



MASTER
Espace Rural &
Environnement



Institut
national
supérieur
des sciences agronomiques
de l'alimentation et de l'environnement



MÉMOIRE DE STAGE

Analyse diachronique des facteurs biotiques, abiotiques et de gestion liés à l'évolution spatiale des renouées asiatiques sur les infrastructures linéaires de transport



Guillaume ABRY
2014 – 2015

Fanny DOMMANGET
Bruno FAIVRE

| Maître de stage
| Tuteur pédagogique

RÉALISATION

Irstea-Grenoble

2 Rue de la Papeterie
38402 Saint-Martin-d'Hères

Web | <http://www.irstea.fr/linstitut/nos-centres/grenoble>

Mel | pole_rh_grenoble@irstea.fr

Tel | +33 (0)4 76 76 27 27

RÉDACTION

Guillaume ABRY | Agent stagiaire

Mel | guillaume.abry@irstea.fr

Tel | +33 (0)4 76 76 27 43

FINANCEMENT

MEDDE

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

ITTECOP

Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages

FRB

Fondation pour la recherche sur la biodiversité

CIL&B

Club infrastructures linéaires et biodiversité



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très sincèrement mon maître de stage, Fanny DOMMANGET, ainsi que le responsable scientifique du projet Dynarp, André EVETTE, chercheurs au sein de l'unité de recherche Écosystèmes Montagnards d'Irstea-Grenoble, pour m'avoir accordé leur confiance et apporté leur aide durant cette étude. Ce fut à mes yeux une expérience très enrichissante, tant sur le plan professionnel que personnel. La diversité des tâches menées au cours de ce stage m'a permis d'acquérir de nombreuses connaissances et compétences qui me seront très utiles à l'avenir. Merci d'avoir pris le temps de répondre à mes nombreuses interrogations et de m'avoir guidé dans mon travail grâce à vos conseils et remarques constructives.

Je remercie en continuité toute l'équipe de l'institut, notamment Jean-Marc BOURNIGAL, président d'Irstea, Marie-Pierre ARLOT, directrice régionale du centre de Grenoble, et François VERON, directeur de l'unité de recherche Écosystèmes Montagnards, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein de leur structure. Merci en particulier aux agents et stagiaires ayant contribué à ce mémoire, Vincent BOURRET, Vincent BRETON, Nathan DAUMERGUE, Gilles FAVIER ainsi que Marine STROMBONI, pour l'aide qu'ils ont su m'apporter, aussi bien sur les missions de terrain, de laboratoire qu'en bureautique.

Je tiens à adresser mes remerciements à tous les professionnels et particuliers à qui je me suis adressé et qui ont accepté de contribuer au projet lors des enquêtes de gestion. Merci à Thomas SPIEGELBERGER, chargé de recherche sur le projet Infame à Irstea-Grenoble. Les connaissances que vous m'avez transmises sur vos travaux ont grandement facilité ma compréhension de l'étude et de ses enjeux.

Enfin, je remercie le département Environnement, Terre, Évolution, Climatologie de l'Université de Bourgogne et l'institut AgroSup-Dijon, plus particulièrement Bruno FAIVRE, mon tuteur pédagogique, ainsi que Philippe AMIOTTE-SUCHET et Pierre CURMI, mes responsables de formation, pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage dans le cadre de mon cursus universitaire.

SOMMAIRE

Réalisation	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des Photographies	
Liste des Annexes	
Présentation d'Irstea	
Introduction	1
I) Contexte et Enjeux	2
I.1) Contexte général	2
I.1.A) Définition scientifique et législation des invasions biologiques	2
I.1.B) Répartition, risques et coûts liés aux renouées asiatiques	2
I.1.C) Perceptions et enjeux de gestion des renouées asiatiques	5
I.2) État des connaissances	5
I.2.A) Écologie des renouées.....	5
I.2.B) Bilan des techniques de gestion expérimentées sur les renouées	7
I.2.C) Évolution spatio-temporelle et facteurs de performance des renouées	9
I.3) Question scientifique	10
I.3.A) Présentation des projets Dynarp et Infame	10
I.3.B) Contexte de réalisation de l'étude	11
I.3.C) Problématique, objectifs et hypothèses	12
II) Matériels et Méthodes	13
II.1) Présentation de la zone d'étude	13
II.1.A) État d'avancement du projet Dynarp	13
II.1.B) Présentation des données Infame	13
II.2) Acquisition des données	16
II.2.A) Mesures de surface par cartographie des massifs de renouées	16
II.2.B) Mesures des traits biologiques et de l'étalement spatial des renouées.....	19
II.2.C) Facteurs topographiques et climatiques	21
II.2.D) Facteurs biotiques	22
II.2.E) Facteurs édaphiques	24
II.2.F) Facteurs de gestion.....	25

II.3) Analyses statistiques.....	26
II.3.A) Organisation du jeu de données et utilisation des moyennes.....	26
II.3.B) Regroupement des variables explicatives par famille de facteurs	26
II.3.C) Projection des variables par ACP	27
II.3.D) Transformation qualitative et projection des variables par ACM.....	27
II.3.E) Tests d'ANOVA, non paramétriques et régressions linéaires	27
II.3.F) Représentations graphiques.....	27
II.4) Bilan des missions	28
II.4.A) Atteinte des objectifs et financement.....	28
II.4.B) Sécurité	28
III) Analyses et Résultats	29
III.1) Analyses statistiques	29
III.1.A) Normalité et distribution du jeu de données.....	29
III.1.B) Variables retenues et regroupées par ACP	31
III.1.C) Variables classées qualitativement et corrélées par ACM.....	36
III.1.D) Tests d'ANOVA et de Kruskal-Wallis sur les variables qualitatives	38
III.1.E) Régressions linéaires sur les variables quantitatives	38
III.1.F) Représentations graphiques des variables présentant une tendance.....	39
III.2) Interprétations.....	41
III.2.A) Interprétations des variables corrélées par ACP et ACM.....	41
III.2.B) Interprétations des variables avec une tendance explicative	41
III.3) Discussions.....	44
III.3.A) Bilan critique des méthodes et des résultats	44
III.3.B) Préconisations pour le projet Dynarp et les sujets de recherche associés.....	46
Conclusion	47
Bibliographie.....	48
Annexes.....

