de profondeur et 7m d'extension latérale	Rhizomes	Rhizomes
Allélopathie	Oui	Oui	Oui

Tableau 1: Principales caractéristiques physiologiques et morphologiques des renouées asiatiques⁷

Introduites en Europe au milieu du XIXe siècle par P. F. Von Siebold, les renouées asiatiques ont d'abord servi d'ornement et de fourrage (Adam *et al.*, 2008; Child et Wade, 2000). Elles se sont cependant rapidement étendues hors des jardins, et sont devenues de plus en plus fréquentes dans les milieux rivulaires et rudéraux. Elles sont aujourd'hui classées parmi les cent espèces invasives les plus néfastes au monde par l'UICN (Lowe *et al.*, 2007), et représentent selon plusieurs acteurs une menace à gérer. Leur gestion est cependant difficile, et certains gestionnaires testent des méthodes issues du génie végétal pour tenter de contrôler leur développement et de réduire leurs impacts à l'échelle locale. Dans cette optique, il s'agit ici d'interroger la pertinence du génie végétal en tant qu'outil de gestion des effets indésirables des renouées asiatiques dans le bassin versant amont du Rhône.

⁷ **Sources** : CHILD Lois et WADE Max, 2000, *The Japanese knotweed manual. The Management and Control of an Invasive Alien Weed*, Packard Publishing Limited., s.l., 123 p., pages 4 à 29 ; FRIED Guillaume, 2012, *Guide des plantes invasives*, Belin., s.l., (coll. « Les guides des ... Fous de nature! »), 272 p., pages 238 à 241 ; VUILLEMENOT, 2016. *La flore invasive de Franche-Comté : la Renouée du Japon (Reynoutria japonica Houtt.), la Renouée de Sachaline (Reynoutria sachalinensis (F.Schmidt) Nakai), la Renouée de Bohême (Reynoutria x bohemica Chrtek & Chrtkova)*. 2 p. ; <http://fallopia.japonica.pagesperso-orange.fr/identifier.html> (consulté le 02/05/2019)

II) État des connaissances et présentation du cadre de l'étude : À la recherche des effets des renouées asiatiques, et du mode de gestion le plus adapté

Ce questionnement prend ses racines dans plusieurs constats. On dénonce souvent les effets délétères des renouées asiatiques, qui poussent à la mise en place de programmes de gestion. La réalité est cependant plus complexe : les renouées asiatiques ne peuvent pas être réduites au statut de menace, et leur gestion est un problème plus épineux qu'il n'y paraît. Le génie végétal, en tant que potentielle solution à ces deux défis, se doit donc d'être étudié plus avant.

1) Les renouées asiatiques : quels effets, quelle menace ?

Les renouées asiatiques sont très souvent présentées comme une menace, comme le montre (entre autres documents) la publication de l'UICN (*Ibid.*) citée plus haut. Ce constat n'est cependant pas suffisant. Quelle est cette menace, et à quel point est-elle réelle ?

1.1) Des impacts écologiques qui ne sont pas exclusivement négatifs

Les renouées asiatiques ont des impacts écologiques : elles affectent en effet les écosystèmes, dans la mesure où leur présence modifie leur composition et leur fonctionnement (Davis *et al.*, 2018; Lavoie, 2017; Child et Wade, 2000; Cottet *et al.*, 2015). Les renouées asiatiques entrent par exemple en compétition avec la flore locale, et sont la cause de la régression ou de la disparition de certaines plantes auparavant implantées au sein des milieux rivulaires (*Ibid.*; Lavoie, 2017). Elles modifient aussi les propriétés chimiques des sols (la production et le cycle des nutriments notamment) par la production abondante de litière (Child et Wade, 2000; Lavoie, 2017). Au-delà de ce constat global, une approche plus détaillée permet cependant de révéler des trajectoires variées en fonction des sujets d'étude et des échelles pris en compte. Claude LAVOIE (*Ibid.*) relève des effets différents des renouées asiatiques en fonction des groupes d'organismes considérés, et au sein même de ces groupes d'organismes. Dans le cas des invertébrés par exemple, certains taxa (les escargots entre autres) sortent « perdants » (*Ibid.*) en cas d'invasion d'un site par les renouées asiatiques, tandis que d'autres, les organismes détritiformes, sont « vainqueurs » (*Ibid.*). Claude LAVOIE (*Ibid.*) conclut à l'issue de sa revue des impacts écologiques des renouées asiatiques que les effets en question sont majoritairement, mais pas exclusivement, négatifs.

1.2 Les effets socio-économiques des renouées asiatiques : entre flou et consensus

Les renouées asiatiques sont aussi dénoncées pour la manière dont elles affectent les activités des sociétés envahies et pour les coûts (de gestion en particulier) qu'elles génèrent, autrement dit pour leurs effets socio-économiques. Ces effets sont notamment évoqués dans la littérature grise, les plaquettes d'information ou les guides consacrés aux renouées asiatiques par exemple (Illustration 1). Les effets en question sont cependant admis, pas prouvés. On distingue deux types d'effets socio-économiques des

renouées asiatiques (Robinson *et al.*, 2017) : les effets socio-économiques directs (« affectent directement l’environnement des humains en modifiant la structure des constructions anthropiques ou naturelles »⁸), et indirects (induits par les effets directs, ou les coûts qui leur sont associés). Cette classification permet de dégager des thématiques récurrentes, les coûts de gestion élevés des renouées asiatiques entre autres. Des incertitudes et des désaccord subsistent cependant (*Ibid.*) sur la nature des impacts en question, et leur hiérarchisation : les phénomènes évoqués et l’importance qui leur est accordée varient en fonction des auteurs et des documents. Malgré ce manque d’études approfondies, et en dépit du fait que ce qu’on entend par « les effets socio-économiques des renouées asiatiques » demeure vague, il existe un consensus informulé sur le fait que ces effets sont surtout négatifs. Child et Wade (Child et Wade, 2000) mentionnent ainsi six effets socio-économiques positifs des renouées asiatiques, contre treize négatifs.

<p>Health and Social Impact Unknown.</p> <p>Economic Impact Prolific rhizome and shoot growth can damage foundations, walls, pavements, and drainage works, and causes flood hazards by increasing resistance to water flow and damaging flood prevention structures. Knotweeds are an excellent food source for honeybees. Young shoots are consumed in its native range and North America. Secondary compounds isolated from <i>F. japonica</i> include the anti-cancer phytoalexin resveratrol.</p> <p><i>Illustration 1: Extrait d'une fiche sur Reynoutria japonica élaborée par Petr Pyšek en 2006 dans le cadre du programme DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe)</i></p> <p><i>Les effets économiques évoqués sont très divers, à la fois en terme de domaines concernés (des infrastructures à la médecine en passant par l'alimentation) et en terme de nature (des effets négatifs, mais aussi des effets positifs). Quant aux effets sociaux, ils sont placés sous le sceau de l'incertitude (« unknown »).</i></p>
--

1.3) Ambivalences et incertitudes...mais plus de mal que de bien

L’analyse des effets des renouées asiatiques, sur le plan environnemental mais aussi sur le plan socio-économique, montre que l’uniformité n’est pas de mise. Les impacts des renouées asiatiques sont divers par bien des aspects : ils relèvent de plusieurs domaines, sont de natures différentes, et varient parfois en fonction des échelles ou des entités prises en compte. Ces résultats vont à l’encontre des généralisations, et plaident pour une approche au cas par cas. Davis et al. signalent par exemple (Davis *et al.*, 2018) que les

8 Citation originale : « directly affecting the human environment by physically altering either natural or human-made structures »

conclusions mises en évidence par leur étude⁹ sont en partie dépendantes du contexte spatial¹⁰. À cette variabilité des effets s'ajoutent des incertitudes persistantes (Lavoie, 2017; Davis *et al.*, 2018; Cottet *et al.*, 2015; Cottet *et al.*, 2018). Tous les impacts possibles des renouées asiatiques n'ont pas été étudiés, et toutes les études menées n'aboutissent pas à des résultats clairs ; dans plusieurs cas, des doutes subsistent. Les effets des renouées asiatiques d'un point de vue environnemental et socio-économiques sont donc, avant tout, ambivalents. Il semblerait cependant que les impacts négatifs soient plus nombreux que les impacts positifs.

Cette conclusion forme la base de la gestion des renouées asiatiques : les effets de cette invasion, bien qu'imparfaitement explorés, sont majoritairement perçus comme étant néfastes, d'où la nécessité de trouver des solutions pour préserver les sites menacés. Gérer les renouées asiatiques n'est cependant pas chose aisée, dans la mesure où les gestionnaires concernés et en particulier les « acteurs de l'eau » (*Ibid.*) doivent surmonter plusieurs défis et s'adapter aux évolutions des attentes et des représentations.

2) Comment gérer les renouées asiatiques ? Expérimentations et quête de LA solution

2.1) Gérer les renouées asiatiques : plusieurs opérations, mais des objectifs et des défis communs

« Gérer », « gestion » sont des termes qui ont plusieurs connotations : tous les acteurs ne les comprennent ou ne les emploient pas de la même manière (Dutartre, 2010). Dans le cas des renouées asiatiques, l'idée de gestion englobe en réalité plusieurs attentes et plusieurs types d'opérations. Les opérations de gestion des renouées asiatiques peuvent être réalisées en vue de trois buts : éradiquer les foyers de renouées asiatiques implantés sur un site ou sur un territoire, réduire leur emprise spatiale et leurs impacts négatifs, ou empêcher leur diffusion. Chaque attente est associée à différents types d'opérations, et à différents stades de l'invasion (Coquillart, 2005). Mireille BOYER¹¹ a par exemple signalé « qu'il est souvent trop tard pour agir » dès lors que les renouées asiatiques prolifèrent sur un tronçon de rivière (deuxième phase de l'invasion des milieux rivulaires). L'éradication est alors impossible, et seules des opérations qui visent à contenir la propagation des massifs sur le tronçon, *via* l'arrachage précoce par exemple, sont réalistes. La gestion des renouées asiatiques sous toutes ses formes est cependant confrontée aux mêmes défis : mettre en place des actions jugées satisfaisantes par le plus grand nombre d'acteurs

9 1) les renouées asiatiques augmentent la ressource florale disponible pour les insectes, et comblent un manque potentiel à la fin de l'été (cf floraison plus tardive que celle d'autres plantes) 2) les renouées asiatiques sont associées à une diversité entomologique et à une abondance des bourdons plus élevés

10 « The surrounding landscape and land use could influence not only whether a site becomes invaded, but also the response of these highly mobile insects to that invasion (Power et al. 2016). » (traduction : « le paysage environnant, de même que les usages de l'espace, peuvent avoir une influence non seulement sur le fait qu'un site soit envahi ou non, mais aussi sur la manière dont ces insectes très mobiles [les insectes pollinisateurs] réagissent face à l'invasion en question (Power et al. 2016) »)

11 Intervention intitulée « Cartographie des renouées du Japon sur le réseau hydrographique du bassin Rhône Méditerranée Corse (hors Saône-Doubs) », actes des Journées Techniques Nationales « Renouées », Besançon, 19 et 20 juin 2002

possibles, s'adapter aux particularités de chaque site, et trouver des méthodes permettant de réguler les renouées asiatiques malgré leur résistance et l'ampleur de leur diffusion. La gestion des renouées asiatiques est donc conditionnée par deux impératifs, qui se recoupent en partie, à savoir l'efficacité et la satisfaction.

2.2) Des expérimentations aux résultats insuffisamment satisfaisants

Cette multiplicité de conceptions de la gestion et de défis mène à de multiples expérimentations. Les méthodes testées par les gestionnaires pour réguler ou éradiquer les massifs de renouées asiatiques relèvent de plusieurs catégories (Child et Wade, 2000; Adam *et al.*, 2008; Barbault et Atramentowicz, 2010; Delbart *et al.*, 2012). On dénombre des méthodes mécaniques, manuelles (arrachage) ou reposant sur l'utilisation d'engins plus ou moins lourds (le fauchage ou le criblage-concassage¹² par exemple), mais aussi des méthodes chimiques (herbicides), et des méthodes biologiques, le pâturage par des ovins ou des caprins en particulier¹³. Les opérations de gestion effectivement mises en place varient principalement en termes de méthodologie, de contexte de réalisation, et d'entretien. Toutes ces opérations présentent cependant des points communs. Elles sont tout d'abord inscrites dans la durée. Très peu de méthodes de gestion des renouées asiatiques donnent des résultats immédiats, et certaines opérations de gestion sont associées à un suivi et/ou un entretien des sites traités (Child et Wade, 2000). Pour aboutir, ces opérations doivent être intégrées¹⁴ (Dutartre, 2010). Enfin, un constat s'impose : on ne peut le plus souvent que faire régresser les foyers de renouées asiatiques, très rarement les faire disparaître (Delbart *et al.*, 2012; Cottet *et al.*, 2018; Dutartre, 2010). L'efficacité des méthodes mises en place demeure donc partielle et incertaine, un phénomène pointé du doigt par les gestionnaires.

2.3) L'évolution des demandes sociétales conduit à l'évolution des méthodes de gestion

L'impératif d'efficacité des méthodes de gestion des renouées asiatiques n'est pas rempli à l'heure actuelle, il en va de même pour l'impératif de satisfaction. Les actions des gestionnaires à différentes échelles (tronçon de rivière, cours d'eau, bassin versant...) sont en partie modelées par des attentes politiques et sociales. La législation, en autorisant ou en interdisant certaines pratiques, nous renseigne par exemple sur ces attentes. Les gestionnaires doivent s'y conformer s'ils veulent remplir l'impératif de satisfaction évoqué plus haut. Ces attentes, cependant, ne sont pas fixes, et elles sont à l'heure actuelle en pleine évolution. Le cas des herbicides le montre. Ainsi, ils sont désignés dans l'ouvrage de Child et Wade comme la seule méthode de régulation des renouées asiatiques à être véritablement efficace, mais leur utilisation est aujourd'hui interdite sur une bande de largeur variable aux abords des cours d'eau (Bossard, 2015), l'un des espaces d'implantation préférentiel des renouées asiatiques. Ces évolutions dans les représentations¹⁵ (Cottet

12 Les termes de génie végétal sont définis dans un glossaire, inclus dans la partie « Annexes » de ce dossier (document n°10).

13 Le génie végétal constitue aussi une de ces catégories mais cet aspect sera détaillé plus tard. Dans la mesure où il s'agit du sujet de notre étude, une présentation plus fouillée que celle des autres méthodes était nécessaire.

14 c'est-à-dire qu'elles doivent prendre en compte les modalités de l'invasion pour chaque site, et les particularités du site en question

15 « une forme de connaissance socialement élaborée et partagée ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social » Cottet et al., 2018, citant Jodelet, 1989, p.53

et al., 2018) ont une influence sur le degré de satisfaction des gestionnaires eux-mêmes, et des autres acteurs concernés par la gestion des cours d'eau et des espèces invasives (riverains, élus, touristes...). Pour satisfaire, une méthode ne doit pas seulement être efficace, elle doit aussi être bien perçue. Or, l'émergence de nouvelles représentations peut contribuer à diminuer le crédit de méthodes auparavant jugées satisfaisantes, et par ricochet à amoindrir la satisfaction des gestionnaires et des autres acteurs.

La quête de méthodes de gestions des renouées asiatiques susceptibles d'être à la fois efficaces et satisfaisantes se poursuit donc. Le génie végétal apparaît comme une méthode prometteuse, en phase à la fois avec la demande d'efficacité et avec la demande de satisfaction des acteurs concernés par la problématique des renouées asiatiques.

3) Le génie végétal, une méthode avec du potentiel et des zones d'ombre

3.1) Qu'est-ce que le génie végétal ? Principes et principales techniques

Le terme de « génie végétal » désigne la construction d'ouvrages composés essentiellement de végétaux, réalisés dans le but de protéger, ou de restaurer, voire de remodeler ou de créer un écosystème fonctionnel. Autrement dit, il s'agit de tirer parti de la physiologie et de la biologie des végétaux employés pour (re)créer un milieu, et en particulier les fonctions et les services qui lui sont associés. Les ouvrages de génie végétal orientent l'évolution des sites, sans toutefois la contrôler entièrement : on ne peut jamais totalement prévoir si et comment les végétaux employés vont se développer, et interagir avec les communautés végétales et animales existantes. Les ouvrages de génie végétal sont donc inscrits dans la durée, et conservent toujours une part d'autonomie. Le génie végétal englobe plusieurs types de techniques : utilisation de végétaux à plusieurs stades de développement (plants), utilisation de parties de végétaux (boutures, fascines...) utilisation de végétaux sous forme de graines (semis), et utilisation de matériaux végétaux transformés (géotextiles, dalles en matériaux végétaux...) ou de végétaux morts (rondins, branches...) (Adam *et al.*, 2008). Les ouvrages de génie végétal combinent en règle générale plusieurs de ces techniques, et peuvent être associés à d'autres modes de gestion, des techniques mécaniques notamment (lors des phases de préparation et d'entretien du site par exemple), ou bien des techniques relevant du génie civil¹⁶ (*Ibid.*).

3.2) Des méthodes qui présentent des avantages pour la gestion des renouées asiatiques en milieu rivulaire...

Le génie végétal présente plusieurs catégories d'avantages (*Ibid.*), qui expliquent l'intérêt qu'on lui porte dans le cadre de la problématique de l'invasion des milieux rivulaires par les renouées asiatiques. Il a tout d'abord des avantages environnementaux. Les aménagements mis en place miment en effet autant que possible le fonctionnement naturel des milieux, préservent ou apportent des fonctions écologiques, et

16 Voir les « Annexes », document n°4

peuvent augmenter la biodiversité d'un site. Le génie végétal pourrait donc permettre de contrer l'homogénéisation des communautés végétales rivulaires envahies, sans pour autant provoquer un risque de perte des fonctions que les renouées asiatiques remplissaient¹⁷. À ces avantages d'ordre environnemental s'ajoutent des avantages économiques et sociaux. Ainsi, les coûts engendrés par le génie végétal sont inférieurs à ceux d'autres méthodes de gestion (*Ibid.*), celles faisant systématiquement appel à des engins de chantier par exemple. Cette méthode est peut être donc plus à même que d'autres de satisfaire les gestionnaires de cours d'eau, qui pointent souvent du doigt les coûts élevés associés à la gestion des renouées asiatiques (Robinson *et al.*, 2017). Ce sentiment de satisfaction pourrait être conforté par les avantages sociaux du génie végétal, en particulier sa conformité au souhait exprimé par certains acteurs d'une société plus respectueuse de l'environnement. Il faut aussi noter que le génie végétal fait partie des méthodes applicables en bordure de cours d'eau, contrairement à certaines méthodes mécaniques (accessibilité, difficultés pour faire circuler les engins) et chimiques (interdiction).

3.3)... Mais aussi des limites

Le génie végétal apparaît comme une méthode viable de gestion des effets indésirables des renouées asiatiques au sein des milieux rivulaires, par plusieurs aspects. Il implique des techniques autorisées en bordure de cours d'eau, qui sont susceptibles de réguler les effets écologiques négatifs des renouées asiatiques sans affecter les fonctionnalités du milieu, et de contrebalancer leurs effets socio-économiques jugés négatifs par des coûts de gestion moins élevés, et une certaine satisfaction sociale. Cette méthode présente cependant des limites ; certaines affectent particulièrement la gestion des renouées asiatiques en milieu rivulaire. Les ouvrages de génie végétal demandent tout d'abord du temps (Adam *et al.*, 2008). Les sites doivent en effet être entretenus (il faut compter au moins trois saisons végétatives pour que la végétation implantée soit solidement installée sur le site) (*Ibid.*), et les effets des opérations de génie végétal ne sont pas immédiats ; il faut a minima attendre la reprise de la végétation. Ces délais peuvent générer un sentiment de frustration, et impliquent que les gestionnaires de cours d'eau fassent preuve de vigilance pour éviter que les renouées asiatiques ne prennent le dessus sur les végétaux implantés avant même que ceux-ci soient suffisamment développés. La frustration éventuellement ressentie peut être renforcée par le fait que les opérations de génie végétal, en raison de l'entretien et de la surveillance qu'elles impliquent, sont difficiles à mettre en place sur des surfaces étendues; or, les renouées asiatiques sont implantées sur de vastes linéaires de cours d'eau... Enfin, on manque encore de recul sur l'efficacité de ces méthodes : « les techniques de génie végétal souffrent de l'absence généralisée d'évaluation du succès et de retours d'expérience sur le développement des espèces et la tenue des différentes techniques » (Delage *et al.*, 2017).

17 Voir 1) Les renouées asiatiques : quels effets, quelle menace ?)1.1) Des impacts écologiques qui ne sont pas exclusivement négatifs

Bilan : une exploration à poursuivre

Les renouées asiatiques n'affectent pas les sites dans lesquels elles s'implantent de manière uniquement, ou uniformément, négative. Elles sont cependant associées à des effets suffisamment délétères (perte de biodiversité notamment) pour justifier la mise en place de programmes de gestion spécifiques, dont l'objectif est de contenir leur expansion, voire de les faire régresser ou de les faire disparaître de certains sites. Ces programmes de gestion se heurtent néanmoins à un problème persistant : il n'existe pas de méthode miracle pour gérer les renouées asiatiques. Malgré la mise en place de nombreuses expérimentations, et la diversité des actions engagées, aucune solution parfaitement efficace n'a été mise au point à ce jour. La gestion des renouées asiatiques est donc une quête en cours, et ce d'autant plus que les paradigmes de gestion des années 1990 et 2000, qui reposent essentiellement sur l'usage d'herbicides et dont l'ouvrage de Child et Wade intitulé The Japanese Knotweed Manual (2000) est emblématique, sont actuellement remis en cause du fait d'évolutions sociétales. Le constat qui émerge à l'heure actuelle est donc que les méthodes de gestion mises en place ne sont ni assez efficaces, ni assez satisfaisantes. Le génie végétal pourrait constituer une réponse à ce problème. Les pratiques en question paraissent en effets satisfaisantes du point de vue environnemental (naturalité, biodiversité renforcée, fonctionnalités conservées), économique (coûts potentiellement inférieurs à ceux engendrés par d'autres méthodes) et social (demande de pratiques plus « vertes »). Des limites subsistent cependant en dépit de ces avantages, qui incitent à poursuivre l'exploration du génie végétal et de ses effets avant de conclure sur sa pertinence en matière de gestion des renouées asiatiques. Nous manquons en particulier de recul, et de retours d'expérience sur son efficacité et ses conséquences écologiques.

Le second volet du projet « Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires » a été élaboré en lien avec ce constat. Il a pour axe directeur de « mesurer l'intérêt et l'efficacité des opérations de restauration écologique des zones envahies et leur impact sur des fonctions essentielles des milieux rivulaires comme le support de la biodiversité et la pollinisation »¹⁸. Il interroge donc le génie végétal sous un angle gestionnaire (attentes et résultats) et sous un angle écologique (milieu et fonctions créés, effets sur le vivant). Pour pouvoir répondre à ces interrogations, il fallait constituer une base de données d'opérations de restaurations écologique à évaluer; c'est l'objet de ce travail. Les données ainsi collectées ont ensuite été utilisées dans le cadre d'une exploration de la pertinence du génie végétal en tant qu'outil de gestion (angle gestionnaire) des effets indésirables des renouées asiatiques (angle écologique), en vue de fournir des pistes pour la poursuite du projet « Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires ».

18 Voir les « Annexes », document n°2

III) Matériels et méthodes : Constitution de bases de données d'opérations de génie végétal et analyse quantitative

Les objectifs énoncés plus haut constituent plusieurs étapes de travail. Chacune d'entre elles est détaillée ici sous l'angle des données utilisées ou générées, et des outils (techniques de travail et logiciels) employés.

1) Revue bibliographique et recensement d'opérations de génie végétal

Nous avons effectué une revue bibliographique de 188 documents¹⁹, obtenus à l'aide de recherches sur Sherlock²⁰, OpenEditions, Hal et Google Scholar, d'emprunts de documents, et de notre participation à une journée thématique²¹. Notre revue a d'abord porté sur la littérature scientifique (articles, ouvrages) à propos du génie végétal et au sujet des renouées asiatiques et de leur gestion. Nous nous sommes ensuite concentrés sur les documents de littérature grise (plaquettes d'information, rapports de bureaux d'étude, actes de colloques) produits au sujet des renouées asiatiques au sein du bassin versant amont du Rhône, pour mettre en contexte les connaissances générales acquises au cours de notre revue de la littérature scientifique, et répertorier des opérations de génie végétal²². Dans la mesure où nous voulions dresser une liste qui soit la plus exhaustive possible, nous avons retenu toutes les évocations de projets ou d'ouvrages, même les plus infimes (légende d'une photographie), et les opérations qui n'avaient peut-être pas vu le jour. Nous avons recensé les opérations répertoriées et les informations à leur sujet dans un tableur (LibreOffice Calc 5.1), avant de compléter nos informations à partir de 21²³ documents complémentaires obtenus *via* le moteur de recherche Google.

La base de données ainsi générée a été comparée à celle réalisée par Nathan DAUMERGUE (agent Irstea) lors de précédents travaux²⁴, et avec la base de données GeniVeg²⁵ (Jaymond, D., Evette, A., Bray, F., Torre, A., Breton, V., de Danieli, S. (2019): GeniVeg, a database about riverbanks restoration operations with soil bioengineering techniques. Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM). À l'issue de cette comparaison, sept projets ou ouvrages ont été ajoutés à notre base de données. Nous avons ensuite procédé à une recherche *via* Google, en employant les mots-clés « génie végétal » et « renouées asiatiques », qui nous a permis

19 La liste complète de ces documents se trouve dans les « Annexes » (document n°5).

20 L'outil de recherche documentaire multi-sources de l'Irstea, qui regroupe notamment les bases de données Scopus et Web of Science.

21 Journée sur le thème des espèces exotiques envahissantes organisée par Gentiana ou Muséum d'Histoire Naturelle de Grenoble le 30/04/2019

22 On désigne ici par « opérations de génie végétal » aussi bien des projets de génie végétal, c'est-à-dire des plans à grande échelle d'aménagement d'un secteur (bassin versant ou portion de bassin versant), que des ouvrages de génie végétal, c'est-à-dire les techniques mises en place sur un site donné.

23 Voir les « Annexes » (document n°6).

24 Base de données établie à partir d'entretien, et réalisée dans le cadre de travaux sur le génie végétal et les renouées asiatiques initiés par Irstea en 2011-2012 → lien : <https://genibiodiv.irstea.fr/base-de-donnees-des-ouvrages/>

25 Base de données répertoriant des ouvrages de génie végétal implantés en France, sur les berges de cours d'eau, et qui comportent des techniques de génie végétal (un projet Irstea financé par l'Agence Française de la Biodiversité (AFB))

d'identifier deux autres projets correspondant aux critères de l'étude. Le faible nombre de nouveaux projets répertoriés *via* ces comparaisons nous a incité à penser que nous avons recensé la majorité des ouvrages et des projets de gestion des renouées asiatiques relevant du génie végétal dans le bassin versant amont du Rhône à propos desquels il existait une trace écrite. Notre base de données comportait 28 ouvrages ou projets à l'issue de cette étape²⁶. Chacun d'entre eux a été associé à une ou des personnes à contacter, en vue d'entretiens téléphoniques.

2) Entretiens téléphoniques et visites de sites : constitution de bases de données sur le génie végétal

L'objectif de cette étude était de recenser des opérations de génie végétal, puis de constituer une base de données décrivant ces ouvrages en prenant en compte plusieurs paramètres (âge des ouvrages, superficie, techniques employées...). Nous avons décidé de réaliser des entretiens téléphoniques pour compléter et harmoniser les informations dont nous disposions sur les opérations que nous avons répertoriées. Ces entretiens devaient remplir quatre objectifs : obtenir une description détaillée des opérations de gestion, savoir quel(s) effet(s) elles avaient eu sur les renouées asiatiques, cerner les motivations et le ressenti des acteurs impliqués, et nous fournir si possible des indications sur d'autres projets susceptibles de nous intéresser. Le format de l'entretien nous a paru plus adapté à ces objectifs que celui du questionnaire. Un entretien est en effet plus souple et plus long qu'un questionnaire, il permet donc d'obtenir des informations plus complètes, et laisse plus de place aux suggestions et aux découvertes. Un guide d'entretien²⁷, élaboré avec l'aide de Manon ALLIBE (M1 « Sociologie de l'Innovation et des Recompositions Sociales » (SIRS) à l'université Grenoble Alpes) et d'Isabelle ARPIN (sociologue, LESSEM²⁸), a été utilisé lors de ces entretiens. Certains entretiens ont été complétés, ou seront complétés ultérieurement, par des visites de site, afin d'obtenir des informations supplémentaires (dimensions et contexte paysager notamment) sur les ouvrages recensés.

À partir des informations ainsi obtenues, nous avons élaboré une base de données (tableur LibreOffice Calc 5.1) qui associait les acteurs interviewés et les projets de génie végétal auxquels ils avaient participé (base de données A). Nous avons ensuite reconstitué des descriptions d'ouvrages à partir des projets recensés, que nous avons rassemblées dans un second tableur LibreOffice Calc (base de données B). Les deux bases de données ainsi créées constituaient un objet intéressant pour étudier la pertinence du génie végétal en tant que méthode de gestion des effets indésirables des renouées asiatiques. On entend ici sous le terme de « pertinence » l'efficacité des ouvrages mis en place sur les renouées asiatiques, et la satisfaction des acteurs vis-à-vis du génie végétal, satisfaction qui dépend de l'efficacité sans s'y limiter. La pertinence est donc, autrement dit, le degré d'adéquation des opérations menées avec les objectifs et les attentes des acteurs.

26 La liste complète est disponible dans la partie « Annexes » de ce dossier (document n°7). Tous n'ont pas été pris en compte dans l'analyse quantitative de nos jeux de données, parce que nous n'avions pas suffisamment d'informations à leur sujet ou parce qu'ils ne correspondaient pas aux critères de l'étude.

27 Voir les « Annexes », document n°8

28 Laboratoire EcoSystèmes et Sociétés en Montagne, une des deux unités de recherche du centre Irstea de Grenoble

3) Analyse quantitative des jeux de données

Nous souhaitons décrire nos jeux de données d'un point de vue quantitatif, afin de pouvoir discerner de grandes tendances en termes d'élaboration et d'appréciation des ouvrages de génie végétal. Nous nous sommes appuyés sur la base de données A et la base de données B, laquelle avait été mise en forme de manière à contenir une majorité de variables binaires (oui/non) et catégorielles (tranches d'âge par exemple), afin de faciliter le dénombrement. Nous avons tout d'abord décrit les ouvrages que nous avons répertoriés (techniques employées, présence ou absence d'opérations d'entretien, modalités de l'entretien) ; ces éléments sont de plus susceptibles d'influer sur l'efficacité des ouvrages en question et de révéler des attentes et des contraintes sous-jacentes. Nous avons ensuite cherché à évaluer la pertinence de ces ouvrages, et au-delà celle du génie végétal. Nous avons donc exploré l'efficacité des ouvrages mis en place sur les renouées asiatiques, telle qu'elle est perçue par les acteurs interrogés, ce qui pouvait nous renseigner sur l'intérêt de ces opérations d'un point de vue gestionnaire et écologique. Enfin, nous avons cherché à cerner ce que les enquêtés attendaient du génie végétal, et à évaluer l'adéquation des ouvrages réalisés à ces attentes. Cette troisième étape, dont l'objectif était d'analyser la satisfaction des enquêtés par rapport au génie végétal, a été effectuée à partir de la base de données A, tandis que les précédentes portaient sur la base de données B.

IV) <u>Résultats et interprétation</u> : Portrait de la gestion des renouées asiatiques par le génie végétal dans le bassin versant amont du Rhône
--

1) Conduite des entretiens

Nous avons effectué 12 entretiens. Chaque entretien a duré entre trente minutes (trois entretiens) et une heure trente (trois entretiens) ; la plupart ont duré d'une cinquantaine de minutes à une heure (six entretiens). La majorité (huit entretiens) ont été entièrement enregistrés, sauf refus de la part de l'enquêté (un entretien) ou incapacité technique (trois entretiens). Les enquêtés étaient protégés par un contrat de cession des droits²⁹, qui leur permettait de revenir sur leurs propos à tout moment, ainsi que d'indiquer qui avait accès au contenu de l'entretien, dans quelles conditions, et comment ce contenu pouvait être utilisé.

2) Analyse quantitative des jeux de données

2.1) Constitution des jeux de données

Les deux premières étapes de l'analyse quantitative ont porté sur quarante-quatre ouvrages de génie végétal (base de données B). Plusieurs cas de figures sont à distinguer. Certains ouvrages (33/44) ont été réalisés dans le cadre d'un projet, d'une expérimentation sur le génie végétal par exemple, et présentent donc dans certains cas des caractéristiques communes (emploi d'une même méthode, localisation sur un seul site...). D'autres ouvrages (11/44) sont pour ainsi dire indépendants, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été mis en place dans le cadre d'un groupe d'ouvrages. Huit ouvrages dépendent du bassin versant de la Loire (ouvrages

29 Voir les « Annexes », document n°8

réalisés par le Conservatoire des Espaces Naturels d’Auvergne sur l’Allier et la Dore). Ils ont cependant été retenus dans le cadre de ce travail car leurs sites d’implantation étaient similaires à certains sites de notre zone d’étude (style fluvial à méandres, dans une vallée au sein d’un espace de montagne ou de moyenne montagne, boisement de berge, fort envahissement par les renouées asiatiques). L’analyse n’a par ailleurs pas mis en évidence des traits les distinguant des autres ouvrages, ce qui a renforcé notre décision de les conserver dans notre base de données.

La troisième et dernière étape de l’analyse quantitative a porté sur dix projets (opérations à l’échelle d’un bassin versant ou d’une portion de bassin versant) de génie végétal (base de données A), et non plus sur des ouvrages (ensemble des techniques mises en place sur un site donné). Deux projets ont été exclus de l’analyse car ils ne correspondaient pas aux critères géographiques de l’étude.

2.2) Description des ouvrages recensés (base de données B)

Cette étape de l’analyse détaille les modalités de réalisation (techniques employées et mesures d’accompagnement, c’est-à-dire de préparation des sites) et d’entretien (techniques employées, période, durée totale) des ouvrages de génie végétal. Ces éléments sont par ailleurs susceptibles de modéliser les effets des ouvrages réalisés sur les milieux, et de donner un aperçu des attentes et des contraintes qui guident l’action des gestionnaires.

2.2.1) *Techniques employées*³⁰

Les techniques très peu employées (0 ou 1 occurrences) n’ont pas été incluses dans le graphique ci-dessous. Il s’agissait des techniques suivantes : les fascines (0), les dalles en matériaux végétaux (0, il faut cependant noter que certains enquêtés sont susceptibles de les avoir désignées sous les termes de « géotextile » ou de « paillages)), le criblage-concassage (1), l’enfouissement des rhizomes (0), le rotovator (0), les apports de terre (1), le bâchage (0), les traitements chimiques (0).

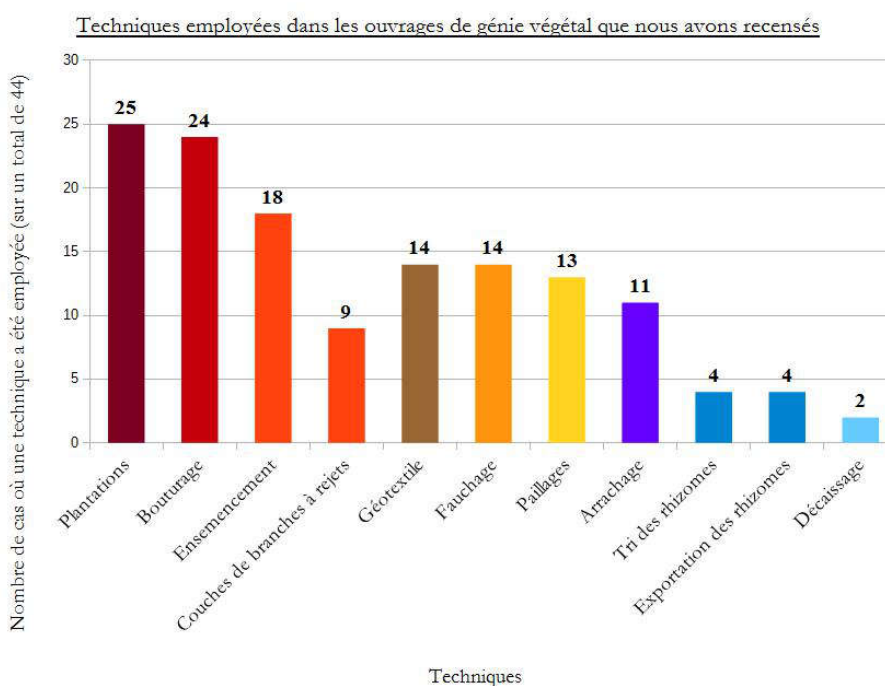


Illustration 2: Graphique - Techniques employées

On distingue deux familles de techniques : les techniques de mise en concurrence végétale (plantations, bouturage, ensemencement, couches de branches à rejets) et les techniques de préparation du sol (géotextile, fauchage, paillages, arrachage, tri des rhizomes, exportation des rhizomes, décaissage). Au-delà de ces familles, trois catégories de techniques se différencient en fonction de leur emploi. La première regroupe les techniques les plus employées. Ce sont les recours à des végétaux vivants ; il s'agit des plantations, des boutures et des semis. Ces végétaux se distinguent en fonction du type d'espèces employées (arborées, arbustives ou herbacées pour les boutures et les plantations, herbacées pour les semis) ou de leur stade de croissance. Il faut noter que les couches de branches à rejets constituent une technique particulière de bouturage. Le bouturage est donc, si l'on regroupe les boutures et les couches de branches à rejets, la technique la plus employée (27 cas sur 44). Une seconde catégorie se compose de techniques en lien avec la couverture des sols, qu'il s'agisse de les recouvrir (géotextile, paillages, couches de branches à rejet) ou au contraire de les dégager (fauchage, arrachage) en retirant certains végétaux, ici les renouées asiatiques. L'importance du fauchage et de l'arrachage est sans doute sous-estimée ici. Ces mesures sont en effet indispensables pour pouvoir implanter des végétaux au sein de massifs de renouées asiatiques, et sont donc probablement employées dans le cadre de tous les ouvrages. Les enquêtés ont pu ne pas penser à les évoquer parce qu'elles leur semblaient aller de soi. Trois techniques très peu employées, à savoir le tri des rhizomes, l'exportation des rhizomes et le décaissage forment le troisième groupe. Ces techniques, qui concernent aussi les sols, mais plus en profondeur que celles du groupe précédent, sont généralement employées ensemble. Elles ont en commun de nécessiter des moyens techniques, financiers et logistiques plus importants que les autres techniques employées dans les ouvrages recensés. Le décaissage requiert par exemple l'utilisation de machines, et pour pouvoir exporter des rhizomes de renouées asiatiques il faut disposer d'un endroit où les stocker et d'un moyen pour les y transporter.

Les entretiens et la revue bibliographique (Robinson *et al.*, 2017; Delbart *et al.*, 2012) ont mis en évidence l'importance des coûts dans les processus de décision des gestionnaires: la totalité ou presque des enquêtés ont par exemple souligné les coûts très élevés du criblage-concassage lorsqu'ils ont évoqué cette technique. Les contraintes techniques et financières associées au décaissage, ainsi qu'au tri et à l'exportation des rhizomes, peuvent donc expliquer leur faible emploi. À l'inverse, les coûts plus faibles des recours à des végétaux vivants et des techniques qui consistent à agir sur la couverture des sols ont pu renforcer leur attrait aux yeux des gestionnaires. Certaines techniques, les couches de branches à rejets notamment, semblent moins répandues que d'autres. Leur emploi moindre peut être lié au fait que certains acteurs ne les connaissent pas, et ne pensent donc pas à les employer. Une autre explication possible est que cette technique requiert plus de matériaux végétaux (branches complètes) et de matériel (pelle pour recouvrir les branches de

terre) que d'autres techniques similaires, le recours à des boutures (tiges, simple trou dans le sol) par exemple.

2.2.2) Nombre de techniques employées et associations de techniques

Plusieurs techniques peuvent être associées au sein d'un même ouvrage (Adam et al., 2008), et l'analyse précédente ne permet pas de rendre compte de ces combinaisons potentielles. Les ouvrages répertoriés dans notre base de données reposent au minimum sur l'emploi d'une technique, et regroupent au maximum cinq techniques. 75 % des ouvrages englobent deux (premier quartile) à quatre (troisième quartile) techniques. La moyenne de cette série est de 3,18. Les valeurs de ces indicateurs de position montrent que si la majorité des ouvrages recensés s'appuient bien sur la combinaison de plusieurs techniques, le nombre de techniques associées n'est cependant pas très élevé. Ceci est peut être lié au fait que la mise en place d'une technique, quelle qu'elle soit, nécessite du temps et des moyens financiers et humains, autant d'éléments potentiellement contraignants.

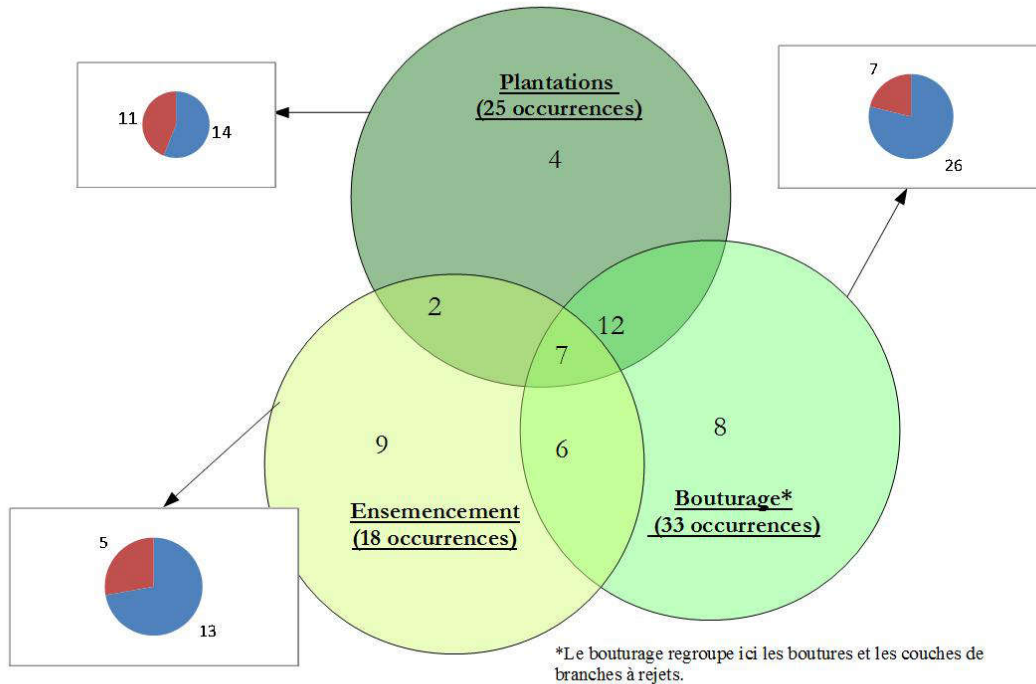


Illustration 3: Graphique - Association de techniques de mise en concurrence végétale et de techniques de préparation des sols

Les graphiques dans les encadrés précisent si les techniques de mise en concurrence ont été associées à une ou des techniques de préparation des sols (en bleu), ou non (en rouge). Le fauchage et l'arrachage seuls n'ont pas été comptés ici comme des techniques de préparation des sols, dans la mesure où ils sont indispensables avant toute action de mise en concurrence.

Les techniques de mise en concurrence (plantations, bouturage et ensemencement) sont le plus souvent combinées entre elles (Illustration 3), et l'association la plus fréquente se compose du bouturage

(boutures ou couches de branches à rejets) et de plantations. Ces techniques sont de plus dans la majorité des cas accompagnées de mesures de préparation des sols ; c'est particulièrement le cas pour le bouturage (26/33). Les mesures de préparation des sols les plus employées sont le géotextile et les paillages. Le géotextile comme les paillages peuvent être utilisés seuls ou associés à des techniques mécaniques lourdes, telles que le décaissage ; ce cas de figure est cependant moins fréquent. Le protocole de préparation des sols privilégié semble donc constitué des indispensables actions de fauche ou d'arrachage, suivies de la pose d'un géotextile ou de la mise en place de paillages. Ces choix peuvent découler en partie de l'influence des coûts sur les choix de gestion, que nous pointions précédemment³¹.