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de répartition des centres régionaux d'Irstea	
Figure 2 : Carte de répartition des renouées asiatiques en France	3
Figure 3 : Carte de répartition de la renouée asiatique dans les départements alpins	4
Figure 4 : Logos des partenaires et prestataires du projet Dynarp.....	11
Figure 5 : Carte de localisation des sites Infame autour de l'agglomération de Grenoble en Isère	14
Figure 6 : Carte de repérage par commune, gestionnaire et vue aérienne des massifs de renouées	15
Figure 7 : Schématisation des enregistrements par GPS des renouées selon les obstacles rencontrés	16
Figure 8 : Schématisation des enregistrements par GPS des renouées selon leur distance de séparation	17
Figure 9 : Schématisation de la méthode de découpage de la surface des massifs de renouées	18
Figure 10 : Critères d'identification des différentes espèces de renouées asiatiques	20
Figure 11 : Schématisation de la conversion des mesures d'exposition	21
Figure 12 : Schématisation des surfaces observées pour chaque type de recouvrement végétal	23
Figure 13 : Représentation schématique de la classification de recouvrement des espèces végétales	23
Figure 14 : Graphique de distribution des valeurs de ΔS	30
Figure 15 : Représentation graphique de l'ACP sur les traits biologiques, de performance et spatiaux	31
Figure 16 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs géographiques locaux	32
Figure 17 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs topographiques et climatiques globaux	32
Figure 18 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de recouvrement au sein du massif	33
Figure 19 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de recouvrement à l'extérieur du massif	33
Figure 20 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de granulométrie du sol	34
Figure 21 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs édaphiques	34
Figure 22 : Représentation graphique de l'ACM sur les variables explicatives retenues	36
Figure 23 : Représentation graphique de la corrélation des variables sur chaque axe factoriel de l'ACM	37
Figure 24 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et le rapport d'étirement de la tache ..	39
Figure 25 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et GranulométrieACP1	39
Figure 26 : Représentation graphique de la relation en boîtes entre ΔS et la nature des déchets déposés	40
Figure 27 : Représentation graphique de la relation en boîtes entre ΔS et l'espèce de renouée asiatique	40
Figure 28 : Représentation graphique de la régression linéaire entre l'étirement et la distance avec l'ILTe ..	42
Figure 29 : Diagramme de répartition des sites faisant l'objet d'une gestion selon le type de déchets	43
Figure 30 : Histogramme de distribution des espèces de renouées rencontrées sur les sites retenus	44
Figure 31 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et la distance par rapport à l'ILTe	45
Figure 32 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et le pH du sol	45
Figure 33 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et le taux d'argile dans le sol	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Extrait du programme Dynarp issu du compte-rendu de la réunion interne du 4 juin 2015.....	13
Tableau 2 : Critères d'identification des différentes espèces de renouées asiatiques.....	20
Tableau 3 : Critères de classification granulométrique des sols.....	24
Tableau 4 : État de frais des moyens financiers mis en œuvre dans le cadre de cette étude.....	28
Tableau 5 : Synthèse des sites Infame retenus par commune, numéro de site et nombre de massifs	29
Tableau 6 : Distribution statistique des valeurs de ΔS	30
Tableau 7 : Synthèse des tests ANOVA et de Kruskal-Wallis effectués sur les variables qualitatives	38
Tableau 8 : Synthèse des tests de régressions linéaires effectués sur les variables quantitatives	39
Tableau 9 : Tests d'ANOVA et de régression linéaire entre l'étiement et la distance avec l'ILTe.....	42

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : Racines et rhizomes des renouées asiatiques.....	5
Photographie 2 : Fleurs des renouées asiatiques	5
Photographie 3 : Tiges des renouées asiatiques.....	5
Photographie 4 : Mise en œuvre d'arrachage des renouées sur la commune de Saint-Michel-sur-Orge	7
Photographie 5 : Mise en œuvre de pose de géotextile sur la commune de Saint-Michel-sur-Orge	7
Photographie 6 : Mise en œuvre de plantation de ligneux sur la commune de Saint-Michel-sur-Orge	7
Photographie 7 : Espèce <i>Aphalara itadori</i> sur une feuille de renouées asiatiques	8
Photographie 8 : Individus <i>Aphalara itadori</i> sur une tige de renouées asiatiques.....	8
Photographie 9 : Renouées asiatiques le long de la rivière du Rhône à Anse	17
Photographie 10 : Renouées asiatiques le long de la rivière du Rhône à Anse	17

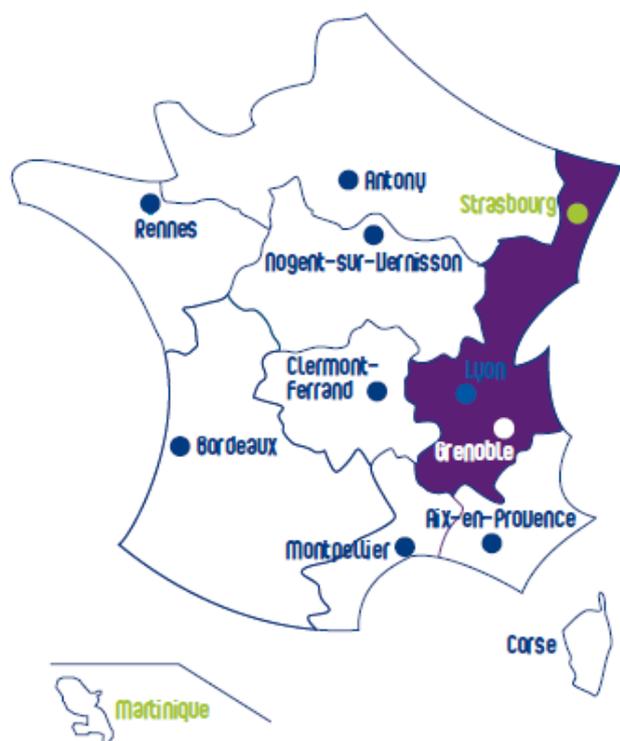
LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête utilisé auprès des gestionnaires des massifs de renouées	
Annexe 2 : Fiche utilisée sur le terrain pour la récolte des données mesurées sur les massifs de renouées	
Annexe 3 : Jeu moyenné et regroupé des données initiales utilisé dans le cadre des analyses statistiques	

PRÉSENTATION D'IRSTEA

L'institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) de recherche dans le domaine de l'ingénierie environnementale et agricole.