2.2.3) Entretien des ouvrages

Nous nous sommes jusqu'à présent intéressés aux modalités de réalisation des ouvrages de génie végétal recensés. Un second volet de ces ouvrages, leur entretien, doit aussi être pris en compte pour dresser leur portrait. Décrire ces opérations d'entretien implique de se pencher sur les éléments suivants : leur présence ou leur absence, la ou les technique(s) employée(s), la période à laquelle elles sont effectuées et la durée totale (à l'échelle de la vie de l'ouvrage) sur laquelle elles s'étendent. Ces trois derniers éléments forment la méthode d'entretien.

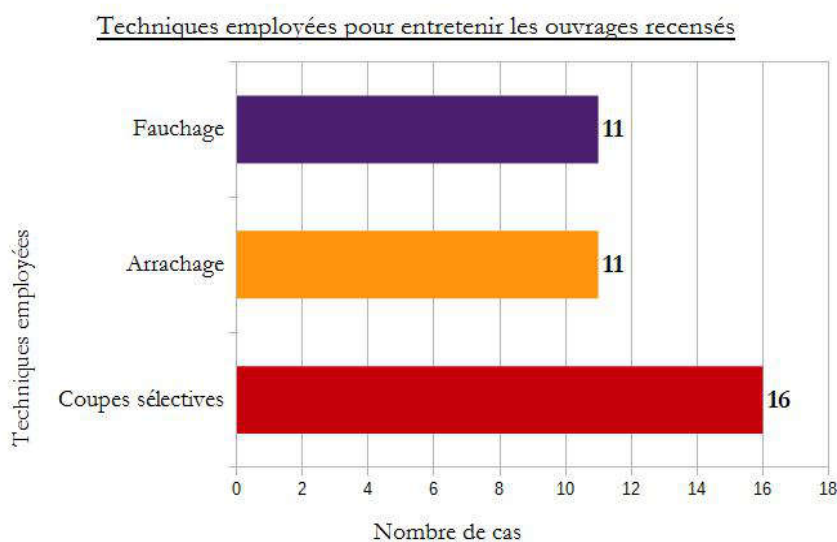


Illustration 4: Graphique - Techniques employées (entretien)

Au sein des ouvrages de génie végétal que nous avons recensés, 38 (sur un total de 44) ont été entretenus ou sont encore entretenus. Les ouvrages non entretenus ne représentent qu'une petite fraction de notre sélection, il semble donc qu'entretenir les ouvrages de génie végétal soit quasi-systématique. Plusieurs techniques sont employées ou ont été employées dans le cadre de l'entretien des ouvrages de génie végétal que nous avons recensés (Illustration 4). Toutes ont un point commun: il s'agit de méthodes mécaniques, qui ne requièrent pas l'usage d'engins lourds, d'une épaveuse par exemple. Ces actions d'entretien sont

³¹ Voir 2.2.1) Techniques employées³⁰

généralement pratiquées de manière répétée pendant la saison d'entretien, à raison d'un ou de plusieurs passages par mois (le plus souvent, un à deux). Au cours de l'enquête téléphonique, nous avons constaté que les actions d'entretien menées consistent principalement à agir sur les renouées asiatiques encore présentes après l'installation de l'ouvrage, à éliminer les repousses notamment. Le fait que les coupes sélectives sont privilégiées va dans ce sens : cette méthode présente l'avantage d'agir uniquement sur les renouées asiatiques, dans l'objectif de maximiser la reprise et l'effet concurrentiel des végétaux implantés, des herbacées notamment. L'entretien semble aussi être, tout comme la réalisation des ouvrages, soumis à des contraintes financières, matérielles et logistiques (choix de techniques simples à mettre en œuvre, et qui ne nécessitent pas d'engins lourds ou coûteux).

Notre jeu de données ne comporte qu'un seul cas d'entretien hivernal, et huit cas où nous n'avons pas d'information à ce sujet, soit parce que les sites n'ont pas été entretenus (deux cas), soit parce que cette information ne nous a pas été communiquée (six cas). L'entretien des ouvrages est presque exclusivement effectué pendant le printemps et l'été (35 cas sur 44), c'est-à-dire du mois d'avril ou du mois de mai aux mois d'août ou de septembre. Ceci va dans le sens de ce que nous avons signalé précédemment, à savoir que l'entretien des ouvrages semble porter essentiellement sur la gestion des renouées asiatiques encore présentes sur le site. En effet, les renouées asiatiques se développent et croissent pendant les périodes printanières et estivales. Les faucher, les couper ou les arracher à partir du moment où elles entament leur croissance (en avril ou en mai), puis de manière répétée pendant toute la saison végétative contribue à remplir deux objectifs. Le premier est d'affaiblir les renouées asiatiques, et donc à long terme de limiter leur domination sur le site. Le second est de les empêcher de nuire au développement des autres plantes, dans la mesure où elles ne peuvent pas suffisamment croître pour accaparer les ressources ; elles ne peuvent par exemple pas former un couvert dense et empêcher la lumière d'atteindre les végétaux plus petits qu'elles.

Les opérations d'entretien sont répétées au cours d'une saison de végétation, elles sont aussi répétées sur plusieurs années. Ainsi, dans 34 cas (sur un total de 44), les ouvrages ont été entretenus pendant plus d'un an. Seuls deux ouvrages ont été entretenus moins d'un an (c'est-à-dire qu'il n'y a eu qu'une seule campagne d'entretien de ces ouvrages), et pour huit ouvrages cette information est manquante, soit parce qu'il n'ont pas été entretenus soit parce que la durée pendant laquelle ils ont été entretenus ne nous a pas été communiquée. 32 ouvrages ont été entretenus moins de cinq ans. Parmi eux se trouvent treize ouvrages récents (mis en place entre cinq et dix ans avant cette étude), dont l'entretien est toujours en cours. Les ouvrages semblent donc dans leur majorité être entretenus pendant environ cinq ans, ou un peu moins, mais rarement beaucoup plus ; seuls deux ouvrages ont été entretenus pendant cinq à dix ans.

2.3) Évaluation de l'efficacité des ouvrages recensés

L'intérêt des ouvrages de génie végétal, pour les milieux et pour les gestionnaires, dépend notamment de leur efficacité, que l'on peut associer à leur capacité à réguler les massifs de renouées

asiatiques. Pour évaluer cette efficacité, nous nous fondons sur la réponse donnée par les enquêtés à la question « Quel est votre ressenti sur cette méthode de gestion ? », leurs remarques au cours des entretiens, et d'éventuels documents fournis postérieurement aux entretiens. On parle d'efficacité perçue et non d'efficacité réelle, car l'estimation de l'efficacité des ouvrages repose plus sur des observations subjectives que sur des opérations de suivi.

2.3.1) Efficacité perçue globale du génie végétal pour le contrôle des renouées asiatiques

Nous avons distingué trois catégories d'efficacité (Illustration 5). « Oui » signifie que les renouées asiatiques sont désormais absentes du site où l'ouvrage de génie végétal a été implanté, ou que leur présence n'est plus problématique, en règle générale parce qu'elle se limite à quelques pieds dont la dynamique d'expansion est faible ou nulle. À l'inverse, dans le cas de la catégorie « non », les renouées asiatiques sont toujours bien implantées sur le site, voire toujours en expansion ; dans certains cas, les ouvrages ont agrandi les massifs présents. La catégorie « mitigée » reflète un entre-deux, qui peut résulter de deux cas de figure : les techniques employées ont eu des effets hétérogènes sur les renouées asiatiques, ou les effets des ouvrages se sont fait attendre, n'ont été perceptibles qu'après quelques années.

Efficacité des ouvrages recensés sur les renouées asiatiques, évaluée par les enquêtés

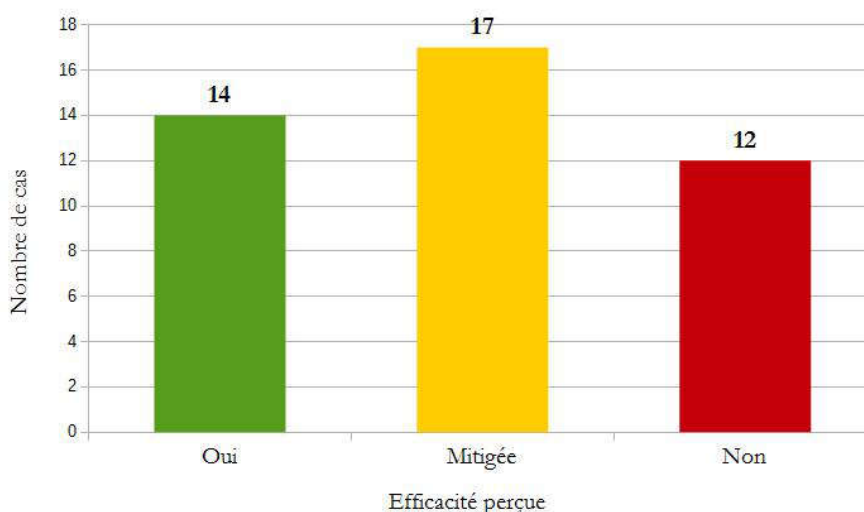


Illustration 5: Graphique - Efficacité perçue globale

Douze des dix-sept ouvrages sont d'une efficacité mitigée car leurs effets sur les renouées asiatiques ne sont visibles qu'au bout de plusieurs années, ce que les enquêtés ont présenté comme une contrainte, un malus en termes d'efficacité. Ces ouvrages pourraient à terme être perçus comme étant efficaces. Ils ont en effet été réalisés il y a cinq à dix ans, et leurs effets sur les renouées asiatiques ont commencé à être perceptibles au bout de cinq ans (d'après les enquêtés). L'efficacité des ouvrages de génie végétal (telle qu'elle est perçue par les enquêtés), pour l'instant variable, est donc susceptible de s'améliorer au fur et à mesure que les ouvrages de la catégorie « mitigée » gagneront en ancienneté ; nous avons exploré cette hypothèse dans la suite de l'analyse.

Nous avons décidé de tester les liens entre l'efficacité et différentes variables. Notre hypothèse était que certains facteurs pouvaient contribuer plus que d'autres à l'efficacité des ouvrages.

2.3.2) Effet de l'âge

Nous avons commencé par étudier de possibles relations entre l'ancienneté des ouvrages et leur efficacité perçue, afin de déterminer si les ouvrages de génie végétal pouvaient être perçus comme étant plus efficaces avec le temps. Nous avons distingué, pour chaque catégorie d'âge, la proportion d'ouvrages efficaces, non efficaces, et à l'efficacité mitigée. La catégorie d'âge « moins de 5 », qui ne comportait qu'un seul ouvrage, a été exclue de cette analyse, de même que les ouvrages dont l'âge n'avait pas été renseigné (deux ouvrages).

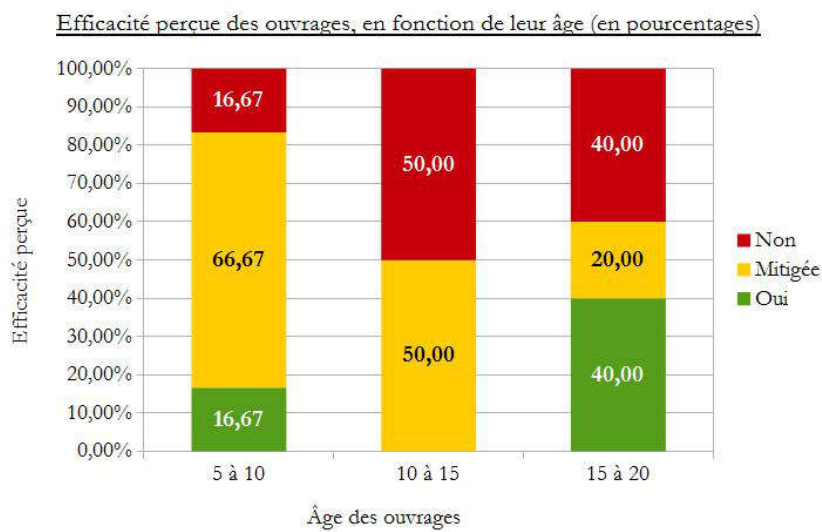


Illustration 6: Graphique - Efficacité perçue en fonction de l'âge

La catégorie « mitigée » est plus représentée dans le cas des ouvrages réalisés il y a cinq à dix ans que pour les autres catégories d'âge, et semble décroître en importance au fur et à mesure que les ouvrages gagnent en ancienneté. Il y a plus d'ouvrages jugés efficaces par les enquêtés dans la catégorie d'âge « 15 à 20 » que dans les autres catégories d'âge. Les ouvrages réalisés il y a dix à quinze ans sont soit inefficaces (50%) soit d'efficacité mitigée (50%). Il faut cependant noter que seuls deux des ouvrages répertoriés ont été créés il y a dix à quinze ans, ce qui peut contribuer à expliquer que l'efficacité varie moins pour cette catégorie d'âge que pour les autres. Les effets des ouvrages de génie végétal sur les renouées asiatiques semblent devenir plus tranchés avec le temps, comme en atteste la perte d'importance de la catégorie mitigée au profit des catégories « oui » et « non » au fur et à mesure que les ouvrages gagnent en ancienneté. L'efficacité de certains ouvrages est donc susceptible de s'améliorer avec le temps (passage de « mitigée » à « oui »).

2.3.3) Effets des conditions de réalisation des ouvrages

Certains protocoles sont plus employés que d'autres dans le cadre de la réalisation des ouvrages (Illustration 3). Ces choix pouvaient découler de caractéristiques des techniques (simplicité et coûts peu élevés notamment), mais aussi de différences en termes d'efficacité. Nous avons distingué trois types d'itinéraires techniques (Illustration 7) : emploi de techniques de mise en concurrence « seules » (c'est-à-dire associées uniquement à des actions de fauche ou d'arrachage), association de techniques de mise en concurrence et d'actions sur la couverture des sols (géotextile, paillages ou bâchage) et recours à des techniques mécaniques lourdes (décaissage, tri et exportation des rhizomes) en plus de techniques de mise en concurrence et d'actions sur la couverture des sols. Les ouvrages qui ne comportaient que des actions sur la couverture des sols (deux ouvrages) et un ouvrage associant mise en concurrence et actions mécaniques lourdes ont été exclus de cette analyse, car ils représentaient des cas marginaux.

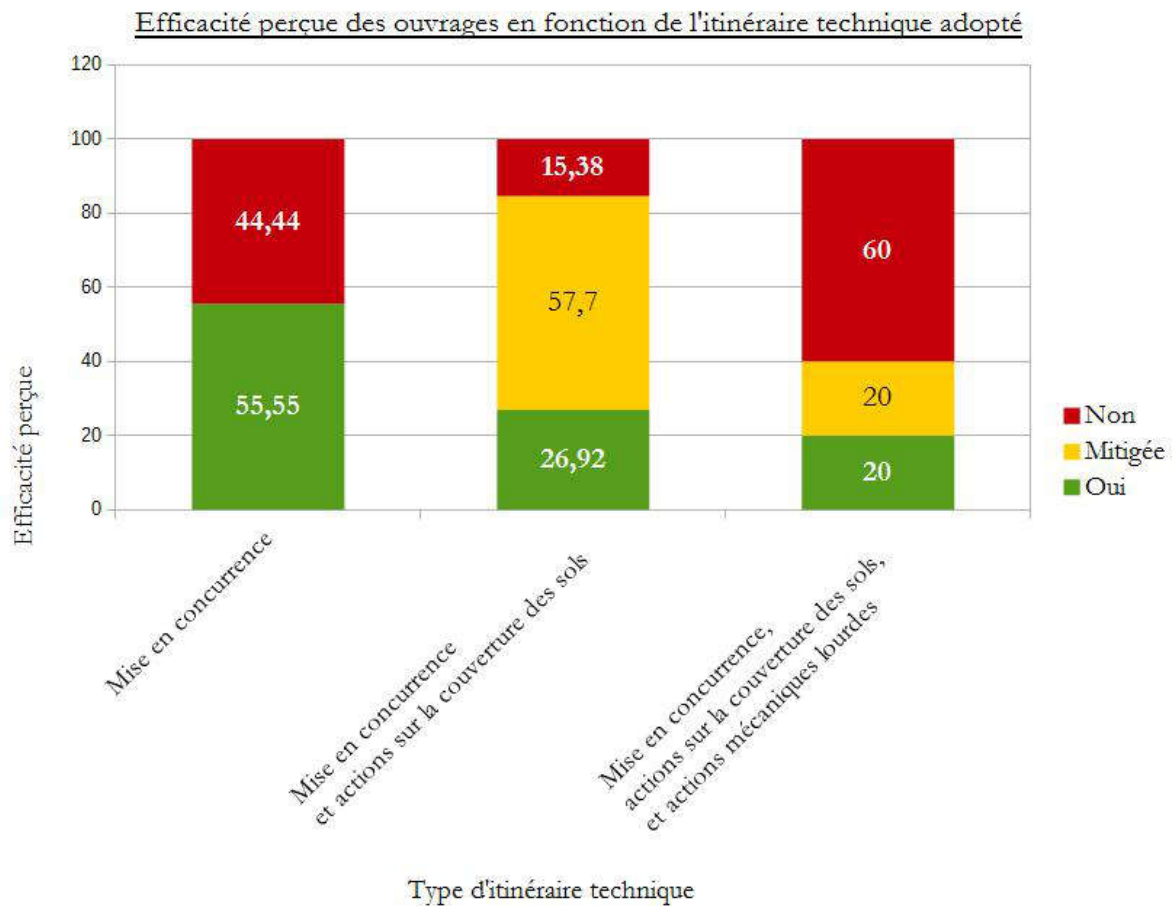


Illustration 7: Graphique – Lien entre efficacité et itinéraire technique

Les deux premiers itinéraires techniques présentent des résultats similaires, avec quelques nuances. Les résultats sont moins tranchés dans le cas des ouvrages associant mise en concurrence et actions sur la couverture des sols, où la catégorie « mitigée » est la plus représentée, que pour le premier itinéraire technique (mise en concurrence seule). Dans les deux cas, l'écart entre les catégories « oui » et « non » est légèrement supérieur à 10 %; l'efficacité l'emporte de peu. L'écart relativement faible entre efficacité et inefficacité peut avoir plusieurs explications, et certaines se dégagent des entretiens. Les végétaux implantés dans le cadre d'actions de mise en concurrence ont parfois une reprise ou une croissance trop lente, ce qui ne leur permet pas de prendre le dessus sur les renouées asiatiques. Certaines essences souffrent aussi de maladies ; les frênes sont notamment touchés par un champignon, la chalarose (Rigling *et al.*, 2016).

Le troisième itinéraire technique, qui implique un recours à des méthodes mécaniques lourdes, est contrairement aux deux autres marqué par l'inefficacité : plus de la majorité (60%) des ouvrages où ce type d'itinéraire technique a été employé a été jugé inefficace par les enquêtés. L'enquête téléphonique fournit de possibles explications à ce constat: certaines méthodes mécaniques lourdes ont eu l'effet inverse de celui qui était escompté. Un décaissage a par exemple stimulé les rhizomes des renouées asiatiques présentes sur le site, et a par conséquent favorisé leur expansion. On peut aussi supposer que les gestionnaires recourent à ces méthodes dans le cadre d'objectifs ambitieux (élimination totale des renouées asiatiques implantées sur un site par exemple), et qu'ils ont donc plus de chances d'être déçus par les résultats.

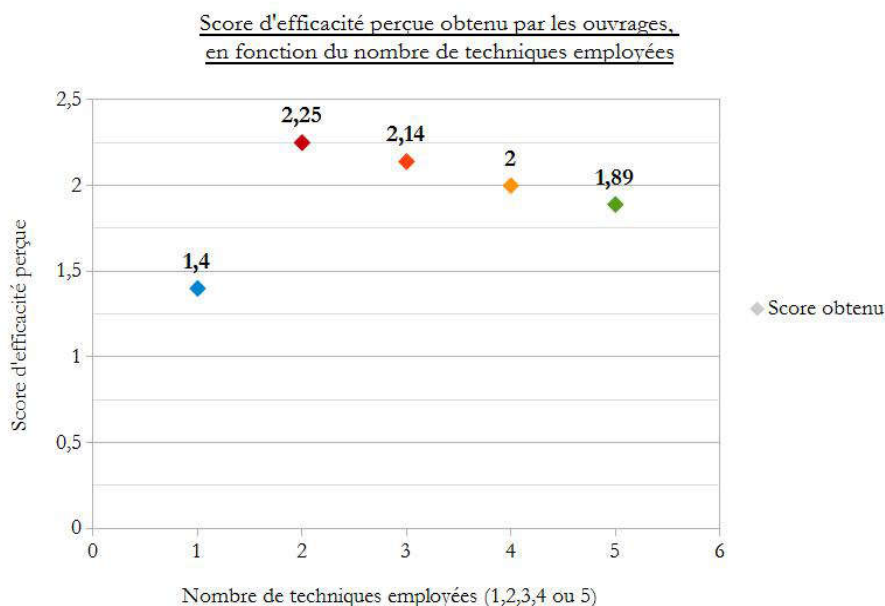


Illustration 8: Graphique - Score d'efficacité en fonction du nombre de techniques

De même que l'itinéraire technique, le nombre de techniques associées était susceptible d'exercer une certaine influence sur l'efficacité des ouvrages. Augmenter le nombre de techniques pouvait par exemple renforcer l'efficacité globale des ouvrages, en démultipliant les actions sur les renouées asiatiques et donc les chances de les épuiser. Afin de déterminer si le nombre de techniques influait sur l'efficacité perçue des ouvrages, et si oui de quelle manière, nous avons calculé des scores d'efficacité des ouvrages en fonction du nombre de techniques employées. Le coefficient multiplicateur 1 a été attribué à la catégorie d'efficacité perçue « non », le coefficient multiplicateur 2 à la catégorie « mitigée », et le coefficient multiplicateur 3 à la catégorie « oui ». Nous avons ensuite fait la moyenne de ces valeurs, en les additionnant puis en les divisant par le nombre total d'ouvrages de la catégorie (une, deux, trois, quatre ou cinq techniques).

Les scores d'efficacité perçue obtenus en fonction du nombre de techniques employées sont relativement proches : le score moyen est de 1,94, et 75 % des scores sont compris entre 1,89 (premier quartile) et 2,14 (troisième quartile). Les ouvrages de génie végétal recensés n'ayant employé qu'une technique se démarquent cependant des autres par un score d'efficacité perçue faible, plus proche de l'absence d'efficacité (1) que de l'efficacité moyenne (2). Le score d'efficacité le plus haut est atteint par les ouvrages combinant deux techniques, il suit ensuite une pente décroissante. Les ouvrages ayant employé trois, quatre et cinq techniques présentent en effet des scores inférieurs à ceux ayant employé deux techniques. Il semble qu'une technique utilisée seule ne suffise pas à limiter ou à freiner l'expansion des renouées asiatiques. Multiplier les techniques n'apparaît pas non plus comme une garantie d'efficacité. L'explication à ce phénomène est peut être que certaines techniques ne donnent pas les résultats escomptés par les enquêtés, et diminuent de fait l'efficacité de l'ensemble de l'ouvrage à leurs yeux. Une autre possibilité est que, plus les acteurs emploient de techniques, plus leurs attentes vis-à-vis des résultats, et donc leurs chances d'être déçus, sont fortes.

2.3.4) Effets de l'entretien des ouvrages

Les ouvrages recensés sont presque tous entretenus, et le sont souvent selon un même protocole : l'entretien a lieu pendant la saison végétative (printemps et été), et est effectué au moyen de méthodes mécaniques souvent différenciées (fauche, arrachages, coupes sélectives), et ce sur plusieurs années (de l'ordre de cinq ans). Une telle homogénéité dans les choix d'entretien des ouvrages peut découler du constat que ces pratiques contribuent à l'efficacité des ouvrages en termes de gestion des renouées asiatiques. Nous avons donc décidé d'évaluer l'influence de l'entretien des ouvrages et de ses modalités sur leur efficacité perçue par les enquêtés.

Efficacité perçue des ouvrages, en fonction de la présence ou de l'absence d'opérations d'entretien

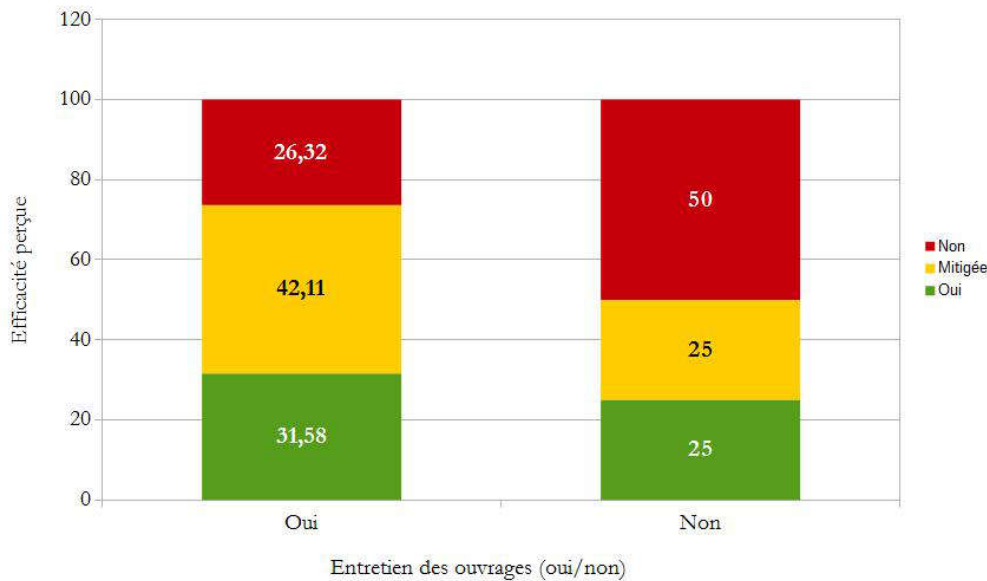


Illustration 9: Graphique - Lien entre efficacité et entretien des ouvrages (en pourcentages)

Les ouvrages de la catégorie « non » sont plus nombreux dans le cas des ouvrages qui n'ont pas été entretenus (50 % des ouvrages, contre 26,32 % dans le cas des ouvrages entretenus). À l'inverse, la catégorie « oui » est plus représentée dans le cas des ouvrages qui ont été entretenus, et pourrait gagner en importance au cours des années à venir. Les ouvrages entretenus appartenant à la catégorie « mitigée » sont en effet nombreux, or, cette catégorie tend à perdre en importance au fur et à mesure que les ouvrages gagnent en ancienneté (Illustration 6) ; certains ouvrages passent alors d'une efficacité mitigée à une bonne efficacité. L'entretien semble contribuer à l'efficacité des ouvrages, à court et à plus long terme. Il ne s'agit cependant pas d'un automatisme, dans la mesure où la moitié des ouvrages non entretenus sont efficaces (25%) ou moyennement efficaces (25%).

Scores d'efficacité perçue des ouvrages,
en fonction de la durée totale (en années) pendant laquelle ils ont été entretenus

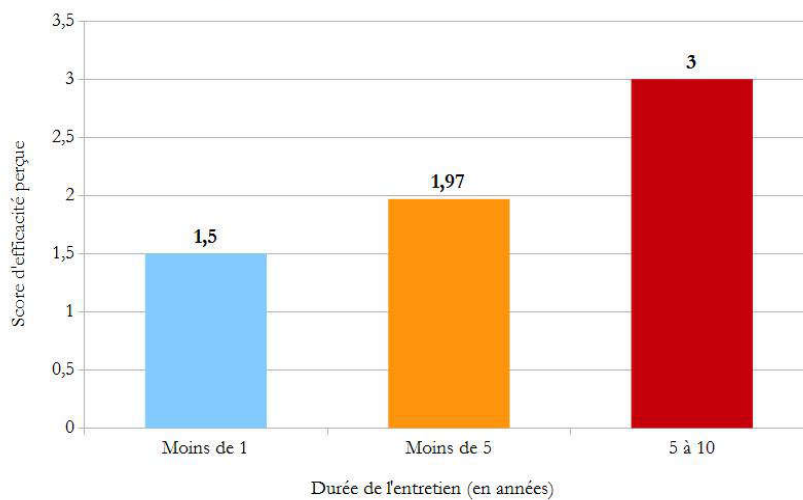


Illustration 10: Graphique - Scores d'efficacité en fonction de la durée de l'entretien (années)

Nous avons exploré les liens entre la durée totale pendant laquelle les ouvrages ont été entretenus et leur efficacité perçue (Illustration 10). Nous n'avons pas analysé de manière détaillée la relation entre la période d'entretien et l'efficacité perçue, dans la mesure où tous les ouvrages entretenus sauf un ont été entretenus à la même période (printemps-été) ; nous n'aurions donc pas pu mettre au jour de différences significatives entre les périodes d'entretien. On peut toutefois supposer que, si cette période est aussi largement adoptée par les enquêtés, elle donne des résultats probants.

La durée pendant laquelle les ouvrages sont entretenus (Illustration 10) joue un rôle dans leur efficacité perçue. Plus précisément, il semble que plus l'entretien se prolonge, plus les enquêtés considèrent que les ouvrages mis en place sont efficaces. Il faut cependant signaler que les ouvrages des catégories « moins de 1 » et « 5 à 10 » sont peu nombreux (deux ouvrages dans chaque catégorie, contre 32 pour la catégorie « moins de cinq ») ; nos résultats ne sont donc pas réellement représentatifs. Certains ouvrages de la catégorie « moins de cinq » sont de plus encore entretenus à l'heure actuelle, leur score d'efficacité perçue est donc susceptible d'évoluer. La tendance demeure néanmoins à l'augmentation de l'efficacité perçue des ouvrages avec l'augmentation de la durée de leur entretien.

2.4) Le génie végétal, une méthode jugée satisfaisante ? (base de données A)

Évaluer la pertinence³² d'une méthode de gestion implique d'étudier son efficacité, mais aussi sa conformité aux attentes des acteurs qui la mettent en place. Il nous a semblé judicieux d'étudier ces éléments à l'échelle des projets plutôt qu'à celle des ouvrages de génie végétal. Lorsque nous les avons interrogés sur leur ressenti à l'issue des opérations de gestion, les enquêtés ont en effet exprimé des avis globaux, leur satisfaction semble donc résulter d'une impression d'ensemble plus que d'une conclusion ouvrage par ouvrage³³.

2.4.1) Attentes par rapport au génie végétal

Plusieurs raisons ont poussé les enquêtés à recourir au génie végétal pour réguler les renouées asiatiques. Ces dernières ont été dégagées et catégorisées à partir de la réponse donnée par les enquêtés à la question « Quel(s) facteur(s) vous-ont poussé à choisir cette méthode de gestion ? ». Elles sont détaillées dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

32 Telle que nous l'avons définie dans la partie « Matériels et méthodes » de ce travail

33 Nous avons donc, autrement dit, une donnée de satisfaction pour chaque enquêté, construite au fil de plusieurs ouvrages.

Catégorie (nom) et nombre d'occurrences	Signification
Opportunité (6)	Les acteurs avaient la possibilité (technique, matérielle ou financière) de mettre en place des techniques de génie végétal, et ont choisi de le faire.
Naturalité et impacts positifs pour le milieu (5)	Les acteurs souhaitaient s'inspirer des caractéristiques et du fonctionnement des milieux dans lesquels ils interviennent, voire renforcer ou créer certains services ou qualités (stabilisation des berges, résilience...).
Expérimenter (5)	Les acteurs voulaient tester des méthodes de génie végétal.
Conditions du site (3)	Le site d'intervention se prêtait à des opérations de génie végétal, ou seul le génie végétal pouvait être employé sur ce site.
Coûts (3)	Les acteurs souhaitaient mettre en place une méthode aux coûts financiers peu élevés.
Simplicité (2)	Les acteurs souhaitaient recourir à une méthode qui ne demandait pas de moyens (techniques notamment) importants, et qu'il était donc relativement aisé de mettre en œuvre
Reproductibilité (2)	Les acteurs souhaitaient trouver une méthode facilement applicable par d'autres et/ou dans d'autres contextes.

Tableau 2: Catégorisation des attentes des enquêtés

Le génie végétal apparaît d'abord comme une méthode de gestion en phase de test, c'est-à-dire qu'elle constitue un mode d'intervention parmi d'autres pour les enquêtés. L'importance des catégories « opportunité » (six occurrences) et « expérimenter » (cinq occurrences) le montre. Ce constat fait écho à ce que nous avons dit précédemment³⁴. L'une des attentes associées au génie végétal est la recherche de solution pour la gestion des renouées asiatiques. Les catégories « reproductibilité » (deux occurrences) et « simplicité » (deux occurrences) relèvent aussi de cette logique. Une autre attente associée au génie végétal est d'ordre écologique (« Naturalité et impacts positifs pour le milieu », cinq occurrences). Une dernière attente n'est pas nommée ici parce qu'elle a peu été exprimée nominalement par les enquêtés, alors qu'elle est présente en creux dans tous les entretiens. Il s'agit de l'attente de résultats : les enquêtés emploient le génie végétal dans l'espoir qu'il leur permette de réguler les massifs de renouées asiatiques implantés sur leur territoire d'intervention. Dans certains cas, les enquêtés ont choisi de recourir au génie végétal du fait de caractéristiques particulières des sites sur lesquels ils intervenaient. Le génie végétal semble alors être, pour certains acteurs, une méthode qu'ils choisissent quand ils ne peuvent pas recourir à d'autres modes de gestion. Il faut bien noter que les attentes que nous venons de détailler ne sont pas partagées par tous les

34 2) Comment gérer les renouées asiatiques ? Expérimentations et quête de LA solution

enquêtés, et que tous ne leur accordent pas la même importance : le tableau 2 indique qu'elles sont diverses, et qu'aucune à l'exception de l'attente de résultats n'a été évoquée unanimement par tous les enquêtés.

2.4.2) Facteurs d'insatisfaction

Le principal facteur d'insatisfaction cité par les enquêtés (Tableau 3) est le coût humain des projets de génie végétal (cinq occurrences). Le « temps » (quatre occurrences) joue aussi un rôle important dans le sentiment d'insatisfaction des acteurs. D'autres facteurs d'insatisfaction, le matériel nécessaire à la mise en place d'ouvrages de génie végétal et le fait que les enquêtés souhaitent améliorer leurs techniques à l'avenir, jouent un rôle minime (une occurrence chacun). Les coûts financiers, les résultats des opérations et le fait que les techniques mises en œuvre ne sont pas applicables à tous types de sites (catégorie « généralisation »), si ils ont été cités, ne sont pas non plus les principaux facteurs d'insatisfaction avancés par les enquêtés. Dans deux cas, les enquêtés ont dénoncé un manque de coordination entre les acteurs impliqués dans les projets de génie végétal (« coordination entre les acteurs »). Aucun facteur d'insatisfaction (NA) n'a été évoqué dans un cas. L'insatisfaction des enquêtés par rapport au génie végétal découle donc principalement des exigences de ces projets, en termes de main-d'œuvre et de temps de travail notamment. Le fait que les résultats ne sont pas immédiats apparaît aussi comme un obstacle important à la satisfaction des enquêtés.

Catégorie (nom) et nombre d'occurrences	Signification
Coûts humains (5)	Les projets de génie végétal mobilisent des équipes nombreuses, sur des durées importantes, pour un travail qui est souvent lassant, pénible.
Temps (4)	La mise en place et les résultats des projets de génie végétal ne sont pas immédiats.
Résultats (3)	Les projets réalisés n'ont pas eu les résultats escomptés sur les renouées asiatiques.
Généralisation (3)	Les méthodes de génie végétal ne peuvent pas être appliquées à tous types de site, ou dans des cas où les surfaces envahies par les renouées asiatiques sont trop importantes.
Coûts financiers (3)	Les projets de génie végétal coûtent cher.
Coordination entre les acteurs (2)	Les différents acteurs impliqués dans un ou des projets de génie végétal ont pris des décisions divergentes, qui ont eu une incidence sur les résultats.
Matériel (1)	Les projets de génie végétal demandent des moyens importants en termes de matériel (outils, machines...).
Possibilités d'amélioration (1)	La ou les méthodes employées pourraient être améliorées, en vue de donner de meilleurs résultats.
NA (1)	L'enquêté n'a pas exprimé de facteur d'insatisfaction.

Tableau 3: Catégorisation des facteurs d'insatisfaction évoqués par les enquêtés

2.4.3) Facteurs de satisfaction

Catégorie (nom) et nombre d'occurrences	Signification
Résultats (7)	Les projets menés ont eu de bons résultats en ce qui concerne les renouées asiatiques.
Milieu (3)	Les projets de génie végétal sont en adéquation avec les milieux existants.
Coûts financiers (2)	Les projets de génie végétal coûtent peu cher.
NA (2)	L'enquête n'a pas donné de facteur de satisfaction.
Simplicité (1)	Les projets de génie végétal sont simples, et par conséquent faciles à mettre en œuvre.
Compréhension (1)	Les projets qu'ils ont mené ont permis aux enquêtés d'acquérir une meilleure compréhension du génie végétal, et notamment des conditions de réussite et des délais.

Tableau 4: Catégorisation des facteurs de satisfaction évoqués par les enquêtés

Les enquêtés semblent trouver les résultats du génie végétal satisfaisants (sept occurrences). Leur satisfaction est cependant bien moindre en ce qui concerne les autres paramètres : chacun d'entre eux n'a en effet été mentionné qu'une à trois fois. Le génie végétal apparaît donc comme une méthode satisfaisante en termes d'effets sur les renouées asiatiques, mais qui n'est ni aussi simple (« simplicité ») ni aussi peu chère (« coûts financiers ») que les enquêtés le souhaiteraient. La visée écologique (« milieu ») des projets de génie végétal ne semble pas non plus être systématiquement remplie (trois occurrences). Un enquêté a signalé que les projets auxquels il avait participé lui avaient permis de mieux comprendre (« compréhension ») sous quels délais et conditions le génie végétal était efficace pour réguler les massifs de renouées asiatiques, ce qui le satisfaisait. Dans deux cas, les enquêtés n'ont pas cité de facteurs de satisfaction (« NA »).

Les écarts entre les différents facteurs (en terme de nombres d'occurrences) sont plus importants que dans le cas de l'insatisfaction (Tableau 3). Ceci peut laisser à penser que les résultats sont le principal critère de satisfaction des enquêtés, ou du moins celui qu'ils pensent à mentionner en premier lieu. Ce constat peut être dû à plusieurs éléments. Dans la mesure où les enquêtés avec lesquels nous avons échangé ont recouru au génie végétal dans le cadre de la gestion des renouées asiatiques, il n'est pas étonnant que le premier élément auquel ils pensent lorsqu'on les interroge sur leur ressenti soit les résultats de ces opérations de gestion. On peut aussi supposer que certaines de leurs attentes par rapport au génie végétal sont informelles, que les enquêtés n'en ont pas véritablement conscience. Dans ces conditions, ils ont pu ne pas mentionner leur satisfaction par rapport à ces dernières, et ce d'autant plus qu'ils n'étaient pas directement interrogés sur leurs attentes concernant le génie végétal et le degré de réponse des projets menés à ces attentes. Ces thèmes étaient en effet explorés par le biais d'une question ouverte³⁵, dont la formulation était volontairement

35 « Qu'avez-vous pensé de cette méthode de gestion ? »

vague : nous souhaitons recueillir toutes les impressions des enquêtés, aussi diverses soient-elles. Par conséquent, certains facteurs de satisfaction ont pu rester dans l'ombre, ou n'être qu'esquissés dans le cadre de cette étude.

V) Bilan/propositions : Plusieurs constats, et des pistes d'amélioration

À l'issue de l'analyse quantitative de nos jeux de données, plusieurs constats s'imposent. Cette analyse ouvre aussi la voie à des possibilités d'amélioration de nos résultats.

1) Principaux résultats de l'analyse quantitative

Nous avons esquissé un portrait du génie végétal en tant qu'outil de gestion des renouées asiatiques dans le bassin versant amont du Rhône. Entre le mois d'avril et le mois de mai 2019, nous avons recensé quarante-quatre ouvrages de génie végétal au sein de cet espace, dont nous avons analysé les caractéristiques, l'efficacité (perçue par les enquêtés) et l'adéquation aux attentes des enquêtés (satisfaction).

Certains éléments sont récurrents parmi les ouvrages que nous avons recensés. Les techniques de mise en concurrence sont privilégiées, et elles sont le plus souvent associées à des actions sur la couverture des sols (géotextile, paillasses). La majorité des ouvrages de génie végétal comportent trois étapes : la préparation du site d'implantation, la réalisation, et l'entretien. Au-delà de ces points communs, des différences subsistent quant aux modalités de réalisation des ouvrages. Par exemple, si certains types d'actions sont effectivement souvent associées, les techniques employées pour les réaliser sont susceptibles de varier. La majorité des ouvrages de génie végétal sont entretenus pendant les cinq années (environ) qui suivent leur réalisation. Les modalités d'entretien sont homogènes (méthodes mécaniques simples répétées pendant la saison végétative).

Les ouvrages de génie végétal que nous avons recensés sont à l'heure actuelle d'une efficacité plutôt mitigée ; la tendance est cependant plus au succès qu'à l'échec. Les ouvrages efficaces sont en effet légèrement plus nombreux que les ouvrages inefficaces, et la principale limite (citée par les enquêtés) à l'efficacité des ouvrages est le délai entre leur réalisation et les premiers résultats visibles. Ces délais tendront probablement à s'estomper au fur et à mesure que les ouvrages gagneront en ancienneté. Au-delà de ce constat général, l'analyse quantitative n'a pas mis au jour de trajectoires d'efficacité. Certains paramètres (nombre de techniques employées, itinéraire technique, durée totale des opérations d'entretien) semblent cependant jouer un rôle plus important que d'autres (âge des ouvrages, opérations d'entretien) dans ce domaine, et certains éléments pourraient contribuer à augmenter les chances de succès des ouvrages (associer deux techniques, entretenir les ouvrages pendant cinq ans ou plus).

Malgré les résultats plutôt encourageants des ouvrages recensés, la satisfaction des enquêtés vis-à-vis du génie végétal demeure modérée. En effet, leurs autres attentes ne sont pas entièrement remplies. Les coûts

humains (temps de travail, main-d'œuvre exigée, pénibilité du travail) du génie végétal sont notamment pointés du doigt. Les motifs d'insatisfaction qui ressortent de notre analyse peuvent faire écho à des contraintes financières, techniques et matérielles dont on devine, au vu des propos des enquêtés et des modes d'action privilégiés au sein des ouvrages, qu'elles influencent les opérations de génie végétal mises en place dans le bassin versant amont du Rhône.

2) Des améliorations possibles

Les résultats auxquels nous sommes parvenus sont susceptibles d'être améliorés. Il pourrait en particulier être intéressant de retranscrire les entretiens que nous avons réalisés dans leur totalité, et de procéder ensuite à une analyse linguistique (analyse de données textuelles par exemple) de leur contenu. Ceci serait un moyen d'obtenir un compte-rendu plus fin des perceptions et des représentations des acteurs, et par ricochet de leur satisfaction.