Il fut fondé en 1971 en tant que Centre national d'études techniques et de recherches technologiques pour l'agriculture, les forêts et l'équipement rural (CERAFER). Des études dans des domaines variés, notamment l'agriculture en montagne, le suivi des innovations techniques, ou les problèmes liés à la maîtrise de l'eau ont été pilotées par ce centre. La dénomination change pour le Centre technique du génie rural des eaux et des forêts (CTGREF) dès 1973. La structure devient un établissement public à caractère administratif (EPA) en 1982 avec la dénomination Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (CEMAGREF) et se transforme en EPST au 1^{er} janvier 1986 sous la double tutelle des ministères chargés de l'agriculture et de la recherche. L'institut change finalement de nom en février 2012, et se compose de :



9 centres régionaux, localisés sur la **Figure 1**
3 départements de recherche

18 unités de formation (UFR)
5 unités mixtes de recherche (UMR)

1604 collaborateurs, statutaires et contractuels
1219 ingénieurs, chercheurs, (post-)doctorants
385 techniciens et administratifs

450 publications de rang A par an
10 000 heures d'enseignement supérieur par an
9320 unités d'enseignement
655 participations à des colloques, dont
53 européens ou internationaux

116 millions d'euros de budget annuel, dont
32 % de ressources propres en 2013

Figure 1 : Carte de répartition des centres régionaux d'Irstea

Par des actions combinant excellence académique et approches de terrain, le centre Irstea de Grenoble contribue à : (i) étudier le fonctionnement des écosystèmes forestiers et prairiaux pour optimiser leur gestion ; (ii) caractériser et gérer les risques naturels en montagne, connaître et réduire la vulnérabilité des territoires ; (iii) développer des modèles pour aider à comprendre, simuler et anticiper le devenir de ces espaces ; (iv) comprendre et intégrer l'influence du changement climatique et du changement global ; (v) définir et renseigner des indicateurs pour aider à un développement plus durable ; (vi) analyser et venir en appui aux politiques publiques et aux décisions dans les domaines de l'environnement, la biodiversité, les territoires et les risques en montagne.

L'unité de recherche Écosystèmes Montagnards (EMGR) d'Irstea-Grenoble, au sein de laquelle a été réalisée cette étude, a une longue expérience de recherche finalisée sur les techniques de restauration écologique. Des chantiers expérimentaux et guides techniques à destination des gestionnaires ont ainsi vu le jour dans le domaine du génie écologique. Dans ce cadre, cette unité mène depuis plusieurs années des travaux de recherche finalisée sur le contrôle des renouées asiatiques par les techniques de génie végétal.

INTRODUCTION

Ce mémoire s'inscrit dans le thème des invasions biologiques, en centrant sa problématique sur le cas des renouées asiatiques. Ancré dans le domaine appliqué de l'aménagement du territoire à l'échelle des infrastructures linéaires de transport (ILTe), ce travail s'intéresse en particulier à la dynamique spatiale et temporelle des zones envahies par les renouées asiatiques. Les objectifs de cette étude s'inscrivent dans les champs disciplinaires de l'écologie des invasions, de l'écologie des communautés et de l'écologie fonctionnelle dont elle utilise les concepts pour orienter sa démarche dans les choix expérimentaux.

Cette étude est structurée en trois chapitres, composés respectivement par : (i) une synthèse des recherches bibliographiques sur l'état des connaissances, en vue d'orienter (ii) l'établissement de protocoles à caractère exploratoire, (iii) de présenter les données acquises et les analyses statistiques associées, ainsi que les interprétations et discussions pouvant être exprimées sur les résultats retenus.

L'objet de cette étude, inscrite parmi d'autres dans le projet de recherche Dynarp d'Irstea-Grenoble, concerne les facteurs environnementaux et de gestion influençant la dynamique spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques le long des infrastructures linéaires de transport. Pour ce faire, on vise à valider les méthodes de mesures et d'analyses employées pour identifier ces facteurs.

Le cœur de ce travail étant centré sur le complexe d'espèces des renouées asiatiques, la première partie de ce mémoire présente l'état des connaissances scientifiques connues à ce jour sur la biologie et l'écologie des espèces de renouées asiatiques (ainsi que la perception des acteurs sur leur dynamique en matière de gestion). Le contexte environnemental et sociétal de ces processus invasifs, ainsi que les facteurs supposés avoir une influence sur leur répartition, leur performance et leur dynamique, seront exposés.

La deuxième partie de ce mémoire s'attache à décrire la zone d'étude sélectionnée, les différentes étapes d'acquisition de données et de traitement analytique mises en place, ainsi que leur déroulement pendant la durée de ce stage. L'élaboration de ces étapes a été dirigée à partir des hypothèses formulées précédemment.

Dans une troisième partie, le jeu de données récolté suite aux missions de terrain, d'enquête, de laboratoire et de bureautique, sera présenté, tout comme les résultats obtenus par analyses statistiques. Les différentes relations mises en évidence entre l'évolution spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques et les facteurs environnementaux et de gestion associés, seront interprétées. La pertinence des résultats obtenus et des méthodes utilisées sera finalement discutée, en vue de réorienter les objectifs du projet de recherche pour les années à venir.

Un bilan sur les principaux éléments de connaissance apportés et à approfondir, à la fois sur le caractère dynamique des renouées asiatiques et des possibilités de contrôle se présentant aux gestionnaires, viendra conclure ce travail.

I.1) CONTEXTE GÉNÉRAL

I.1.A) Définition scientifique et législation des invasions biologiques

Les invasions biologiques sont conceptualisées comme un ensemble de plusieurs étapes, qui débutent par le transport d'un organisme jusqu'à une nouvelle aire géographique, souvent distante de son aire de répartition naturelle. Elle se poursuit par l'établissement de l'espèce, sa dispersion et éventuellement des conséquences non désirables, notamment sur la biodiversité de l'écosystème envahi (Richardson et al., 2000). La fréquence d'introduction de ces espèces invasives, tout comme leur étalement spatial, se sont intensifiés suite à la croissance des mouvements de populations humaines et des échanges commerciaux.

De nombreuses espèces végétales sont considérées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme une menace réelle pour le développement, la santé et le bien-être humain. Les risques liés à la présence de ces espèces invasives concernent des secteurs socio-économiques variés, aussi bien sanitaires (allergies, dispersion de nouvelles maladies), économiques (dégâts sur les infrastructures, provocation de crues, plantes cultivées et animaux domestiques contaminés, perte de terres) qu'environnementaux (réduction de la biodiversité, diminution des services écosystémiques) (IUCN, 2011).