L'efficacité des ouvrages dépend en partie de leur capacité à réguler les massifs de renouées asiatiques. Cette capacité est en fait, sur le temps long, liée à leur incidence³⁶ écologique, c'est-à-dire à la manière dont ils affectent les communautés d'êtres vivants (faune et flore). L'incidence écologique dépend de plusieurs paramètres, qui ne peuvent pas tous être évalués au-travers d'entretiens téléphoniques ; nous n'avons donc pu formuler qu'une appréciation partielle de l'efficacité des ouvrages recensés. Les modalités de réalisation et d'entretien des ouvrages, ainsi que leur ancienneté, contribuent à déterminer le type de milieu qui est mis en place à l'issue des opérations, et les fonctions qui lui sont associées. Ces éléments favorisent certains organismes plus que d'autres, et influencent donc l'incidence écologique des ouvrages. Les ouvrages, cependant, remplacent un autre milieu, en l'occurrence un peuplement rivulaire monospécifique de renouées asiatiques, milieu qui assurait aussi des fonctions (production tardive de nectar notamment). Ils s'insèrent enfin dans une mosaïque existante de milieux, avec leurs organismes et leurs fonctions spécifiques. L'incidence écologique des ouvrages de génie végétal dépend donc notamment du gain ou de la perte de fonctionnalité qu'ils représentent par rapport au milieu qu'ils remplacent, et de leurs interactions avec un contexte plus large, qu'ils peuvent compléter ou prolonger mais duquel ils peuvent aussi être séparés, car trop différents. Elle se construit aussi dans la durée, dans la mesure où certaines fonctions dépendent des saisons, ou ne se mettent pas en place immédiatement. Afin de mieux étudier l'incidence écologique des ouvrages de génie végétal, il pourrait être utile de se référer à une grille fixe de critères évaluant le milieu créé (composition et fonctions), et son articulation avec son contexte. Cette grille serait remplie à partir d'observations faites sur site, pour obtenir des données plus objectives et plus complètes que celles collectées par téléphone. Le fait de se référer à une grille permettrait de mieux comparer les ouvrages entre eux, et de mieux suivre leurs évolutions d'année en année. On pourrait donc mieux caractériser l'incidence écologique des ouvrages, et les classer selon un gradient d'incidence écologique (d'incidence

36 « Conséquence directe et inévitable d'un fait sur un autre, sur le déroulement de quelque chose », Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (source : <https://www.cnrtl.fr/definition/incidence>, consulté le 22/05/2019)

écologique négative à incidence écologique positive). Le tableau 5 constitue une première proposition de critères à prendre en compte.

Résultats et fonctionnalités de l'ouvrage	
Âge de l'ouvrage	Mesurer le temps écoulé depuis sa réalisation
Techniques employées et nombre total de techniques	Dresser la liste des techniques employées, en précisant lors de quelle phase (préparation/réalisation/entretien) elles ont été utilisées et comment elles s'articulent, et les compter
Types de végétaux et essences végétales employés	Répartir les végétaux en trois catégories (herbacé/arbustif/arboré) et, pour chaque catégorie, lister les essences employées
Ouvrage entretenu	Noter si des opérations d'entretien des ouvrages ont été effectuées
Modalités d'entretien	Décrire l'entretien effectué au travers de trois éléments : saison d'entretien, durée totale, méthode
Type de milieu créé	Caractériser le milieu mis en place au travers de l'ouvrage de génie végétal, au-travers de catégories préétablies (forestier, zone humide...)
Fonctions assurées par l'ouvrage	Décrire les fonctions écosystémiques assurées ou susceptibles d'être assurées par l'ouvrage, en suivant des catégories préétablies
Organismes susceptibles d'être favorisés par l'ouvrage	Relier les fonctions précédemment décrites à des organismes (familles) et à leurs préférences
L'ouvrage par rapport à son contexte spatial	
Dimensions de l'ouvrage	Mesurer la longueur et la largeur de l'ouvrage (en mètres)
Type(s) de milieu(x) à proximité de l'ouvrage	Caractériser les milieux à proximité de l'ouvrage, en suivant des catégories préétablies
Fonction(s) assurée(s) par ces milieux	Décrire les fonctions écosystémiques assurées ou susceptibles d'être assurées par ce(s) milieu(x), à partir de catégories préétablies
Localisation de l'ouvrage par rapport au cours d'eau	Dire dans quelle zone se situe l'ouvrage (berge/lit mineur/lit moyen/lit majeur) et à quelle distance (en mètres, ligne droite) il est du cours d'eau
Organismes présents dans les environs de l'ouvrage	Répertorier les organismes (familles) qui fréquentent ou sont susceptibles de fréquenter le(s) milieu(x) à proximité de l'ouvrage, et caractériser leurs relations

Tableau 5: Proposition de critères à prendre en compte pour évaluer l'incidence écologique des ouvrages de génie végétal

VI) Conclusion : Des analyses qui mettent en évidence la pertinence en demi-teinte du génie végétal, et des perspectives

1) Un travail, plusieurs étapes

Les travaux publiés au sujet des renouées asiatiques mettent en évidence leur fort potentiel invasif, et les conséquences écologiques et socio-économiques majoritairement délétères de cette invasion biologique. Ce constat est à la source d'une volonté de gestion des renouées asiatiques et de restauration des milieux envahis. Les solutions manquent cependant encore pour faire de cette volonté une réalité. Plusieurs méthodes de gestion sont expérimentées, mais elles répondent inégalement aux attentes des gestionnaires de cours d'eau et des autres acteurs impliqués dans le devenir des milieux rivulaires. Dans ce contexte, une évaluation de la pertinence d'une de ces méthodes, le génie végétal, en tant qu'outil de gestion des effets indésirables des renouées asiatiques semblait nécessaire. Ce questionnement est d'ordre écologique (restauration de milieux et de fonctions) et gestionnaire (trouver une solution efficace et satisfaisante). Nous avons constitué un corpus d'ouvrages et de projets de génie végétal en lien avec les renouées asiatiques, principalement par le biais d'entretiens téléphoniques. Deux bases de données ont été créées à partir des informations collectées ; elles ont été le support d'une analyse quantitative en trois étapes. Nous avons tout d'abord décrit les ouvrages recensés, d'un point de vue technique (techniques employées, associations et nombres de techniques, entretien des ouvrages et ses modalités), notamment parce que ces caractéristiques des ouvrages peuvent contribuer à modéliser leurs effets sur les milieux, et révéler des attentes et des contraintes qui sous-tendent les opérations de gestion. La pertinence du génie végétal a ensuite été explorée plus avant par le biais d'une analyse de l'efficacité des ouvrages (perçue par les enquêtés), et de la satisfaction exprimée par les acteurs interrogés.

2) Pertinence en demi-teinte du génie végétal, et perspectives

Le génie végétal se caractérise par une pertinence en demi-teinte : il ne répond pas complètement aux objectifs et aux attentes des acteurs qui y recourent. Les ouvrages mis en place semblent bien réguler les massifs de renouées asiatiques, mais les autres attentes des acteurs ne sont pas assez satisfaites. Le temps de travail qu'impliquent les opérations de génie végétal et le décalage entre l'installation des ouvrages et l'apparition de leurs premiers effets ont notamment été évoqués de manière récurrente sur le ton du regret. Ces conclusions sont partielles : elles portent plus sur l'aspect gestionnaire (attentes et résultats) de notre questionnement que sur sa partie écologique (milieux créés, fonctionnalité, effets sur les communautés d'êtres vivants). Ceci est notamment dû au format de notre étude : certaines données ne peuvent pas, ou plus difficilement, être collectées par le biais d'entretiens téléphoniques. Il pourrait donc être intéressant d'affiner et de compléter nos résultats par des recours à d'autres méthodes d'analyse (analyse de données textuelles) et de collecte des données (suivi pluri-annuel *in situ* des ouvrages de génie végétal répertoriés). Le projet sur l'envahissement des berges de cours d'eau mené par Irstea et l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse se poursuit jusqu'en 2021. L'exploration du génie végétal, et plus particulièrement de son incidence

écologique, sera peut être prolongée. Nos résultats fournissent des pistes quant à la poursuite de cette étude : ils nous ont notamment permis d'élaborer une première proposition de critères à prendre en compte pour évaluer l'incidence écologique des ouvrages de génie végétal.

Les conclusions de ce travail ont des échos hors de notre cas d'étude. Les opérations de restauration des milieux envahis relèvent d'impératifs écologiques et de représentations (esthétiques notamment), de l'idée d'un état initial et d'une nature idéale auxquels il faudrait revenir (Cottet *et al.*, 2018; Tassin et Kull, 2015). Elles révèlent donc la dualité de la « nature », à la fois réalité biologique et construction sociale, qui suscite de l'inquiétude quand elle semble s'affranchir des espaces et des fonctions qui lui étaient assignés.

* * *

VII) Bibliographie

- ADAM Philippe, DEBIAIS Nicolas, LACHAT Bernard et GERBER François, 2008, « Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques », 2008, 290 p.
- ALBOUY Vincent, 2017, *Étonnants envahisseurs. Ces espèces venues d'ailleurs.*, Quae., s.l., 159 p.
- BARBAULT Robert et ATRAMENTOWICZ Martine, 2010, *Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés*, Quae., s.l., (coll. « Synthèses »), 179 p.
- BOSSARD Philippe, 2015, « Les zones non traitées par les produits phytopharmaceutiques au voisinage des points d'eau. Le rôle des inspecteurs de l'environnement. » dans *Guide technique de l'inspecteur de l'environnement « Eau et nature » chargé de contrôler l'utilisation des produits phytopharmaceutiques*, s.l., Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), 6 p.
- BOYER Mireille, 2007, « Les plantes invasives à la conquête des montagnes », 12 p.
- BOYER Mireille, 2002, « Cartographie des renouées du Japon sur le réseau hydrographique du bassin Rhône Méditerranée Corse (hors Saône-Doubs) », intervention lors des Journées Techniques Nationales « Renouées », Besançon, 19 et 20 juin 2002.
- CHILD Lois et WADE Max, 2000, *The Japanese knotweed manual. The Management and Control of an Invasive Alien Weed*, Packard Publishing Limited., s.l., 123 p.
- Concept.Cours.d'EAU SCOP et TERE0, 2016f, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE. Étude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 1: État des savoirs et savoir-faire*, s.l.
- COQUILLART Hervé, 2005, « Approche méthodologique de la problématique des espèces invasives », s.l.
- COTTET Marylise, CORDANI Céline, PIOLA Florence et RIVIÈRE-HONEGGER Anne, 2012, « Optimiser la gestion de la Renouée du Japon : quel apport d'une analyse des discours gestionnaires ? », *INVASIVE SPECIES*, 3 p.
- COTTET Marylise, PIOLA Florence, LE LAY Yves-François, ROUFED Soraya et RIVIÈRE-HONEGGER Anne, 2015, « How environmental managers perceive and approach the issue of invasive species: the case of Japanese knotweed s.l. (Rhône River, France) », *Biological Invasions*, vol. 17, n° 12, p. 3433-3453.
- COTTET Marylise, RIVIÈRE-HONEGGER Anne, EVETTE André, PIOLA Florence, ROUFED Soraya, DOMMANGET Fanny, VAUDOR Lise et VALY Janique, 2018, « Représentations et pratiques de gestion

des renouées asiatiques : intègrent-elles les dynamiques à long terme des écosystèmes ? », *Géocarrefour*, vol. 92, 20 pages

- DAVIS Emily S., KELLY Ruth, MAGGS Christine A. et STOUT Jane C., 2018, « Contrasting impacts of highly invasive plant species on flower-visiting insect communities », *Biodiversity and Conservation*, vol. 27, n° 8, p. 2069-2085.
- DELAGE Camille, EVETTE André, DAUMERGUE Nathan, HUYGHE Ghislain et JACOB Frederick, 2017, « Évaluation de la réussite de l'ouvrage de protection de berges de la Romanche au barrage de Livet, réalisé à l'aide de techniques de génie végétal », 7 p.
- DELBART Emmanuel, MAHY Grégory, WEICKMANS Bernard, HENRIET François, CRÉMER Sébastien, PIERET Nora, VANDERHOEVEN Sonia et MONTY Arnaud, 2012, « Can Land Managers Control Japanese Knotweed? Lessons from Control Tests in Belgium », *Environmental Management*, vol. 50, n° 6, p. 1089-1097.
- DUFOUR Simon, 2005, *Contrôles naturels et anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme et Rhône)*, s.l.
- DUTARTRE Alain, 2010, « Chapitre 4. Peut-on gérer les invasions biologiques? » dans *Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés*, Quae., s.l.(coll. « Synthèses »), p. 109-153.
- FRIED Guillaume, 2012, *Guide des plantes invasives*, Belin., s.l., (coll. « Les guides des ... Fous de nature! »), 272 p.
- LAVOIE Claude, 2017, « The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives », *Biological Invasions*, vol. 19, n° 8, p. 2319-2337.
- LEWIS Simon L. et MASLIN Mark A., 2015, « Defining the Anthropocene », *Nature*, vol. 519, n° 7542, p. 171-180.
- LOWE Sarah., BROWNE Michael., BOUDJELAS Souyad. et DE POORTER Maj, 2007, « 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. », 12 p.
- PYŠEK Petr, 2006, « *Fallopia Japonica* », fiche rédigée dans le cadre du programme Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE)
- RIGLING Daniel, HILFIKER Sandra, SCHÖBEL Corine, MEIER Franz, ENGESSER Roland, SCHEIDEGGER Christoph et STOFER Silvia, 2016, « Le dépérissement des pousses du frêne », *Not. Prat.*, 8 p.
- ROBINSON Beth S., INGER Richard, CROWLEY Sarah L. et GASTON Kevin J., 2017, « Weeds on the web: conflicting management advice about an invasive non-native plant », *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, n° 1, p. 178-187.
- TASSIN Jacques et KULL Christian A., 2015, « Facing the broader dimensions of biological invasions », *Land Use Policy*, vol. 42, p. 165-169.
- VUILLEMENOT Marc, 2016, « La flore invasive de Franche-Comté: la Renouée du Japon (*Reynoutria Japonica* Houtt.), la Renouée de Sachaline (*Reynoutria sachalinensis* (F.Schmidt) Nakai), la Renouée de Bohême (*Reynoutria bohemica* Chrtek&Chrtkova) ».
- « La Joie de la maison : journal hebdomadaire illustré », 12 avril 1894, 5 p.

VIII) Sitographie

- Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL): <https://www.cnrtl.fr/definition/incidence> (consulté le 22/05/2019)
- BNF Gallica : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k54804899/f14.image.r=%22renou%C3%A9e%20du%20Japon%22?rk=214593;2> (consulté le 18/04/2019)
- Inventaire National du Patrimoine Naturel : <https://inpn.mnhn.fr/programme/especes-exotiques-envahissantes> (consulté le 18/04/2019)
- <http://fallopia.japonica.pagesperso-orange.fr/identifier.html> (consulté le 02/05/2019)

Index des illustrations

Illustration 1: Extrait d'une fiche sur Reynoutria japonica élaborée par Petr Pyšek en 2006 dans le cadre du programme DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe).....	8
Illustration 2: Graphique - Techniques employées.....	17
Illustration 3: Graphique - Association de techniques de mise en concurrence végétale et de techniques de préparation des sols.....	19
Illustration 4: Graphique - Techniques employées (entretien).....	20
Illustration 5: Graphique - Efficacité perçue globale.....	22
Illustration 6: Graphique - Efficacité perçue en fonction de l'âge.....	23
Illustration 7: Graphique – Lien entre efficacité et itinéraire technique.....	24
Illustration 8: Graphique - Score d'efficacité en fonction du nombre de techniques.....	25
Illustration 9: Graphique - Lien entre efficacité et entretien des ouvrages (en pourcentages).....	26
Illustration 10: Graphique - Scores d'efficacité en fonction de la durée de l'entretien (années).....	27

Index des tableaux

Tableau 1: Principales caractéristiques physiologiques et morphologiques des renouées asiatiques.....	6
Tableau 2: Catégorisation des attentes des enquêtés.....	28
Tableau 3: Catégorisation des facteurs d'insatisfaction évoqués par les enquêtés.....	30
Tableau 4: Catégorisation des facteurs de satisfaction évoqués par les enquêtés.....	30
Tableau 5: Proposition de critères à prendre en compte pour évaluer l'incidence écologique des ouvrages de génie végétal.....	34

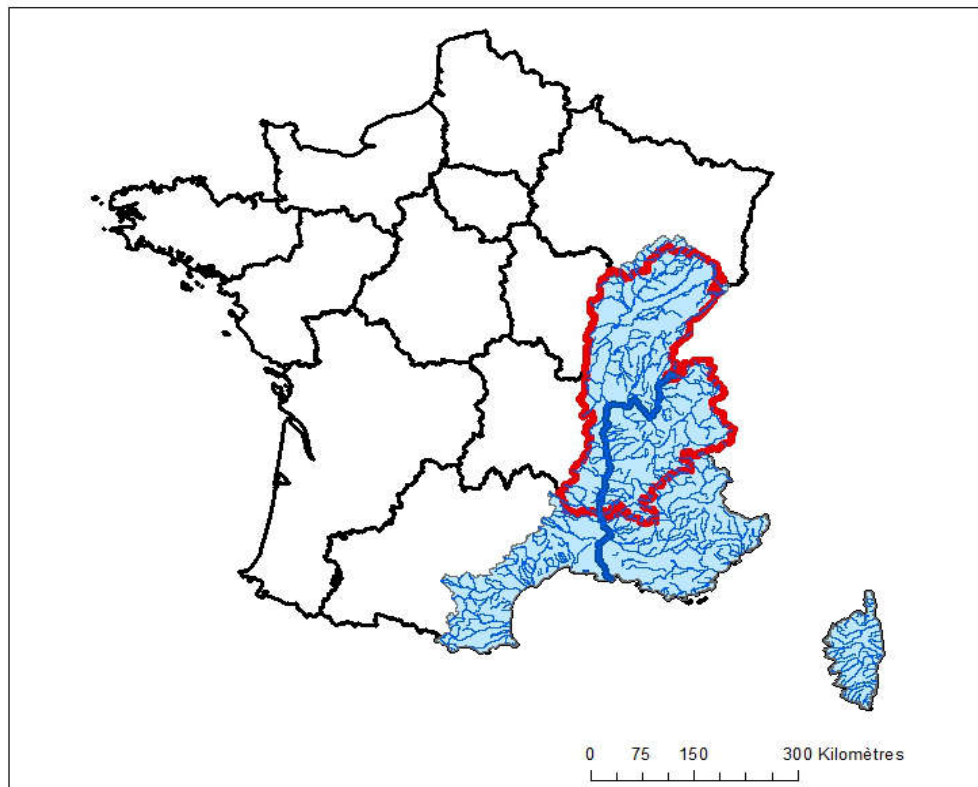
Annexes

Contenu des annexes :






- Document n°1** : Extrait de la « Fiche Action » Irstea -Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse (cadre global du projet)
- Document n°2** : Extrait de la « Fiche Action » Irstea -Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse (deuxième volet du projet)
- Document n°3** : Le bassin versant amont du Rhône
- Document n°4** : Déplacement du cours de l'Albarine à Argis, un projet qui mêle génie végétal et génie civil
- Document n°5** : Liste des documents consultés lors de la revue bibliographique
- Document n°6** : Liste des documents complémentaires rassemblés sur les opérations recensés
- Document n°7** : Liste des 28 opérations de génie végétal recensées
- Document n°8** : Guide utilisé au cours des entretiens téléphoniques
- Document n°9** : Contrat de cession des droits relatif aux entretiens téléphoniques
- Document n°10** : Glossaire indicatif du génie végétal



Localisation du bassin versant amont du Rhône



Réalisation: Vincent BRETON, Héroïse DUC
Fonds de carte: IGN

-  Réseau hydrographique du bassin versant du Rhône, et de la Corse
-  le Rhône
-  Bassin versant amont du Rhône
-  Espace d'étude de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse (RMC): Bassin versant du Rhône et Corse
-  France (régions)

FICHE ACTION

N° ACTION (ne pas remplir)	GROUPEMENT IRSTEA Grenoble	UNITÉ DE RECHERCHE LESSEM
Intitulé	Envahissement des berges de cours d'eau : l'évolution des communautés végétales rivulaires est-elle réelle et inéluctable ?	
Contexte	<p>Les espèces exotiques envahissantes (EEE), ou espèces invasives, ont pris une place importante dans les cortèges floristiques des ripisylves. On y assiste depuis plusieurs décennies à une évolution des communautés végétales qui tend à un remplacement progressif des espèces natives par des EEE. Il est admis que les milieux rivulaires sont particulièrement affectés par les invasions végétales. On peut expliquer cette sensibilité par trois principaux facteurs : 1) les perturbations liées aux dynamiques hydrologiques (crues...) qui créent des opportunités pour le développement des EEE, 2) l'impact des activités anthropiques et les perturbations qui en découlent sur les communautés végétales et animales, et qui sont particulièrement marquées dans ces milieux (aménagement des berges, modification des régimes de crues, urbanisation, dépôts...) et 3) l'effet de corridor de ces milieux qui joue un rôle favorable sur les continuités écologiques, mais qui constitue aussi un vecteur de propagation des EEE.</p> <p>Les EEE sont de plus en plus prises en compte par les gestionnaires de cours d'eau, en témoignent les nombreux plans d'actions et préconisations spécifiques dans les outils de gestion (SDAGE, ...). Il est cependant noté un manque de connaissance sur les dynamiques des espèces invasives, de même que sur leurs impacts sur la biodiversité, les fonctions et services rendus par les berges de cours d'eau, ou encore sur le caractère réversible ou non de l'envahissement.</p>	

Extrait de la « Fiche action » décrivant le projet dans lequel mon stage s'insère - Présentation générale du projet

Document n°2

Extrait de la fiche action décrivant le deuxième volet du projet Irstea-Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse sur l'invasion des berges de cours d'eau (cadre de mon stage)

Partie 2 : Réversibilité et restauration active - Cas d'étude de la restauration des berges envahies par les renouées asiatiques.

Les renouées asiatiques correspondent à un complexe d'espèces parmi les plus envahissantes au monde. Elles colonisent en particulier les berges de cours d'eau où elles se dispersent à la faveur des crues et forment rapidement des monocultures très denses. Outre le fait qu'elles impactent la biodiversité végétale spontanée par exclusion compétitive, elles sont également reconnues pour modifier le fonctionnement biochimique du sol. Elles affectent également la composition et la structure des communautés d'invertébrés terrestres. Cependant, elles sont nectarifères et leur intérêt pour les insectes pollinisateurs a été démontré récemment⁴. Les effets des renouées asiatiques ne sont donc pas exclusivement négatifs et aucune étude multitrophique intégrant plusieurs composantes essentielles du fonctionnement d'un écosystème (sol, végétaux, communautés de pollinisateurs) n'existe encore.

L'omniprésence des renouées asiatiques dans nos milieux rivulaires poussent les gestionnaires à agir, afin de ralentir leur développement et d'atténuer leurs impacts. Le génie écologique consistant à introduire des végétaux compétitifs dans les zones envahies par les renouées asiatiques présente plusieurs intérêts : en plus de réduire le développement des renouées asiatiques, il permet également de reconstituer une communauté végétale compétitive plus proche de celles s'établissant spontanément dans ces milieux, tout en s'appuyant sur les capacités

³ Piola, F. et al. (2016). *Analyse multi-échelles des filtres environnementaux limitant l'invasibilité des berges de cours d'eau par les renouées asiatiques (Fallopia sp.): le cas de la Saône*. 102p.