L'Invasive Species Specialist Group (ISSG), spécialisé sur les espèces invasives au sein de l'UICN, identifie les invasions biologiques comme la seconde cause mondiale d'érosion de la biodiversité après la dégradation des habitats (ISSG, 2008). Les changements globaux, tels que l'augmentation de la quantité de CO₂ atmosphérique, de la température moyenne, des dépôts d'azote et la modification des régimes pluviométriques, fragilisent le fonctionnement des écosystèmes naturels et affaiblissent le rendement des services écologiques associés (Dukes & Mooney, 1999). Cela profiterait ainsi aux espèces invasives, notamment celles caractérisées par une croissance rapide, une prolifération lors des premiers stades successionnels – suite à une perturbation intense et fréquente de l'écosystème associé – et une tolérance à une large gamme d'environnements (Bradley et al., 2010).

Diverses actions politiques ont contribué à une prise de conscience autour de la problématique des plantes invasives. Dès 1992, lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, la Convention pour la Diversité Biologique, ratifiée par 194 pays dont la France, engage ses signataires à intervenir prioritairement pour prévenir l'introduction d'espèces invasives et mettre en place des programmes de contrôle, voire d'éradication. Le 22 octobre 2014, le règlement n° 1143/2014 du Parlement Européen, relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes, est officiellement adopté pour entrer en vigueur dès le 1^{er} janvier 2015 (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2014).

En France, l'article L. 411-3, IV du code de l'environnement, issu de la loi de février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, interdit le transport, le colportage, l'utilisation, la mise en vente ou l'achat de toutes espèces désignées par les autorités administratives (Legifrance, 2013). Mais son application reste encore aujourd'hui limitée, aucune espèce invasive n'étant réellement ciblée. Le 5 novembre 2014, une proposition de loi, visant à lutter contre la prolifération des espèces végétales envahissantes, fut de nouveau déposée après avoir été rejetée à plusieurs reprises (Moyné-Bressand, 2014).

Les renouées asiatiques (*Reynoutria sp.* ou *Fallopia sp.* – Andans, 1763), listées par l'UICN parmi les 100 espèces invasives les plus préoccupantes, sont globalement peu citées dans ces nouvelles réglementations.

I.1.B) Répartition, risques et coûts liés aux renouées asiatiques

Originaires des zones méridionales de l'Asie orientale et du Japon, les renouées asiatiques ont été introduites en Europe au XIX^{ème} siècle par les expéditions marchandes, plus précisément en 1823 pour la renouée du Japon (*Fallopia japonica* [Houtt.] Ronse Decraene) et 1869 pour la renouée de Sakhaline (*Fallopia sachalinensis* [Schmidt Petrop] Ronse Decraene) (Muller, 2004). En 1939, la renouée du Japon fut observée pour la première fois en France. La popularité de cette plante s'explique par ses qualités ornementales, mellifères et fourragères. Cette utilisation commerciale de la renouée favorisa son implantation dans les milieux naturels à partir du milieu du XX^{ème} siècle.

A cette période, une espèce présentant une hybridation variable, la renouée de Bohême (*Fallopia bohemica* [Chrték & Chrtkova] Ronse Decraene), fut pour la première fois observée (Peltre et al. 1997).

Ces espèces sont de nos jours largement répandues sur l'ensemble du continent européen. La renouée du Japon, ainsi que de Bohême, se retrouvent plus fréquemment que la renouée de Sachaline en Europe, et y sont considérées comme les espèces invasives ayant la dynamique d'expansion la plus forte. En France, elles sont présentes dans tous les départements, avec en 2004 une densité plus importante près des côtes littorales et des frontières au Nord-Est, comme l'atteste la **Figure 2** (Muller, 2004).

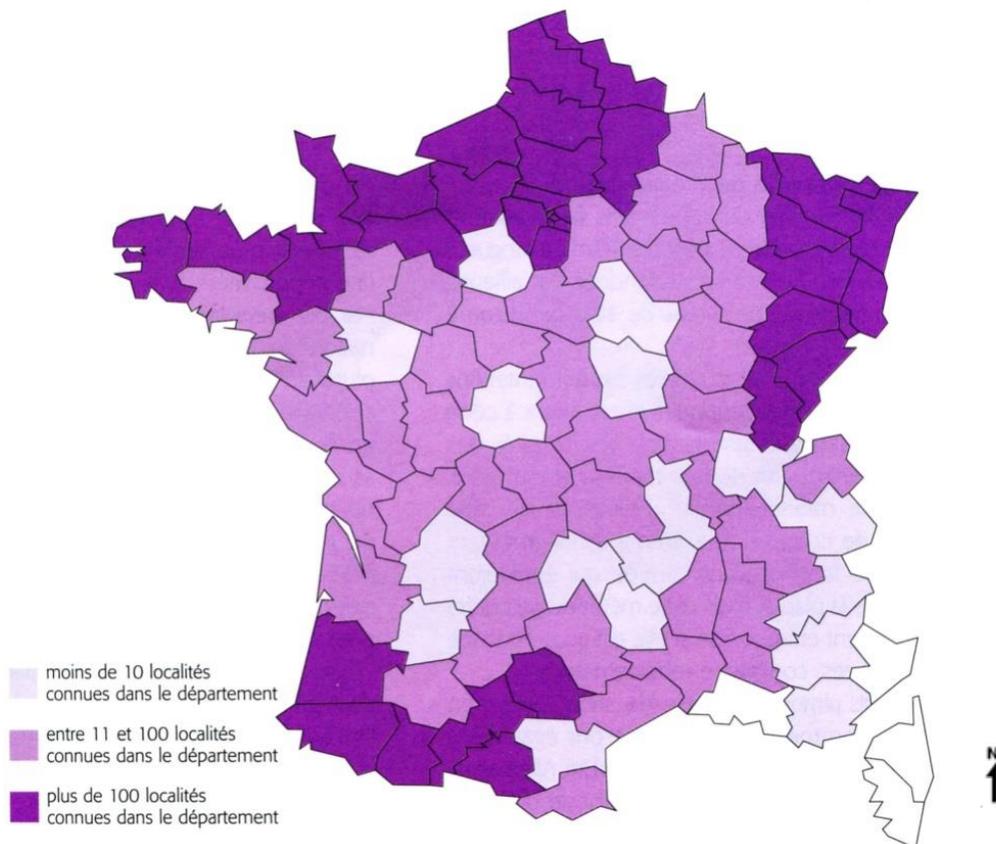


Figure 2 : Carte de répartition des renouées asiatiques en France (Muller, 2004)

Contrairement à d'autres espèces invasives, telles que l'ambrosie, les renouées asiatiques ne présentent aucun risque direct pour la santé humaine. Elles sont au contraire reconnues dans les pays asiatiques pour leurs usages alimentaires et médicinaux, et font l'objet d'exploitations commerciales et industrielles diverses et variées (Peihong et al., 2013).