⁴ Davis et al. (2018), *Contrasting impacts of highly invasive plant species on flower-visiting insect communities*, Biological Conservation.

d'auto-organisation des systèmes vivants. Les opérations de restauration écologique des zones envahies peuvent ainsi participer à la reconstitution de nouvelles communautés végétales, y intégrant les renouées asiatiques mais réduisant leur caractère dominant, en limitant les actions humaines à la plantation / bouturage des espèces natives et leur entretien les premières années. Cependant, aucune information à ce jour n'existe sur l'effet de ces pratiques sur le fonctionnement écosystémique, que ce soit sur le retour de la flore spontanée, les composantes biochimiques du sol ou encore les communautés d'insectes qu'elles supportent. De même, il existe très peu de retour d'expérience sur les résultats à moyen terme de ces travaux pourtant lancés en très grand nombre par les gestionnaires.

Le deuxième volet du projet comprendra trois parties :

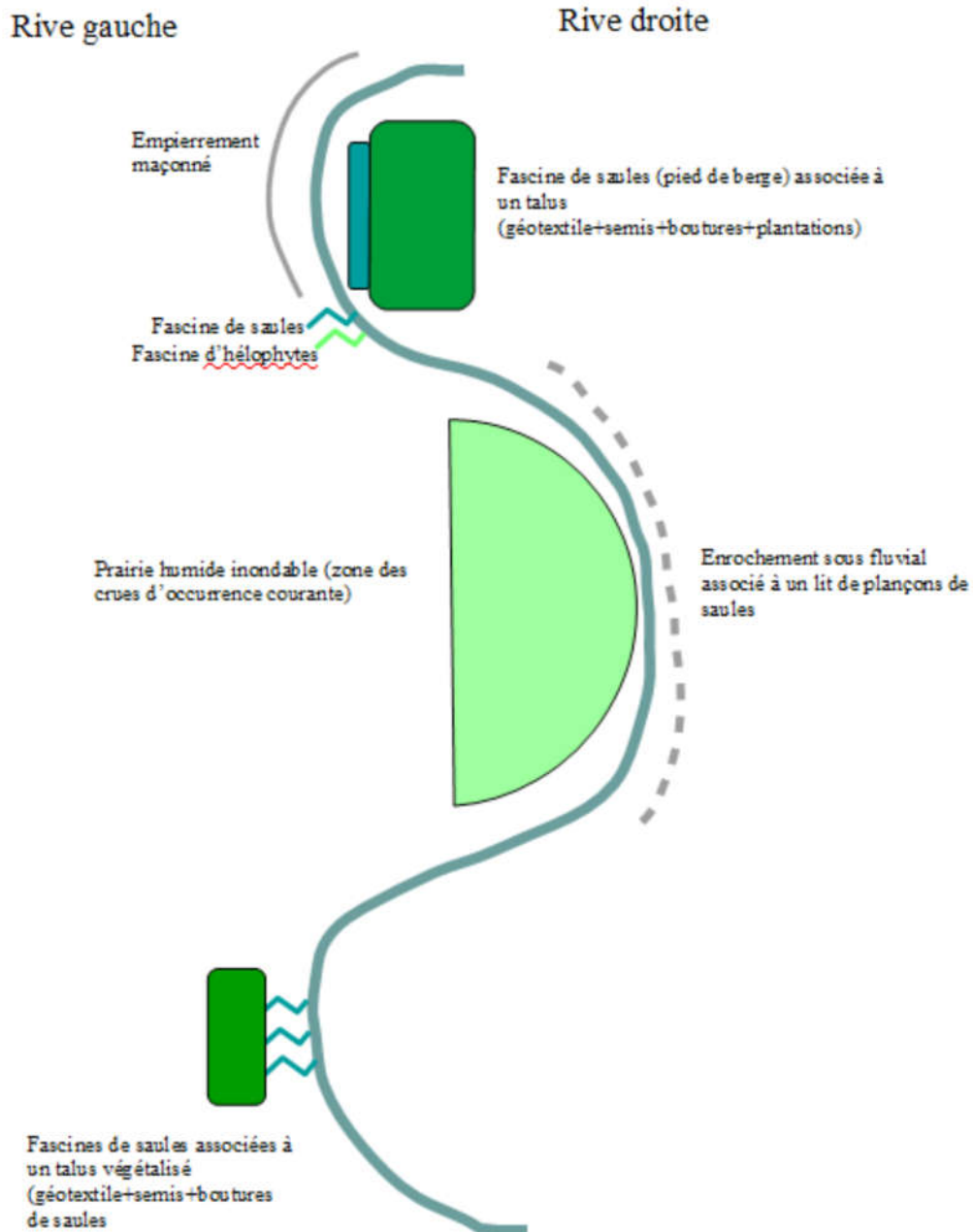
2.1. Construction d'une base de données des ouvrages de génie écologique utilisés pour le contrôle des renouées asiatiques, sur la base d'une revue de la littérature grise et scientifique et d'enquêtes auprès des gestionnaires.

Extrait de la "Fiche action" qui détaille le projet dans lequel mon stage s'insère - Présentation et premières étapes du deuxième volet du projet

Document n°3
Le bassin versant amont du Rhône

Document n°4

Déplacement du cours de l'Albarine (en bleu-vert) au niveau d'Argis (01): un projet qui mêle génie végétal et génie civil



Modification du cours de l'Albarine, un aménagement au sein duquel génie végétal et génie civil ont été associés.

Source (description du projet) : ADAM PHILIPPE, NICOLAS DEBIAIS, FRANÇOIS GERBER et BERNARD LACHAT, « Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques », 290 pages

Document n°5

Liste des documents consultés lors de la revue bibliographique

- ADAM P., DEBIAIS N., GERBER F. ET LACHAT B., 2008, « Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques », 2008, p. 290.
- AGÉBIO, « Bulletin d'information n°11. Recensement des actions de lutte menées en France métropolitaine contre des espèces exotiques envahissantes ».
- AGENCE DE L'EAU RHÔNE-MÉDITERRANÉE CORSE « Etat de lieux des espèces exotiques envahissantes par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse (extrait, pages 85 et 86) ».
- ALBOUY V., 2017, *Etonnants envahisseurs. Ces espèces venues d'ailleurs.*, Quae., s.l., 159 p.
- ANDERSON H., « Invasive Japanese Knotweed (*Fallopia Japonica* (Houtt.)). Best Management Practices in Ontario. »
- ASSOCIATION ECHEL, « Régulation des renouées asiatiques. Fiche technique n°1: gestion des rives ou des espaces délaissés ».
- ASSOCIATION ECHEL, « Régulation des renouées asiatiques. Fiche technique n°2: gestion des voiries ou dépendances routières. »
- ASSOCIATION ECHEL, « Régulation des renouées asiatiques. Fiche technique n°3: gestion des jardins et espaces verts ».
- ASSOCIATION ECHEL, 2002, *Actes des Journées Techniques Nationales « Renouées »*, Besançon.
- ASSOCIATION POUR LA DIFFUSION DE LA PENSÉE FRANÇAISE (ADPF), 2011, « Biodiversité et changements globaux. Glossaire ».
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2010a, « Renouées du Japon: gestion et lutte. Programme de la journée technique d'information et d'échanges du mardi 29 juin 2010 à Epinouze (26). »
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2010b, « Renouées du Japon: gestion et lutte. Document de séance de la journée technique d'information et d'échanges du mardi 29 juin 2010 à Epinouze (26). »
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2010c, « Association Rivière Rhône Alpes. Réseau des acteurs pour la gestion globale des milieux aquatiques et de l'eau. Proposition d'action pour le programme d'activité 2010 ».
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2010d, « Assemblée générale 2010 (compte-rendu) de l'Association Rivière Rhône-Alpes (ARRA) ».
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2011, « Renouées du Japon: gestion et lutte. Programme de la journée du 6 juin 2011 au Bourget du Lac (73) ».
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2017a, « Liste des participants à la journée technique "Intégrer la biodiversité dans les projets de territoire" du mardi 21 mars 2017 (Bourgouin-Jallieu) ».
- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), 2017b, *Actes de la journée « La gestion des Espèces Exotiques Envahissantes »*. Journée technique d'information et d'échanges., Poisy.

- ASSOCIATION RIVIÈRE RHÔNE ALPES (ARRA), *Renouées du Japon: gestion et lutte. Actes des journées techniques.*, s.l.
- BARBAULT R. et ATRAMENTOWICZ M., 2010, *Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés*, Quae., s.l., (coll. « Synthèses »), 179 p.
- BARTHOD L., BOYER M. et BLOTTIÈRE D., « Prévention du risque de dissémination des renouées asiatiques via le compostage industriel - Etude de la survie des tiges, rhizomes et graines (Savoie) ».
- BOSSARD P., 2015, « Les zones non traitées par les produits phytopharmaceutiques au voisinage des points d'eau. Le rôle des inspecteurs de l'environnement. » dans *Guide technique de l'inspecteur de l'environnement « Eau et nature » chargé de contrôler l'utilisation des produits phytopharmaceutiques*, s.l., Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), p. 6.
- BOTTNER B., « Guide d'identification des rhizomes de Renouée du Japon ».
- BOYER M. et BARTHOD L., 2017, « Plans d'action contre la dispersion des plantes invasives: du diagnostic à l'organisation de leur mise en oeuvre ».
- BOYER M., « Les plantes invasives à la conquête des montagnes », p. 12.
- BOYER M., 2002, « Cartographie des renouées du Japon sur le réseau hydrographique du bassin Rhône Méditerranée Corse (hors Saône-Doubs) », Besançon.
- BOYER M., 2003, « L'entretien des boisements de berge: de nouveaux enjeux, de nouvelles stratégies », *Forêt méditerranéenne*, 2003, XXIV, n° 3, p. 334.
- BOYER M., 2007, « Les plantes invasives à la conquête des montagnes »
- BOYER M., 2010, « Les renouées du Japon: stratégie et techniques de lutte ».
- BOZEC M., 2012, « Expérimentation de pâturage de renouée par des chèvres rustiques ».
- BRANQUART E., TROJAN M. et VANPARYS V., 2018, « Les renouées asiatiques en Wallonie. 10 techniques pour mieux les combattre. »
- CENTRE DE CONSERVATION DE LA FAUNE ET DE LA NATURE - CANTON DE VAUD, 2007, « Plantes exotiques envahissantes: recommandations et techniques de lutte. Renouée du Japon. »
- CHAMBAUD F., 2017, « Stratégie et perspectives dans les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Etat des savoirs et des savoir-faire sur les EEE, enseignements de l'étude de l'agence de l'eau. »
- CHERNEY L., 2009, « Hood Canal Region Knotweed Strategy ».
- CHILD L. et WADE M., 2000, *The Japanese knotweed manual. The Management and Control of an Invasive Alien Weed*, Packard Publishing Limited., s.l., 123 p.
- CLER S., 2017, « La Renouée du Japon. Guide d'aide à l'évacuation en déchetterie ».
- CLERMONT S., JACOB F. et BROCHIER V., 2017, « Avancement projet FUI et activités à venir ».
- COMITÉ INTERSYNDICAL POUR L'ASSAINISSEMENT DU LAC DU BOURGET (CISALB), 2017, « Stratégie de gestion de la renouée du Japon. Bassin versant lac du Bourget ».
- COMITÉ ZIP JACQUES CARTIER, « Projet renouée japonaise ».
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016a, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 2: Listes de référence et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE*, s.l.

- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016b, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 2: Listes de référence et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE*, s.l.
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016c, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 2: Listes de référence et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE*, s.l.
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016d, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 2: Listes de référence et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE*, s.l.
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016e, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 1: Etat des savoirs et savoir-faire*, s.l.
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016f, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE. Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 1: Etat des savoirs et savoir-faire*, s.l.
- CONCEPT.COURS.D'EAU SCOP et TERE0, 2016g, *Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en oeuvre des SDAGE (réf. 062). Etude réalisée pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 1-volume 1*, s.l., Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE HAUTE-SAVOIE, 2015, « Fiche de relevé Espèce Exotique Envahissante ».
- CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ISÈRE, « Une ennemie coriace: la renouée asiatique! "Techniques de lutte contre l'invasion des bords de route" ».
- CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ISÈRE, 2014, « Renouées asiatiques. Action "routes" du département 38 ».
- CONSEIL GÉNÉRAL DE LA MAYENNE, « Expérimentations de gestion de la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*) par pâturage dans le département de la Mayenne ».
- CONSEIL GÉNÉRAL DE SAVOIE, « La Renouée du Japon ».
- CONSEIL GÉNÉRAL DES ALPES (CG05)« Alerte aux plantes invasives. Les renouées du Japon ».
- CONSERVATOIRE DES ESPACES ET PAYSAGES D'Auvergne, 2010, « Atelier 1: Mobilisation des acteurs et communication. Campagne de sensibilisation en région Auvergne. »
- COQUILLART H., 2005, « Approche méthodologique de la problématique des espèces invasives », s.l.
- CORNWALL KNOTWEED FORUM et DEVON KNOTWEED FORUM, « Japanese Knotweed. Guidance for Identification and Control ».
- COSTA P., ZAKARIA Y., CAVRIL A., GARDEUX P., ROUX V., CASELLA A. et RASLE A., « Label écologique et services écosystémiques des rivières sauvages: application à la rivière française Valserine », p. 21.

- COTTET M., CORDANI C., PIOLA F. et RIVIÈRE-HONEGGER A., 2012, « Optimiser la gestion de la Renouée du Japon : quel apport d'une analyse des discours gestionnaires ? », *INVASIVE SPECIES*, 2012, p. 3.
- COTTET M., PIOLA F., LE LAY Y.-F., ROUIFIED S. et RIVIÈRE-HONEGGER A., 2015, « How environmental managers perceive and approach the issue of invasive species: the case of Japanese knotweed s.l. (Rhône River, France) », *Biological Invasions*, décembre 2015, vol. 17, n° 12, p. 3433-3453.
- COTTET M., RIVIÈRE-HONEGGER A., EVETTE A., PIOLA F., ROUIFIED S., DOMMANGET F., VAUDOR L. et VALY J., 2018, « Représentations et pratiques de gestion des renouées asiatiques : intègrent-elles les dynamiques à long terme des écosystèmes ? », *Géocarrefour*, 6 février 2018, vol. 92, n° 92.
- CPIE DES MONTS DU PILAT/CONSEIL GÉNÉRAL DE LA LOIRE « Méthodologie pour définir une stratégie de gestion des plantes invasives à destination des services techniques départementaux », 2009
- CUGNASSE J-M ., 2013, « L'action de l'ONCFS en matière d'espèces exotiques envahissantes ».
- DAVIS E. S., KELLY R., MAGGS C. A. et STOUT J. C., 2018, « Contrasting impacts of highly invasive plant species on flower-visiting insect communities », *Biodiversity and Conservation*, juillet 2018, vol. 27, n° 8, p. 2069-2085.
- DELAGE C, EVETTE A, DAUMERGUE N, HUYGHE G et JACOB F, 2017, « Évaluation de la réussite de l'ouvrage de protection de berges de la Romanche au barrage de Livet, réalisé à l'aide de techniques de génie végétal », 2017, p. 7.
- DELBART E., MAHY G., WEICKMANS B., HENRIET F., CRÉMER S., PIERET N., VANDERHOEVEN S. et MONTY A., 2012, « Can Land Managers Control Japanese Knotweed? Lessons from Control Tests in Belgium », *Environmental Management*, décembre 2012, vol. 50, n° 6, p. 1089-1097.
- DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE et GENTIANA, « Fiche support: plantes invasives. Renouées asiatiques (1/2) ».
- DIONNE M, 2012, « La renouée japonaise... Une exotique envahissante indésirable au parc national du Bic ».
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT ,« La gestion des renouées asiatiques. Technique d'éradication précoce: gestion par arrachage manuel », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'atténuation: gestion par arrachage répété », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'atténuation: Gestion par bâchage », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'atténuation: gestion par injection chimique », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'atténuation: gestion par pâturage », 2018.

- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'atténuation: Gestion par plantation d'arbres ou d'arbustes », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'élimination localisée: gestion par concassage-bâchage. », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'élimination localisée: gestion par enfouissement sur site », 2018.
- DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT « La gestion des renouées asiatiques. Technique d'élimination localisée: gestion par terrassement et exportation », 2018.
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'AMÉNAGEMENT ET DU LOGEMENT DES PAYS DE LA LOIRE, 2013, « Partenariat science et gestion: exemple des hydrocharitacées de la Bretagne à l'Aquitaine ».
- DIREN DES PAYS DE LA LOIRE, FÉDÉRATION DE PÊCHE DE VENDÉE, IIBSN « Programme de la journée d'information sur les renouées invasives en Pays de la Loire (28 avril 2009) », 2009.
- DOMMANGET F., EVETTE A., SPIEGELBERGER T., GALLET C., PACÉ M., IMBERT M. et NAVAS M.-L., 2014, « Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques », *Journal of Environmental Management*, janvier 2014, vol. 132, p. 71-78.
- DUFOUR S., 2005, *Contrôles naturels et anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme et Rhône)*, s.l.
- DUHAMEL A., 2011, « La renouée du Japon en Savoie: les actions départementales de communication et de sensibilisation ».
- DUHAMEL A., 2015, « Importance de l'organisation des acteurs de terrain ».
- DUTARTRE A., 2010, « Chapitre 4. Peut-on gérer les invasions biologiques? » dans *Les invasions biologiques, une question de natures et de sociétés*, Quae., s.l., (coll. « Synthèses »), p. 109-153.
- DUTARTRE A., 2010, « Importance de la prévention et de la détection précoce »
- DUTARTRE A., 2017, « Devenir gestionnaires, enfin? A propos d'espèces exotiques envahissantes (mais pas seulement), de leur gestion, des chercheurs et des gestionnaires... »
- EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE D'ASSISTANCE AUX MAÎTRES D'OUVRAGE, PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE, « Les Renouées ».
- ESNOUF S., 2013, « L'approche régionale de la gestion des plantes exotiques envahissantes en Auvergne ».
- EVETTE A, FROSSARD P A, VALE N, LEBLOIS S et RECKING A, 2017, « Oser le génie végétal en rivière de montagne - Retour d'expérience sur les ouvrages Génie' Alp », 2017, p. 7.
- EVETTE A., BILLON V, COTTET M., DOMMANGET F., BRETON V., BIAUNIER J., BORGNIET L., DAUMERGUE N., ABRY G. et STROMBONI M., 2015, « Dynarp: Dynamique paysagère des renouées sur les infrastructures de transport ».
- FERNANDEZ S., « Interventions de gestion de la Renouée de Bohème sur la Garaye ».

- FRAPNA HAUTE-SAVOIE, « Six espèces végétales invasives prioritaires en Haute-Savoie. Plaque de reconnaissance. »
- FRAPNA HAUTE-SAVOIE, 2008, « Problématique d’envahissement par les Renouées géantes (Renouées du Japon, de Sakhaline et de Bohême), en milieux aquatiques, espaces verts, zones urbaine... - Outil d’aide à la décision du choix d’intervention ».
- FRAPNA HAUTE-SAVOIE, 2009a, « Synthèse cartographique. Cartographie des renouées géantes sur les principaux affluents de la Moyenne Vallée de l’Arve. »
- FRAPNA HAUTE-SAVOIE, 2009b, « Chantiers vitrine. Bilan des actions de lutte contre les renouées géantes. »
- FRIED G., 2012, *Guide des plantes invasives*, Belin., s.l., (coll. « Les guides des ... Fous de nature! »), 272 p.
- GENTIANA, CONSEIL GÉNÉRAL DE L’ISÈRE, AGENCE DE L’EAU RHÔNE-MÉDITERRANÉE CORSE « Les plantes envahissantes de l’Isère ».
- GENTY C. et COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2013, « Peu de zones humides échappent à la colonisation par des espèces envahissantes et proliférantes entre 2000 et 2010 », juin 2013, n° 165, (coll. « Datalab »).
- GEORGET C. et MACCAUD A., 2017, « Lutte contre les espèces envahissantes. Priorisation et stratégie de gestion du Pays de Gex ».
- GERVAIS H. et NOBILIAUX S., 2013, « Hiérarchiser pour gérer. Les actions réalisées par les coordinateurs régionaux du groupe de travail “plantes invasives” en région Centre ».
- GIRAUD S., *Rapport concernant les actions menées pour la reconstitution de ripisylve. Lutte contre une espèce invasive: la Renouée du Japon. Travaux de gestion de la ripisylve.*, s.l., Office National des Forêts (ONF) - Agence Nord Franche-Comté.
- GROUPE DE TRAVAIL « ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE », « Ces plantes de nos jardins qui deviennent envahissantes ».
- GROUPE DE TRAVAIL « ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE », « Connaître les plantes exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne ».
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, « Contre l’introduction des plantes invasives en région Centre. Charte d’engagement des collectivités. »
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, « les plantes invasives, une menace pour la biodiversité! »
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, « Plantes invasives, les bons gestes! »
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, « Plantes invasives, ne vous laissez pas séduire! »
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, « Quand gérer les plantes invasives? Tableau de synthèse ».
- GROUPE DE TRAVAIL « PLANTES INVASIVES » DE LA RÉGION CENTRE, 2014, « Synthèse réglementaire sur les plantes invasives à l’usage des collectivités ».