En Europe cependant, l'usage des renouées reste limité, ne faisant l'objet d'aucune culture, la majorité des massifs s'étant par ailleurs développée sur des sols remaniés. Il y a un risque que ces sols subissent des traitements d'entretien, susceptibles de rendre la végétation qui s'y développe impropre à la consommation humaine. Son développement et sa propagation le long des infrastructures linéaires, telles que les routes, les voies navigables et les voies ferrées, entraînent par ailleurs des problèmes d'accessibilité et de visibilité qui peuvent nuire à la sécurité des utilisateurs de ces infrastructures, obligeant leurs gestionnaires à intervenir sur les massifs de renouées tout au long de leur période végétative (FCBN, 2005).

Sur le plan économique, les invasions biologiques représentent des coûts s'élevant à 12,5 milliards d'euros par an pour l'Union Européenne. 9,6 sont dus aux dommages causés par les invasions, les 2,8 restants étant consacrés à la gestion de ces espèces. La part relative aux espèces de renouées est estimée quant à elle à 2,3 milliards d'euros par an, ce qui en fait la plante invasive au plus grand enjeu financier. Ces estimations restent néanmoins sous-estimées car beaucoup de pays membres de l'union ne suivent que depuis tout récemment les dépenses liées au contrôle, à la prévention et à la gestion des dégâts causés par les espèces exotiques envahissantes (Kettunen et al., 2009).

En France, les données relatives aux coûts engendrés par les renouées asiatiques sont relativement peu renseignées, le taux d'envahissement et les techniques de gestion différant sensiblement selon les localités. En Isère, les collectivités publiques intègrent la gestion des renouées au sein de leurs programmes d'entretien des espaces verts et des déchets publics (Dalvai, 2012).

Les surfaces occupées par les renouées comme le nombre de sites contaminés restent de nos jours globalement sous-estimés. De nombreux organismes, tels que les agences de l'eau ou les conservatoires d'espaces naturels, expriment leur volonté d'intensifier le référencement et la cartographie des renouées sur les zones géographiques sous leur responsabilité (Boyer, 2011). En 2011, le Conservatoire Botanique National Alpin (CBNA) dénombrait des centaines de sites colonisés par les différentes espèces de renouées asiatiques dans les départements alpins, localisés sur la **Figure 3**.

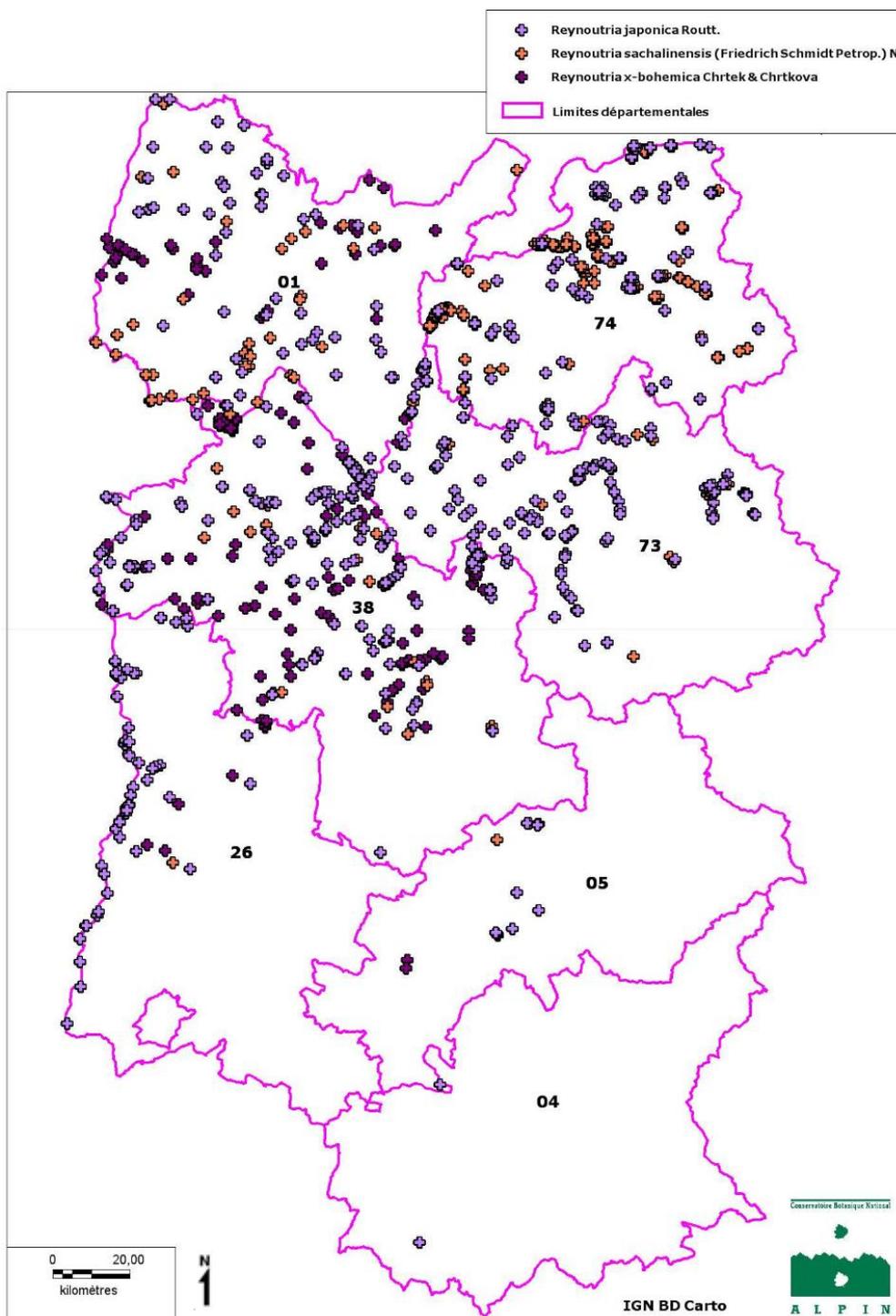


Figure 3 : Carte de répartition des renouées asiatiques dans les départements de l'Ain (01), Savoie (73), Haute-Savoie (74), Isère (38), Drôme (26), Hautes-Alpes (05) et Alpes-de-Haute-Provence (04) (Pichet, 2011)

I.1.C) Perceptions et enjeux de gestion des renouées asiatiques

Les études centrées sur les interactions entre les renouées asiatiques et les écosystèmes envahis explorent l'impact de cette invasion autour des sites présentant une forte activité humaine, telles que les zones agricoles, industrielles, commerciales, ainsi que les infrastructures linéaires de transport. La contamination de ces sites par les renouées serait généralement provoquée par la présence de propagules dans les sols sur lesquels elles se développent. Les zones remblayées avec des terres importées ou subissant des dépôts de déchets sont désignées comme principales origines de la contamination. L'impact des renouées sur les cours d'eau, dont les voies navigables, est particulièrement prononcé, notamment par le phénomène de dispersion par les crues. En effet, les renouées peuvent empêcher la restauration de ripisylves, favoriser l'érosion des berges et aggraver la sévérité des épisodes de crues par création d'embâcles (Maskell et al., 2006).

Les études effectuées sur les perceptions des espèces invasives par la société indiquent que les renouées asiatiques sont l'une des espèces mentionnées par les agriculteurs, les gestionnaires de réserves naturelles, de sites industriels, ainsi que d'infrastructures linéaires, lorsqu'on leur demande quelles espèces sont susceptibles de devenir problématiques dans les années à venir (Vanderhoeven et al., 2011). Chez les riverains, les perceptions des habitants d'une commune située en Rhône-Alpes ont fait l'objet d'un photoquestionnaire. Les résultats montrent que, pour ce groupe d'acteurs, les renouées asiatiques ne nuisent ni à la qualité esthétique, ni à la qualité patrimoniale du paysage, sauf lorsque les individus sont capables d'identifier la plante et ont connaissance de son potentiel invasif (Piola et al., 2014).

Les enjeux relatifs au devenir des renouées dans nos régions s'adressent à l'ensemble des acteurs de la société, notamment les pouvoirs publics ainsi que les professionnels de gestion. Parmi les objectifs de ces organismes, ressort la volonté de renseigner l'état de l'art sur l'écologie fonctionnelle des renouées, d'expérimenter de nouvelles techniques de contrôle durables, mais également de sensibiliser les différents acteurs en vue de contenir à terme la propagation de la plante sur le territoire.

I.2) ÉTAT DES CONNAISSANCES

I.2.A) Écologie des renouées

Les renouées asiatiques sont des espèces végétales clonales de la famille des Polygonacées. Visualisées sur les **Photographies 1, 2 et 3**, ce sont des géophytes qui développent un réseau souterrain dense de rhizomes pouvant descendre à plus de deux mètres de profondeur et s'étendre latéralement dans un rayon de 20 mètres (Beerling et al., 1994). La biomasse souterraine des renouées peut représenter jusqu'à deux tiers de leur masse totale (Price et al., 2001).



Photographies 1, 2 et 3 : Racines, rhizomes (a), fleurs (b) et tiges (c) des renouées asiatiques (Dommanget, 2014)

Au printemps, les renouées développent des tiges aériennes segmentées, les ramets, de couleur verte piquetées de petites taches rougeâtres, pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre basal. Elles sont creuses, cassantes et flétrissent chaque année dès les premières gelées, mais restent néanmoins visibles durant l'hiver sur les sols peu perturbés. Elles peuvent mesurer jusqu'à trois mètres de hauteur pour *F. japonica* et cinq mètres pour *F. sachalinense*. *F. bohemica* présente une morphologie intermédiaire entre ses deux parents. Les feuilles ont des tailles et des formes variables selon les espèces. *F. japonica* est l'espèce présentant les feuilles les plus petites, de forme triangulaire et de l'ordre de 10 centimètres de longueur, tronquées à la base et glabres. *F. sachalinense* possède des feuilles cordiformes à la base, pouvant aller jusqu'à 50 centimètres de longueur et présentant de longs poils flexueux. *F. bohemica* possède là encore une morphologie et des caractères intermédiaires. Les caractéristiques morphologiques de chaque espèce sont détaillées en **Figure 10** (Bailey & Wisskirchen, 2006).

Les ramets d'un même individu clonal sont connectés par les rhizomes souterrains, pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre – la majorité étant confinée dans les 50 premiers centimètres du sol, et partagent leurs ressources par le mécanisme d'intégration clonale. Les ramets situés dans les endroits les moins favorables bénéficient des ressources assimilées par les ramets les mieux situés, et privilégient ainsi le développement par ramification dans les directions les plus favorables (Aguilera et al., 2010).

La floraison des renouées est tardive et s'étale de juillet à septembre. Les fleurs contiennent cinq tépales blanchâtres (Beerling et al., 1994). Elles sont disposées en panicules dressées à l'aisselle des feuilles. Elles sont pollinisées par les insectes et produisent des akènes bruns de quelques millimètres de long. La viabilité et la fertilité des graines sont très variables au sein des aires d'introduction et en fonction des clones étudiés (Weston et al., 2005).

Les renouées asiatiques sont gynodioïques, c'est-à-dire qu'il existe des pieds hermaphrodites et des pieds mâles-stériles. La renouée du Japon est uniquement présente en Europe et aux États-Unis sous la forme d'un clone mâle stérile, lui interdisant de se reproduire de façon sexuée avec les individus de la même espèce. Les deux autres espèces expriment quant à elles un niveau de variabilité génétique plus élevé. La présence d'individus femelles rend la reproduction sexuée possible entre les trois espèces (Tiébré et al., 2008). Mais la reproduction des renouées asiatiques reste majoritairement végétative. Celle-ci est par ailleurs très efficace, à peine quelques grammes de rhizomes ou de fragments de tiges contenant un nœud peuvent suffire à produire un nouvel individu (Sásik & Eliáš, 2006). Malgré cette multiplication végétative prédominante, la présence parfois supérieure des hybrides montre que la reproduction sexuée existe et est susceptible d'accroître l'invasion des renouées (Pyšek et al., 2003).

La vitesse de croissance des renouées est très élevée, pouvant atteindre 15 centimètres par jour toutes espèces confondues. Cette croissance leur permet de dominer rapidement les espèces voisines, et leur confère un avantage compétitif en limitant l'accès à la lumière des autres espèces végétales, notamment herbacées. Les renouées asiatiques sont quant à elles capables de se maintenir dans des espaces où l'accès à la lumière est limité par la présence d'espèces hautes implantées durablement, tels les arbres et autres arbustes feuillus (Beerling et al., 1994).