- GUERIN M. et HEDONT M., 2019, *Plantes envahissantes: pratiques des gestionnaires d'espaces verts. Recueil d'expériences*, s.l., Plante&Cité.
- HALFORD M., MAHY G., DELBART E. et BRANQUART E., « Des alternatives aux plantes invasives ».
- HAURY J., 2010, « Atelier 3. Intérêts des partenaires entre Scientifiques et Gestionnaires. Suivis scientifiques Agrocampus Rennes. »
- HAURY J., 2013, « Enjeux et problématique des invasions biologiques végétales en milieu aquatique ».
- HUDIN S., 2010a, « Présentation du groupe de travail du bassin de la Loire et des outils ».
- HUDIN S., 2010b, « Perspectives de travail du groupe bassin ».
- HUDIN S., 2010c, « Les critères de hiérarchisation du risque d'invasibilité des espèces exotiques envahissantes ».
- HUDIN S., 2013a, « Vers une stratégie de gestion des espèces exotiques envahissantes dans le bassin Loire-Bretagne ».
- HUDIN S., 2013b, « Les plantes exotiques envahissantes dans le bassin de la Loire ».
- INFO FLORA, 2012, « Les Renouées exotiques ».
- JANIN C., 2014, « Gestion du solidage: retour d'expérience d'Asters ».
- JAPANESE KNOTWEED SOLUTIONS, *Japanese Knotweed Removal*, .
- LAMBERT E., 2009a, « Plants exotiques envahissantes. Synthèse bibliographique ».
- LAMBERT E., 2009b, « Fiche 11: les renouées (*Fallopia* spp.) ».
- LAMBERT E., 2009c, « Plantes exotiques envahissantes. Synthèse bibliographique. »
- LAVOIE C., 2017, « Gestion des résidus végétaux et des sols contaminés avec des plantes envahissantes. Recension de la littérature scientifique et recommandations. »
- LAVOIE C., 2017, « The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: review and research perspectives », *Biological Invasions*, août 2017, vol. 19, n° 8, p. 2319-2337.
- LE GUEN M., BOZEC M. et HAURY J., 2009, « Les renouées asiatiques invasives en Côtes d'Armor: éléments sur la gestion et les modes de dissémination ».
- LEBLAY E., 2010, « Perspectives au niveau national ».
- LEWIS S. L. et MASLIN M. A., 2015, « Defining the Anthropocene », *Nature*, mars 2015, vol. 519, n° 7542, p. 171-180.
- LOURY R., « Les plantes "invasives" sont-elles si méchantes? », *Journal de l'Environnement*.
- LOWE S., BROWNE M., BOUDJELAS S. et DE POORTER M., 2007, « 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. », 2007, p. 12.
- MARAGE D., 2015, « espèces invasives: du scientifique au politique, une stratégie de lutte est-elle possible? »
- MARTIN O., 2010, « Retour d'expérience sur la communication et la sensibilisation ».
- MATRAT R. et LANGEVIN A., 2010, « Analyse des coûts de chantier en Pays de la Loire ».

- MAZAUBERT E. et SARAT E., 2013a, « Législation et réglementation sur les Espèces exotiques envahissantes. Le contexte international et européen. »
- MAZAUBERT E. ET SARAT E., 2013b, « Espèces Exotiques Envahissantes: programmes de connaissances et d'information et groupes de travail à différentes échelles géographiques ».
- MENOZZI M., 2013, « La société face aux invasions biologiques ».
- MINEAU H., 2010, « Atelier 2. Coûts de la gestion des plantes envahissantes dans le bassin de la Loire. »
- MOIROUD C., 2017, « Traitement des matériaux contaminés par des rhizomes de renouées du Japon ».
- NOBILLIAUX S., « Hiérarchisation des plantes exotiques et stratégie d'action. Méthode de hiérarchisation et lien avec la stratégie de gestion globale. »
- NUEZ M., 2015, « Gestion des espèces exotiques envahissantes (EEE) végétales: connaître les modes de reproduction pour développer des logiques prophylactiques propres à maîtriser leur propagation ».
- ORGEOLET M., 2014, *Projet de lutte contre la Renouée du Japon à l'aide d'une compétition interspécifique avec la Bourdaine combinée à un débroussaillage mécanique*, s.l., SNCF.
- PARKINSON H. et MANGOLD J., 2010, « Biology, Ecology and Management of the Knotweed Complex (*Polygonum* spp.) ».
- PASCAL M., 2014, *Pré-protocole de mise en compétition de la Renouée du Japon par du Sureau Yèble*, s.l., SNCF.
- PÉCHEUX N., GAGNEUX C. et RABIN L., « Observation Régional des plantes exotiques ENVahissantes des écosystèmes Aquatiques de Poitou-Charentes ».
- PIERET N. et DELBART E., 2008, « Les principales plantes exotiques envahissantes le long des berges de cours d'eau en Région wallonne: description et conseils de gestion ».
- PIOLA F., NAVRATIL O., PUJALON S. et LEJOT J., 2016, *Analyse multi-échelles des filtres environnementaux limitant l'invasibilité des berges de cours d'eau par les renouées asiatiques (*Fallopia* sp.): le cas de la Saône. (dans le cadre de l'action n°42 du programme 2010 au titre de l'accord cadre Agence de l'Eau Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR))*, s.l., Agence de l'eau.
- PIPET N., « Cartographie des interventions sur la Renouée du Japon dans le Marais Poitevin ».
- PYSEK P., 2006, « *Fallopia Japonica* ».
- REY F, CROSAZ Y, CASSOTTI F et MATOS M De, « Génie végétal, génie biologique et génie écologique: concepts d'hier et d'aujourd'hui », p. 7.
- REY F, LABONNE S, BRETON V., LOUIS S, TALASKA N, ERKTAN A, DUMAS A, BURYLO M, DANGLA L et LAVANDIER G, 2015, « Utilisation innovante du génie végétal pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation à l'échelle du territoire de la Durance », 2015, p. 9.
- RIGLING D., HILFIKER S., SCHÖBEL C., MEIER F., ENGESSER R., SCHEIDEGGER C. et STOFER S., 2016, « Le dépérissement des pousses du frêne », *Not. prat.*, 2016, p. 8.
- ROBINSON B. S., INGER R., CROWLEY S. L. et GASTON K. J., 2017, « Weeds on the web: conflicting management advice about an invasive non-native plant », *Journal of Applied Ecology*, février 2017, vol. 54, n° 1, p. 178-187.
- ROSET N., 2017, « Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes ».

- ROUIFIED S., 2010, « Atelier 3. Recherche sur les performances du complexe des renouées asiatiques ».
- ROUSSEAU M., 2010, « Expérience réussie de mobilisation du public autour d'une action de gestion ».
- SARAT E. et URTIZBEREA F., « Expérimentations de gestion de la Renouée du Japon sur l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon ».
- SARAT E., MOREAU L. et BOCA F., « Gestion de la Renouée du Japon à la confluence de la Luye et de la Durance ».
- SCHARFY D., 2009, *Exotic plant invasions: importance of functional traits for soil characteristics and plant-soil feedback*, ETH Zurich, s.l., 91 p.
- SERVICE PUBLIC DE WALLONIE (SPW) - DGARDE – DCENN « Les Renouées asiatiques ».
- SOLVICHE A., 2017, « La renouée du Japon. Retour sur 20 ans d'expérience ».
- STANICKA L., DELAUNAY G., NICOLAS Y. et DROUET V., 2014, « Restauration de la Boire du Passage à Saint-Rémy-la-Varenne (49). Un exemple de partenariat multi-acteurs. »
- SYNDICAT MIXTE D'AMÉNAGEMENT DU BASSIN DE LA BOURBRE (SMABB), 2013, « Guide pédagogique. La Renouée du Japon: gestion et lutte. »
- SYNDICAT MIXTE D'AMÉNAGEMENT DU BASSIN DE LA BOURBRE, « Guide pédagogique. La Renouée du Japon: gestion et lutte. »
- SYNDICAT MIXTE DE LA VALLÉE DE L'ORGE AVAL (SIVOA), « Lutte expérimentale contre la renouée du Japon ».
- SYNDICAT MIXTE DE LA VALLÉE DE L'ORGE AVAL (SIVOA), 2004, « Impacts et gestion de la renouée du Japon dans la vallée de l'Orge ».
- SYNDICAT MIXTE DE LA VALLÉE DE L'ORGE AVAL, « Bilan du programme de lutte contre la Renouée du Japon 2005-2009. Expérimentation, communication, gestion ».
- SYNDICAT MIXTE DES BASSINS HYDRAULIQUES DE L'ISÈRE (SYMBHI), 2016, « Retour d'expérience des premiers chantiers: La Romanche - projet restauration ».
- TASSIN J. et KULL C. A., 2015, « Facing the broader dimensions of biological invasions », *Land Use Policy*, janvier 2015, vol. 42, p. 165-169.
- VAHRAMEEV P., 2010, « Atelier 2. Stratégie et priorisation des efforts. Principe et outils développés en région Centre. »
- VARRAY S., 2014, « Le groupe de travail Espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne ».
- WATTEBLED E., 2015, « Démarches de formation des agents et d'expérimentation de nouvelles pratiques ».
- WILSON L.M., 2007, « Key to Identification of Invasive Knotweeds in British Columbia ».
- ZAMBETTAKIS C. « Les renouées asiatiques: Renouée du Japon, Renouée de l'Himalaya (renouée à nombreux épis), Renouée Sakhaline (renouée géante) ».
- « Stratégie de lutte contre les plantes invasives du département de la Loire », 2017. Journée technique d'information et d'échanges sur la Gestion des espèces exotiques envahissantes des milieux aquatiques, Poisy, 9 juin 2017

- « Invasive species: Not weeds. Despite concerns, alien plants are rarely troublesome to native ones. », *The Economist*, 2015, 28 mars 2015 p.
- « Programme de la journée technique “La gestion des espèces invasives” du 28 mai 2015 à Bron », 2015.
- « Comité départemental (Savoie) Espèces Exotiques Envahissantes. Compte-rendu », 2014.
- « Comité techniques départemental (Savoie) Espèces Exotiques Envahissantes », 2014.
- « Lozère: la renouée du Japon, peste végétale des Cévennes », *Midi Libre*, 2013, 28 déc. 2013 p.
- « Equipe 2009 de la fédération des parcs naturels régionaux de France », 2009.
- « Fiche compte rendu d’enquête et/ou de suivi de la végétation terrestre envahissante (2009) », 2009.
- « Actes du colloque “Autour du lac du Bourget” », 2006.
- « Compte-rendu de la cinquième journée d’échanges techniques entre gestionnaires d’espaces naturels en Rhône-Alpes, “stratégie d’intervention et moyens de lutte contre les espèces invasives de zone humide” », 2005.
- *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis.*, 2005, s.l., Word Resource Institute.
- « Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil ». Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement des Pays de la Loire
- « Ces plantes invasives qu’il faut reconnaître », *le Dauphiné Libéré*.
- « Equipe d’animation du Parc naturel régional Livradois-Forez ».
- « Gestion des invasives en Belgique: Une approche multi-facettes de la prévention à l’éradication. »

Document n°6

Liste des documents complémentaires rassemblés sur les opérations recensées

- LAMBERT ANGÉLIQUE, 2016, *Mise en place d'un protocole d'intervention sur la Renouée du Japon à l'amont de la rivière Drôme*, s.l.
- BULLETIN OFFICIEL DE LA COMMUNE DE BESANÇON, 2006, « Lutte contre la Renouée du Japon et entretien des berges du Doubs-Convention avec l'Association ECHEL ».
- CNR, 2011, « Projet de restauration de la confluence Bièvre-Rhône ».
- COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE (CNR), 2010, « Réhabilitation des lônes du Vieux-Rhône de Péage de Roussillon. Etude d'avant-projet ».
- CONTRAT DE RIVIÈRE ALLAINE, 2013, « Les espèces végétales indésirables des rivières et des étangs ».
- CPIE DES MONTS DU PILAT, 2012a, « Programme d'actions 2012-2017 ».
- CPIE DES MONTS DU PILAT, 2012b, « Stratégie départementale de lutte contre les plantes invasives (programme d'actions 2012-2017) ».
- MATHIEU GRENIER (SYMBHI), 2015, « Le projet Romanche Séchilienne: une approche intégrée et opportuniste de l'aménagement de rivière ».
- OBSERVATOIRE CAUE, 2018, « Aménagement des berges de l'Yzeron (69600, Oullins) ».
- SAGYRC, « Séance du 09/03/2016 du conseil syndical du Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC). Délibération n°CS-2016/08. »
- SAGYRC, « Séance du 16/12/2015 du conseil syndical du Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC). Délibération n°CS-2015-24. »
- SAGYRC, « Séance du 22/06/2016 du conseil syndical du Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC). Délibération n°CS-2016/17. »
- SEPIA CONSEILS, 2010, *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Versant de l'Arve*, s.l.
- SYNDICAT D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DE L'YZERON, DU RATIER ET DU CHARBONNIÈRES (SAGYRC), 2017, « Rapport annuel du Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC) ».
- SYNDICAT D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DE L'YZERON, DU RATIER ET DU CHARBONNIÈRES (SAGYRC), 2016, *Rapport annuel du Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC)*, s.l.
- SYNDICAT D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DE L'YZERON, DU RATIER ET DU CHARBONNIÈRES (SAGYRC), 2012, « Yzeron, dossier de presse du 4 juin 2012 ».
- SYNDICAT MIXTE D'EXÉCUTION DU CONTRAT DE RIVIÈRES DES USSÉS (SMECRU), « Contrat de rivière des Usses ».
- SYNDICAT MIXTE D'EXÉCUTION DU CONTRAT DE RIVIÈRES DES USSÉS (SMECRU) et ASTERS-CONSERVATOIRE D'ESPACES NATURELS HAUTE-SAVOIE, 2017, « Diagnostic de la dynamique alluviale, fréquence et état de conservation des habitats de forêts alluviales ».
- « Communiqué de presse. Réhabilitation des lônes et marges alluviales du Vieux-Rhône de Donzère à Mondragon: CNR et ses partenaires ont présenté les travaux qui vont démarrer dans le secteur de Lapalud (site de la lône de Banc-Rouge) », 2017.
- « Projet d'échange Geni'Alp-Génie végétal en rivière de montage. Fiche action-chantier pilote 1A-SYMASOL ».
- « Projet d'échange Génie'Alp-Génie végétal en rivière de montagne. Fiche action-chantier pilote 1B2-SM3A ».

Catégorie « Génie végétal pour gérer les renouées »

→ *(Projets dont l'objectif principal est de réguler un ou des foyers de renouées asiatiques / Expérimentations de méthodes de génie végétal pour gérer les renouées asiatiques)*

- Réhabilitation des îlots du Vieux Rhône, Le Péage de Roussillon (38), Compagnie Nationale du Rhône, 2015 (autour de)
- Restauration éco-morphologique et rétablissement de cordons rivulaires boisés, rivières Brévenne (69) et Turdine (69), Syndicat de Rivière Brévenne-Turdine (Syribt)
- Expérimentation de méthodes non chimiques de régulation des renouées asiatiques, Besançon (39) et Villette-les-Arbois (39), Echel, 1999-2001
- Lutttes expérimentales contre les renouées asiatiques, forêts alluviales de Chadieu (63) et Jozes-Maringues (63), Conservatoire des Espaces Naturels (CEN) Auvergne
- Chantier expérimental de restauration d'un site envahi par les renouées asiatiques, Sixt-Fer-à-Cheval (74), France Nature Environnement (FNE) Haute-Savoie, 2009
- Mise en compétition de la renouée du Japon et de la bourdaine (*Fragula alnus*), tunnel de Bertarion (69), SNCF, 2014
- Mise en compétition de la renouée du Japon et du sureau yèble, Rillieux-la-Pape, SNCF, 2014
- Conservation de la ripisylve, hameau de Saint-Nicolas (90), ONF, 2006-2009
- Gestion et restauration de la ripisylve, rivière de la Bourbre (38,69), Syndicat Mixte d'Aménagement du Bassin de la Bourbre (SMABB)
- Gestion des renouées asiatiques, secteur de Saint-Laurent-d'Onay (26), Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin de l'Herbasse (SIABH)
- Gestion des renouées asiatiques, secteur de Dunières (43), Syndicat Inter Communal d'Aménagement de la Loire et de ses Affluents (SICALA)
- Gestion des renouées asiatiques, Epinouze (26), communauté de communes Rhône-Valloire, 2009
- Gestion des renouées asiatiques, Saint Rémy de Maurienne (73), ONF, 2005
- Gestion des renouées asiatiques, Anneyron les Collières, communauté de communes Rhône-Valloire, 1999
- Gestion des renouées asiatiques, Saint-Julien-sur-Suran (39), Syndicat Intercommunal d'Aménagement et d'Entretien du Suran
- Gestion des renouées asiatiques, Mont-Dore (63), CEP Auvergne et PNR Volcans d'Auvergne, 2009

Catégorie « Génie végétal et lutte contre les renouées dans un même projet

→ *Projets qui comportent à la fois un volet génie végétal et un volet gestion des renouées asiatiques, sans que le lien entre les deux ne soit explicite*

- Restauration hydrologique et environnementale de l'Yzeron, Oullins (69), Syndicat Mixte d'Aménagement de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières, 2015-2016

- Traitement des sols contenant des rhizomes et de fragments de tige, rivière la Romanche (38), Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère (Symbhi), 2015-2016

Catégorie « cas incertains avec du potentiel »

→ *Projets de régulation des renouées asiatiques dans lesquels le génie végétal est susceptible d'avoir été employé ou testé, sans que nous puissions en avoir confirmation à la lecture des documents*

- Campagne de sensibilisation, Auvergne, Conservatoire des Espaces Naturels (CEN) Auvergne
- Gestion des renouées asiatiques, bassin versant du lac du Bourget (73), Comité Intersyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget (CISALB)
- Programme de lutte contre l'ambrosie et la renouée du Japon, Crémieu (38), communauté de communes de l'Isle Crémieu, Université Joseph Fourier, ERAtech, 2013
- Programme de lutte contre Fallopija sp., Impatiens sp., et Buddleja davidii, Giffre (74), Syndicat Intercommunal des Montagnes du Giffre/Syndicat Intercommunal de la Vallée du Haut-Giffre, 2009
- Lutte contre la renouée du Japon, bassin versant du Guiers (38), Syndicat Interdépartemental du Guiers et de ses Affluents (SIAGA), 2009
- Lutte contre les renouées asiatiques, Isère, Conseil Général de l'Isère, 2014
- Projet européen « Génie végétal en rivière de montagne », Association Rivière Rhône-Alpes (ARRA), Syndicat Mixte de l'Arve (SM3A), Syndicat Mixte du Sud-Ouest Lémanique (SYMASOL), CEMAGREF de Genève, HEPIA de Genève, région Rhône-Alpes, 2009 (date d'acceptation du projet)
- Protocole d'intervention sur la Renouée du Japon à l'amont de la rivière Drôme, Angélique LAMBERT (stagiaire), Syndicat Mixte Rivière Drôme et ses affluents (SMRD), 2016
- Restauration de la confluence Bièvre-Rhône, CNR, Fédération de pêche de l'Isère, 2011

Document n° 8

Guide utilisé au cours des entretiens téléphoniques, élaboré avec l'aide d'Isabelle ARPIN (sociologue, LESSEM) et de Manon ALLIBE (M1 SIRS à l'université de Grenoble-Alpes)

Je suis actuellement en stage à l'IRSTEA. L'équipe avec laquelle je travaille étudie l'implantation des renouées asiatiques au bord ou à proximité des cours d'eau dans le bassin versant amont du Rhône, et les mesures qui sont mises en place pour les gérer. Nous nous intéressons particulièrement aux recours au génie végétal, c'est-à-dire aux ouvrages élaborés à partir de végétaux (plants, boutures, graines) et à l'effet des techniques en question sur la biodiversité. Cette étude fait partie d'un projet pluriannuel, au cours duquel nous allons sélectionner des sites d'étude. Nous reviendrons éventuellement vers les gestionnaires concernés pour visiter l'espace où ils interviennent en juin de cette année, puis pour effectuer des prélèvements et des observations l'année prochaine. Les opérations de génie végétal menées par ... à ... en ..., ainsi que les autres projets de ce genre que vous avez/auriez pu mettre en place depuis nous intéressent dans le cadre de cette étude. Nous aimerions avoir plus de précisions à ce sujet, c'est pour cette raison que je vous contacte aujourd'hui.

- Avez-vous des questions sur ce que je viens de dire ?

- De combien de temps disposez-vous pour ce rendez-vous ?

(-Êtes-vous d'accord pour que j'enregistre notre échange?) → **si c'est bien le cas**

Parler du contrat de cession des droits à l'interlocuteur : le protège en réglementant la diffusion et les usages possibles de l'échange, l'autorise par exemple à revenir sur ses propos à tout moment, sera envoyé après le rendez-vous

Si l'interlocuteur est réticent à l'idée des visites et des observations, bien préciser que ça n'implique que quelques heures (pour la visite) ou un accord de principe (pour les observations et les prélèvements), et qu'aucune des actions entreprises n'endommagera le site ou ses aménagements.

1) Profil de l'interlocuteur

- Nom et prénom

- Vous êtes ... au sein du..., pouvez-vous me préciser en quoi cela consiste ?

2) Le projet/l'ouvrage au cœur de l'entretien

- Avez-vous participé directement à... ?

Si l'interlocuteur répond oui, poursuivre l'entretien. Sinon, lui demander si il peut quand même nous donner des informations à ce sujet, ou nous mettre en contact avec une personne susceptible de nous renseigner.

- Pouvez-vous m'indiquer les raisons qui ont présidé à la mise en place de ce projet ? (= Quels objectifs précis étaient poursuivis ?)

(voir si les renouées et/ou des problèmes qu'elles auraient occasionné sont un élément central du projet, ou un élément annexe)

- Pouvez-vous me rappeler les principaux éléments de ce projet ? → localisation précise, commanditaires, participants

- Quelles techniques de génie végétal, c'est-à-dire reposant sur l'utilisation de végétaux (plants, boutures, graines) avez-vous employées dans le cadre de ce projet ?

- Si l'interlocuteur comprend directement de quoi il s'agit, prendre en note sa description libre des techniques et en cas de doute (ex vocabulaire différent) l'interroger, lui demander des précisions.
- Si il n'est pas certain de comprendre la question, lui demander si il a employé les éléments suivants : pose d'un géotextile, pose de dalles en matériaux végétaux (ex fibres de bois), emploi de boutures, emploi de plançons, emploi de couches de branches à rejet, effectué des plantations, recours à des semis. → demander des précisions si nécessaires (exs essences, matériaux...)

- Avez-vous utilisé ces techniques seules ou en association avec d'autres, des méthodes mécaniques telles que le fauchage ou l'arrachage par exemple ?

Laisser l'interlocuteur répondre, mais veiller à ce que les points suivants soient abordés : décaissage, rotovator, apports de terre, broyage des rhizomes, enfouissement des rhizomes, tri et/ou exportation des rhizomes, bâchage, fauchage, arrachage, traitement chimique

- Pouvez-vous m'indiquer quels ont été le coût et la durée de ces opérations, même approximativement ?