L'aménagement des bordures des voies navigables, routes et voies de chemin de fer, perturbe les communautés naturelles, augmente les conditions d'éclairement au sol, et modifie les conditions de sol et de drainage (Christen & Matlack, 2006). Ces facteurs de perturbation favorisent le développement des renouées, qui s'adaptent plus rapidement que les espèces indigènes aux nouvelles conditions biotiques et abiotiques de ces milieux perturbés (Pollnac et al., 2012).

Les renouées asiatiques ont une large gamme de tolérance environnementale. Elles sont présentes dans une grande variété d'habitats, des terrils de mine aux sols alluviaux en passant par des carrières, des déchetteries ou des zones boisées ouvertes (Beerling et al., 1994). Elles sont cependant plus fréquentes dans les habitats rudéraux, le long des berges de cours d'eau et des infrastructures linéaires de transport. Malgré leur prépondérance généralisée en Europe, leur absence près du pourtour méditerranéen laisse supposer que la sécheresse estivale est un facteur limitant (Bailey & Wisskirchen, 2006). Observées en région montagneuse à plus de 1800 mètres d'altitude, elles sont tolérantes aux faibles températures (Daumergue, 2014).

Dans les habitats envahis, les renouées asiatiques affectent la végétation native, puisque précisément moins d'espèces végétales natives y sont observées. Outre la compétition pour la lumière, plusieurs travaux suggèrent un phénomène d'allélopathie, du fait que les renouées sécrètent par leurs racines des composés phyto-toxiques capables de réduire la germination et la croissance de certaines espèces natives (Dommanget et al., 2014).

La composition de la macrofaune liée au sol est également affectée, ce qui se traduit par une abondance des invertébrés plus faible sous couvert de renouées asiatiques que dans les zones contrôles. Les zones envahies sont proportionnellement plus riches en décomposeurs (isopodes and diplopodes), tandis que les gastropodes herbivores y sont moins abondants (Gerber et al., 2008).

I.2.B) Bilan des techniques de gestion expérimentées sur les renouées

Différentes méthodes de lutte ont été développées pour le contrôle des renouées asiatiques. Elles peuvent être mécaniques (fauche, arrachage, broyage, concassage, bâchage, etc.), chimiques (phytosanitaires) ou biologiques (pâturage animal, génie végétal). L'utilisation du glyphosate fut pendant longtemps une méthode très répandue, mais elle est depuis le 30 décembre 2006 interdite à proximité des cours d'eau par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques. La limitation voire l'interdiction de l'utilisation des produits phytosanitaires tend d'ailleurs à se généraliser, et des évolutions significatives sont attendues à court terme sur le plan réglementaire, la loi n° 2014-110 du 6 février 2014 visant l'interdiction des phytocides dans les espaces verts publics à partir de 2020. De nombreuses collectivités ont déjà mis en place ce type de mesures au sein des volets de gestion des espaces publics, notamment sur les abords routiers.

Plusieurs expérimentations ont été menées ces dernières années par différents acteurs (chercheurs, gestionnaires d'ILTe, syndicats de rivière, ONF, communes, etc.), avec l'appui de co-financeurs publics (ministère de l'écologie et du développement durable, conseils départementaux et régionaux, agences de l'eau, etc.). Plus que l'application d'une seule technique, c'est souvent la juxtaposition de plusieurs méthodes qui montre la meilleure efficacité sur les techniques de gestion mécanique. Le matériel utilisé, la formation du personnel qualifié et le traitement des déchets de renouées, font partie des critères à prendre en compte pour rendre ces méthodes réellement efficaces. Faute de quoi, la gestion sera contre-productive, l'étalement des renouées étant accentué par la dispersion de fragments (Boyer, 2009).

Les travaux de restauration écologique, par la reconstitution d'une couverture végétale autochtone pérenne, ont fait l'objet de nombreuses réalisations depuis une quinzaine d'années. S'appuyant sur les techniques de génie végétal, il s'agit le plus souvent de bouturage de saules ou de plantation de jeunes arbustes sur des taches de renouées exotiques, associé ou non à un prétraitement (décaissage, arrachage, pose de géotextile, etc.), dans le but de réduire les apports de lumière au niveau des renouées (Evette, 2015). Un exemple de restauration peut être visualisé sur les **Photographies 4, 5 et 6**.



Photographies 4, 5 et 6 : Mise en œuvre d'arrachage des renouées, de pose de géotextile et de plantation de ligneux sur la commune de Saint-Michel-sur-Orge (Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orge Aval, 2009)

La lutte biologique via l'introduction d'espèces spécialistes, tels les insectes *Aphalara itadori*, originaires des mêmes zones géographiques que les renouées, constitue une nouvelle technique à l'essai (Grevstad et al., 2013). Les résultats liés à l'efficacité de ce prédateur, visualisé sur les **Photographies 7 et 8**, et son influence sur le reste de l'écosystème, doivent encore faire l'objet d'études comparatives.



Photographies 7 et 8 : *Aphalara itadori* sur une feuille et individus sur une tige de renouées asiatiques, de longueur 2 mm (Le Monde, 2013)

De bons résultats ponctuels sont régulièrement observés sur les éco-pâturages, testés à plusieurs reprises en France. L'ensemble de la biomasse aérienne des renouées étant ingéré par les troupeaux de chèvres, cette méthode est aujourd'hui considérée comme l'une des plus efficaces et rentables, bien que difficile à mettre en application le long des ILTe, pour des questions de sécurité (Jurjan et al., 2015). De la même manière, des études comparatives doivent encore être menées dans ce domaine d'expérimentation.

Les techniques de gestion mises en œuvre se concluent par une faible efficacité de contrôle global sur le long terme. En effet, les sommes sont très majoritairement investies dans des opérations ponctuelles de gestion, sans que des retours d'expérience à de plus larges échelles puissent être menés. Ainsi, en dépit de la multiplicité de ces opérations et des sommes investies, de nombreuses lacunes dans les connaissances subsistent. De plus, les expérimentations sont le plus souvent réalisées localement, de manière empirique, sans protocole rigoureux, ni publication des résultats et sans concertation avec des spécialistes pouvant apporter une vision globale. De ce fait, la diffusion des retours d'expérience issus de ces travaux est bien souvent insuffisante. Ainsi, il est aujourd'hui admis que la plupart des techniques de gestion, en prenant en compte les moyens humains et financiers souvent insuffisants des structures de gestion, ne permettent pas de garantir une élimination totale et définitive de la plante sur le site traité. Pour atteindre cet objectif, des actions de gestion et de sensibilisation doivent être mises en place dans une vision intégrée à plus large échelle (Delbart et al., 2012).