-Quelles raison vous-ont poussé à choisir ces méthodes pour mener à bien ce projet ?

3) Efficacité et poursuite de la gestion

- Qu'avez-vous pensé de cette méthode de gestion ?

- Des opérations d'entretien ont-elles été menées après les travaux de gestion ? Si oui, qui les a menées ? En quoi consistaient-elles ? Sur combien de temps et à quelle fréquence les avez-vous menées ? Combien ont-elles coûté (environ) ?

-Idem pour le suivi

-Avez-vous communiqué sur cette opération de gestion, rédigé un rapport par exemple ? Si oui, dans quel cadre ?

-Avez-vous participé à des projets similaires depuis ? Si oui, pouvez-vous m'en dire un peu plus ?

- Aimeriez-vous faire d'autres observations à ce sujet ?

-Pouvez-vous me suggérer d'autres personnes qu'il serait intéressant de contacter, qui ont mené des opérations similaires à celles que vous avez menées par exemple ?

Tous types d'opérations de génie végétal , et demander si on peut nous fournir de la documentation à leur sujet (rapports, cartes, photographies)

Merci beaucoup pour le temps que vous m'avez accordé. Je vous enverrai le contrat de cession des droits, dont nous avons parlé au début de cet échange, d'ici quelques heures.

Contrat de cession de droit

Les contractants :

L'institution de recherche : Irstea

L'informateur : XXX

Préambule : Contexte et objet de l'enquête

Irstea réalise en 2019 une enquête sur l'utilisation du génie végétal comme outil de gestion des renouées asiatiques. Cette enquête est menée par Fanny DOMMANGET et Héloïse DUC, étudiante en première année de master « Géodynamiques des Espaces Présents et Passés » (GEODEP) à Sorbonne Université.

Cette enquête a pour but d'étudier les impacts des renouées asiatiques sur les fonctionnalités écologiques des milieux rivulaires, et les méthodes employées pour enrayer ou corriger d'éventuels effets négatifs. L'étude porte entre autres sur l'emploi du génie végétal dans le cadre de la gestion des renouées asiatiques et de leurs éventuels effets négatifs. Mener ce projet à bien nécessite de recenser des ouvrages de génie végétal et de mener une campagne d'entretiens à leur sujet, dans le but de sélectionner des ouvrages de référence pour la poursuite des travaux. Les personnes participant à ces entretiens en réponse aux sollicitations de l'Irstea sont ci-après désignées comme « les informateurs ».

Modalités de réalisation des entretiens

Les entretiens seront collectés par Héloïse DUC ci-après désignée comme « le collecteur ».

Ils seront enregistrés, avec l'accord des informateurs, dans un fichier audio puis résumés dans un fichier texte ou un tableur. Les guides d'entretien, les fichiers audio et les transcriptions seront déposés dans le portail de gestion sécurisée d'entretiens d'Irstea, dénommé SYGADE.

Conditions d'enregistrement

L'informateur autorise le collecteur à enregistrer l'entretien. Il a la possibilité de demander à tout moment l'interruption de l'enregistrement, aucune note ne sera prise à ce moment-là par le collecteur.

Conditions d'utilisation de l'entretien *(cocher les options choisies)*

L'informateur autorise la citation à titre gracieux de ses propos dans les publications scientifiques ou de vulgarisation qui découleront de l'enquête dans les conditions suivantes :

- Anonymisation (entretien réalisé par Héloïse DUC auprès de M. X). Toute donnée personnelle permettant d'identifier l'informateur devront être supprimées.
- Avec un pseudonyme (entretien réalisé par Héloïse DUC auprès de M. Jean Dupont)

- En indiquant son identité (entretien réalisé par Héroïse DUC auprès de XXX)
 - à condition de lui soumettre le passage correspondant
 - sans lui soumettre le passage correspondant
- Fourniture d'une copie sonore (format mp3) de l'entretien

Conditions de communicabilité (*cocher les options choisies*)

L'informateur autorise le collecteur à communiquer une copie sonore et/ou la transcription de l'entretien aux personnes suivantes, en accompagnant cette communication du présent contrat :

- A tout chercheur d'Irstea qui en ferait la demande via le portail de gestion sécurisée SYGADE
 - Immédiatement après la réalisation de l'entretien
 - Après un délai de 5 ans
 - Après un délai de 10 ans
- Aux chercheurs participant à l'enquête
 - Immédiatement après la réalisation de l'entretien
 - Après un délai de 5 ans
 - Après un délai de 10 ans

L'informateur garde la possibilité de revenir sur ses choix à tout moment de l'entretien et au-delà sans durée limitative.

Fait à Grenoble, le ... en deux exemplaires originaux

L'informateur

Nous avons décidé d'élaborer un glossaire succinct pour accompagner la lecture de ce mémoire. Les définitions que nous donnons ici ont été élaborées à partir des données collectées lors de notre étude, et d'ouvrages scientifiques³⁷. Il faut noter que les techniques de génie végétal sont nombreuses, et susceptibles de varier en termes d'exécution, d'emploi et d'appellation. Nous avons choisi de nous restreindre ici aux techniques que nous avons évoquées, et de donner uniquement le sens dans lequel nous les avons employées ; nous signalons néanmoins parfois de possibles confusions ou regroupements. Ces remarques valent aussi pour les outils.

NB : Un astérisque signale que le terme qui le précède fait aussi l'objet d'une définition dans ce glossaire.

Domaines

- **Génie végétal** : Mise en place de construction à base de végétaux, dans le but de protéger, de restaurer, de remodeler ou de créer un écosystème fonctionnel. Le génie végétal est une des modalités du génie écologique*.
- **Génie écologique** : Aménagements élaborés à partir de matériaux et de processus vivants. Ces aménagements peuvent avoir plusieurs buts, stabiliser les berges d'un cours d'eau ou restaurer un milieu dégradé par exemple.
- **Génie civil** : Construction d'infrastructures et d'équipements à l'aide de matériaux artificiels. Les barrages, les seuils, les enrochements sont des exemples d'ouvrages de génie civil.

Opérations réalisées (génie végétal)

- **Projets de génie végétal** : le terme de « projet » désigne des opérations à grande échelle (bassin versant ou portion de bassin versant), qui s'étendent en règle générale sur plusieurs années et impliquent des aménagements divers. Un projet est donc un plan d'aménagement ou de gestion d'un secteur donné. Il est dit « de génie végétal » lorsque les aménagements prévus sont élaborés, au moins principalement, à partir de végétaux.
- **Ouvrages de génie végétal** : Le terme « ouvrage » fait référence à l'ensemble des techniques mises en place sur un site donné ; on se situe donc à l'échelle des aménagements et non plus des plans d'aménagement. Les ouvrages de génie végétal sont des ouvrages élaborés entièrement ou essentiellement à partir de végétaux.

Les étapes des opérations de génie végétal

³⁷ADAM PHILIPPE, NICOLAS DEBIAIS, FRANÇOIS GERBER et BERNARD LACHAT, 2008, « Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques », 2008, 290 pages, en particulier

- **Préparation du site** : Cette étape englobe toutes les actions réalisées en vue de l'implantation d'un ouvrage sur un site, qui ont pour but d'assurer que l'ouvrage puisse effectivement être mis en place. Dans le cas que nous avons étudié (génie végétal pour gérer les renouées asiatiques), il peut par exemple s'agir de faucher les tiges des renouées asiatiques pour pouvoir planter d'autres végétaux au sein du site.
- **Construction de l'ouvrage** : La construction de l'ouvrage désigne l'ensemble des techniques employées pour mettre un ouvrage en place.
- **Réalisation de l'ouvrage** : Ce terme désigne (dans notre étude) l'ensemble des étapes de la création d'un ouvrage, il regroupe donc la préparation du site et la construction de l'ouvrage.
- **Opérations d'entretien** : Les opérations d'entretien sont toutes les actions effectuées sur l'ouvrage après sa réalisation. Elles ont généralement pour but de le maintenir en bon état et de maximiser ses chances de bon fonctionnement.

Techniques de génie végétal

- **Apports de terre** : Cette technique consiste à ajouter de la terre végétale sur l'emplacement d'un futur ouvrage de génie végétal, en général pour remodeler le site (aplanir, rehausser...).
- **Arrachage** : L'arrachage consiste (dans le cas qui nous intéresse) à retirer les renouées asiatiques, rhizomes compris, d'un endroit où elles avaient poussé. Il peut être effectué à mains nues ou à l'aide d'un outil (pioche, bêche...).
- **Bâchage** : Cette technique désigne le fait de recouvrir un site ou une portion d'un site à l'aide d'une toile, biodégradable (jute par exemple) ou non (plastique), pendant plusieurs années. L'objectif du bâchage (dans le cas de la gestion des renouées asiatiques) est de provoquer le pourrissement des tiges qui se trouvent sous la bâche, et d'empêcher d'éventuelles repousses de bénéficier de lumière.
- **Bouturage** : Le bouturage consiste à mettre en terre des parties de végétaux, des fragments de tiges notamment, afin de créer un nouvel individu. Cette technique est très employée pour implanter des saules sur un site.
- **Couches de branches à rejets** : Les couches de branches à rejets se composent de branches de végétaux ligneux, plaquées et fixées au sol dans le but de générer une multiplicité de rejets. Cette technique permet notamment (dans le cas qui nous intéresse) d'obtenir rapidement un couvert végétal dense au niveau du sol. Elle s'apparente au bouturage*, et est donc susceptible d'être désignée par certaines personnes à travers le terme de « boutures ».
- **Criblage-concassage** : Méthode qui consiste à placer la terre contenant des rhizomes de renouée asiatique dans un trommel rotatif, au maillage plus ou moins large. La terre et les rhizomes sont transformés en un fin broyat, qui peut ensuite être réutilisé ; les rhizomes ont en effet normalement été réduits en morceaux trop petits pour pouvoir générer de nouvelles pousses. Ce broyat est parfois recouvert d'une bâche pendant quelques temps, pour se prémunir au maximum d'éventuelles repousses. Cette méthode a notamment été expérimentée par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR).
- **Dalles en matériaux végétaux** : Cette technique consiste à placer des carrés ou des rectangles épais constitués des fragments de végétaux (bois par exemple) ou de végétaux tissés au sol, au pied de plantations par exemple. Ces éléments sont disposés de manière discontinue, c'est à dire que leurs bords ne sont pas jointifs.

- **Décaissage** : Lorsqu'on procède à un décaissage, on retire une couche de terre (d'épaisseur variable) d'un site. La terre ainsi extraite peut ensuite être passée au cribleur-concasseur pour éliminer les rhizomes (dans le cas qui nous intéresse), puis réutilisée.
- **Enfouissement des rhizomes** : Cette technique consiste à ajouter une couche de terre d'épaisseur variable sur des sols contenant des rhizomes de renouées asiatiques, afin de limiter les chances d'apparition de nouvelles pousses.
- **Ensemencement** : Cette technique désigne le fait de planter des graines de végétaux divers (graminées, ray grass, trèfle blanc par exemple) sur un site ou une portion d'un site, en vue de mettre en place ou de compléter une strate herbacée.
- **Exportation des rhizomes** : Après avoir été triés (voir « tri des rhizomes »*), les rhizomes de renouées asiatiques peuvent être acheminés et stockés dans un lieu distinct du site de l'ouvrage.
- **Fascines** : Les fascines sont généralement mises en place en pied de berge, dans un but de protection et/ou de végétalisation. Elles sont constituées de végétaux (branches de ligneux ou héliophytes), de terre et de pieux qui maintiennent les végétaux entre eux (branches de ligneux) ou les fixent à la berge (héliophytes). Dans le cas des fascines d'héliophytes, on ajoute un boudin de géotextile* biodégradable, qui sert de support aux végétaux.
- **Fauchage** : Cette technique consiste (dans le cas qui nous intéresse) à couper les parties aériennes (tige, feuilles) des renouées asiatiques implantées sur un site à l'aide d'outils ou de machines.
- **Géotextile** : Un géotextile est une natte, tissée ou non tissée (matériaux amalgamés et maintenus ensemble par un filet), composée de matériaux végétaux biodégradables (jute, coco). Il existe aussi des géotextiles synthétiques, mais nous avons choisi de les regrouper avec les bâches (voir « bâchage »*) dans le cadre de cette étude. Les géotextiles sont en règle générale fixés au sol au moyen d'agrafes. Leurs principaux usages sont de limiter l'érosion, et de constituer un obstacle à la repousse des renouées asiatiques.
- **Paillages** : Le terme de « paillages » désigne soit des amoncellements de branches mortes, mis en place au pied de plantations, soit de lourds pans de matériaux végétaux disposés de manière discontinue au sol. Dans ce second cas de figure, les paillages sont susceptibles d'être désignés par certaines personnes sous le terme de dalles en matériaux végétaux*.
- **Plantations** : Cette technique consiste à mettre en terre des essences arborées, arbustives ou herbacées (sureau yèble par exemple), sous forme de plants dotés de racine. Ces plants peuvent être mis en terre à divers stades de croissance.
- **Traitement chimique** : Cette technique désigne le fait de faire décliner les massifs de renouées asiatiques en employant des herbicides (RondUp par exemple), qui sont administrés par aspersion ou par injection dans les tiges. Le recours aux traitements chimiques est cependant interdit en bordure de cours d'eau, et ne concerne donc a priori pas notre étude.
- **Tri des rhizomes** : Les rhizomes contenus dans les sols peuvent être séparés des matériaux et des roches ; c'est notamment l'objectif du criblage-concassage*.

Outils

Épareuse : machine agricole munie d'un bras hydraulique, ce qui permet de l'employer pour faucher les berges et les accotements → synonymes : faucheuse, débroussailluse hydraulique

ANNEXE 3.2

Base de données « Gestionnaires »

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

ANNEXE 3.3

Base de données « Ouvrages »

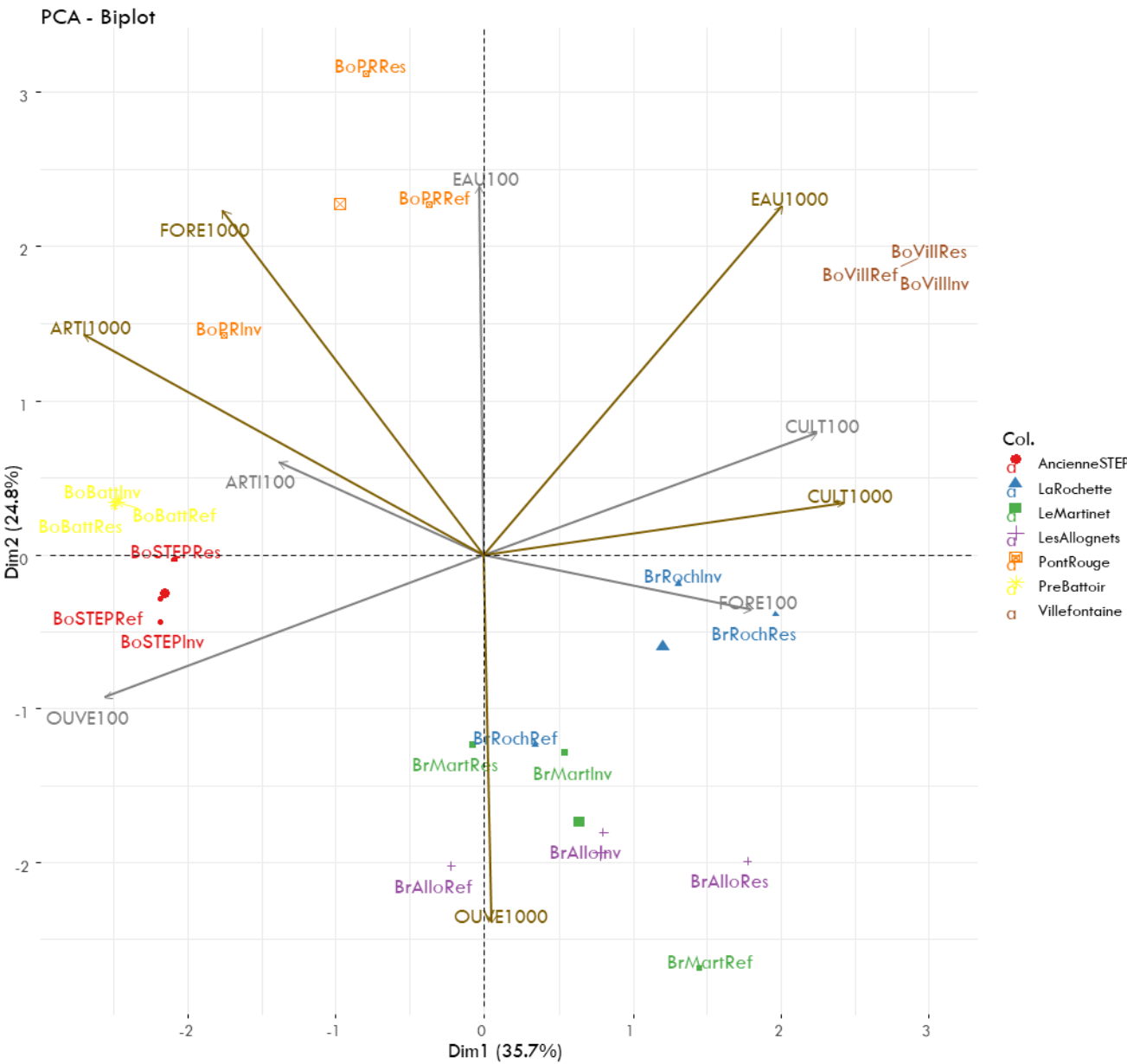
ANNEXE 3.3 BASE DE DONNEES - "OUVRAGES"

Acteur	Cours d'eau	Age ouvrage (ans)	Longueur (m)	Largeur (m)	Plantations	Boutures	Semis	Fascine	Couches de branches à rejets	Géotextile	Dalles en matériaux végétaux	Paillasses	Décaissage	Criblage-concassage	Tri des rhizomes	Exportation des rhizomes	Enfouissement des rhizomes	Apports de terre	Rotovator	Bâchage	Fauchage	Arrachage	Traitement chimique	Nombre de techniques employées	Techniques associées	Entretien	Entretien : méthode	Entretien : période	Entretien : durée (ans)	Efficacité perçue sur les renouées asiatiques	
SYRIBT	Brévenne	5 à 10	NA	NA	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € 5 à 10	Oui		
SYRIBT	Brévenne	5 à 10	NA	NA	Oui	Non	Non	?	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € 5 à 10	Oui		
SYRIBT	Brévenne		5	NA	NA	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Plantations e	Non	NA	NA	NA	Oui	
SIABH	l'Herbasse	NA	NA	NA	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	5	Couches de b	Oui	Arrachage	Printemps à € NA	Oui		
SIABH	l'Herbasse	NA	NA	NA	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	2	Couches de b	Oui	Arrachage	Printemps à € NA	Oui		
ONF	la Saint-Nicolas	5 à 10	NA	NA	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	3	Boutures et g	Non	NA	NA	NA	Non	
FNE	le Giffre	5 à 10	NA	NA	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	NA	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	5	Boutures et g	Oui	Arrachage	Hiver	Moins de 1	Non
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	3	Semis et paill	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	5	Plantations e	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	5	Plantations e	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	4	Plantations e	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Semis et couv	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Semis et couv	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Semis et couv	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	5	Semis et couv	Oui	Fauchage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CNR	le Rhône	5 à 10		4	4	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Non	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Non	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 1	Mitigée	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	2	Paillasses et f	Non	NA	NA	NA	Non
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	1	Arrachage	Non	NA	NA	NA	Mitigée
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	3	Boutures et r	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Oui	
CEN Auvergn	l'Allier	15 à 20	NA	NA	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	3	Boutures et r	Oui	Arrachage	Printemps à € Moins de 5	Oui	
ECHEL	le Doubs	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Oui	
ECHEL	le Doubs	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Non	
ECHEL	le Doubs	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Non	
ECHEL	le Doubs	15 à 20	NA	NA	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	1	Semis	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Non	
ECHEL	la Cuisance	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Oui	
ECHEL	la Cuisance	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Oui	
ECHEL	la Cuisance	15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	3	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Non	
ECHEL	la Cuisance	15 à 20	NA	NA	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	2	Plantations e	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Non	
ECHEL	le Doubs	5 à 10	NA	NA	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	1	Semis	Oui	Coupes sélec	Printemps à € Moins de 5	Oui	
ECHEL	le Dessoubre	Moins de 5	NA	NA	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	1	Plantations	NA	NA	NA	NA	Non
Service de l'a la Madeleine		15 à 20	NA	NA	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	5	Plantations e	Oui	Arrachage	NA	Moins de 5	Oui
Service de l'a la Madeleine		15 à 20	NA	NA	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	4	Plantations e	Oui	Arrachage	NA	Moins de 5	Oui
ArbreHaieFor l'isère		10 à 15	NA	NA	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	5	Boutures et t	Oui	Coupes	Printemps à € Moins de 5	Mitigée	
ArbreHaieFor l'isère		10 à 15	NA	NA	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	5	Couches de b	Oui	Coupes	Printemps à € Moins de 5	Non	

ANNEXE 3.4

ACP sur les variables paysagères

ANNEXE 3.4 – Analyse en Composantes principales sur l’occupation du sol autour des placettes



Biplot résultant de l’analyse en composantes principales réalisée sur la composition paysagère sur une zone tampon de 100 et 1000 m autour des sites. Les flèches indiquent le pourcentage du type d’occupation du sol (ARTI pour artificialisé, FORE pour forêt, EAU pour eau libre, CULT pour culture). Pour les codes des sites voir le corps du rapport.

L’analyse en composante principale (ACP) a été conduite avec le logiciel R version 4.1.0, package FactoMineR.

Soixante pourcents de la variabilité sont représentés sur les deux premiers axes. Les sites sont distingués par leur couleur. Les deux bassins versants se démarquent nettement l’un de l’autre, les

sites sur le bassin versant de la Bourbre étant tous situés en haut du graphique, et ceux sur le bassin versant de la Brévenne en bas à droite. Ces derniers seraient donc plutôt caractérisés par une plus grande proportion de milieux ouverts, moins de forêts dans un périmètre de 1000m et moins de zones artificialisées que les sites sur le bassin versant de la Bourbre.