Par ailleurs, il est bon de mentionner que les massifs de renouées asiatiques peuvent se développer sur des zones difficiles d'accès ou à proximité d'écosystèmes fragiles, ce qui complique le choix des méthodes de gestion (Wittig, 2012). C'est particulièrement le cas le long des voies navigables, les renouées pouvant être facilement dispersées en aval lors d'une fauche ou d'un arrachage. Près des voies de chemin de fer, le trafic ferroviaire peut de la même manière faciliter la dispersion des renouées. Les massifs de renouées situées près d'habitations ou de sites fréquentés (routes secondaires, voies communales, chemins de randonnées, etc.) présentent également un risque de dispersion, d'année en année, par le biais des riverains peu sensibilisés. De ce fait, il peut parfois sembler préférable pour un gestionnaire de ne pas gérer un site envahi, plutôt que d'utiliser une technique contre-productive, susceptible de favoriser l'étalement des massifs.

Ces effets contre-productifs semblent toutefois de mieux en mieux connus par les professionnels de gestion. La sensibilisation des riverains reste actuellement à la charge des collectivités municipales de manière individuelle. Concernant les collectivités territoriales, une enquête réalisée au cours de l'étude, auprès du Conseil Général de l'Isère, a révélé que près de 50 % des techniciens en charge de l'entretien des espaces verts et des linéaires de transport ont été sensibilisés entre 2010 et 2015, par le biais de journées de sensibilisation et de formation ciblées (entretien téléphonique effectué en mai 2015 avec Fabienne Gaillard, conseillère départementale).

I.2.C) Évolution spatio-temporelle et facteurs de performance des renouées

Afin de répondre aux critères d'efficacité soulevés par la mise en place d'une méthode de gestion globale à grande échelle, un travail de fond visant à compléter les connaissances scientifiques sur la performance synchronique et diachronique des massifs de renouées à l'échelle paysagère se révèle indispensable.

En Belgique, la dynamique et la distribution de la colonisation des renouées envahissantes sur un paysage de 1000 hectares ont été observées pendant trois années. Les relevés des taches de renouées étaient réalisés sur le terrain à l'aide d'un GPS. Le taux d'accroissement de la population était plus important pour *F. japonica* que pour *F. bohemica*, et témoignait principalement de la dynamique intra-patch, avec une faible dynamique de colonisation entre les différents massifs. La surface totale occupée par les renouées avait augmenté de 35 % en deux ans. Le développement de ces espèces peut ainsi être considéré comme particulièrement rapide à l'échelle du paysage (Tiébré et al., 2008).

Cette dynamique reste néanmoins variable, et dépend de différents facteurs environnementaux, régis par les conditions du milieu, mais également de gestion. Pourtant, jusqu'à aujourd'hui, aucune étude diachronique n'a été en mesure de mettre en lien le rôle de ces facteurs et la dynamique des massifs à l'échelle paysagère.

Cela s'explique en partie par le fait que la cartographie des invasives ne s'est jusque-là que très peu appuyée sur les outils modernes de télédétection à très haute résolution spatiale, privilégiant des enregistrements par GPS. Des travaux récents ont montré que la renouée pouvait être cartographiée précisément à partir d'images aériennes, par avion, drone ou satellite (Shouse et al., 2013).

L'essor de capteurs miniaturisés fournit aux scientifiques un moyen de surmonter les limites de l'imagerie satellitaire classique, en augmentant les résolutions spatiales et temporelles. La facilité de déploiement et les faibles coûts de fonctionnement des drones permettent d'augmenter la fréquence des missions fournissant des ensembles de données à ultra-haute résolution spatiale et temporelle.

Cette nouvelle approche entre terrain et satellite offre un fort potentiel de calcul des métriques paysagères permettant d'analyser avec plus de précision les dynamiques et les processus d'invasion. L'utilisation de ces méthodes de télédétection sur les renouées asiatiques, et de leur efficacité, a fait l'objet d'une étude comparative au sein d'Irstea-Grenoble (Stromboni, 2015).

Plusieurs travaux synchroniques publiés sur les renouées asiatiques mettent en évidence que ces espèces tolèrent un stress nutritif et peuvent survivre dans des milieux très pauvres en ressources, avec néanmoins un impact régressif sur leur production de biomasse. L'exigence écologique faible des renouées, notamment en cas de stress chimique, est due à leur capacité de puiser des réserves dans leurs rhizomes, plus affectés par la perte de biomasse. En présence d'autres espèces végétales, la réduction de performance est d'autant plus importante que l'espèce présente de similarités avec les renouées (Rouifed et al., 2011).

Les coupes effectuées dans le cadre d'une gestion, en plus d'avoir un effet sur la biomasse aérienne, s'accompagnent d'une redistribution du réseau racinaire : la proportion de racines dans la partie supérieure du sol devient plus forte au détriment de la partie la plus profonde (Gerber et al., 2009). Les renouées démontrent ainsi leur capacité à compenser la perte de biomasse aérienne, la partie souterraine étant systématiquement impliquée dans la réponse aux différents stress. La compétition de recouvrement spatial entre les espèces végétales pour la disponibilité en lumière est également un facteur susceptible d'avoir une influence sur la performance des renouées asiatiques (Dommanget, 2014).

A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux facteurs expliquant la dynamique spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques. Les travaux précités, bien qu'ils s'intéressent principalement à la performance des renouées, permettent d'orienter les choix des facteurs étudiés et des méthodes d'échantillonnage appliquées dans ce mémoire.

I.3) QUESTION SCIENTIFIQUE

I.3.A) Présentation des projets Dynarp et Infame

Le programme Dynarp (Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions) est un projet scientifique avec pour objectif théorique, sur la durée 2014-2017, de mieux comprendre les processus de développement des renouées asiatiques dans le paysage des infrastructures linéaires de transport, en fonction des facteurs biotiques et abiotiques, du type d'infrastructure (voies navigables, voies ferrées, réseaux routiers, etc.), de leur gestion mais également de leur perception.

Les objectifs appliqués du projet sont de contribuer à l'amélioration de la gestion des renouées asiatiques le long des infrastructures linéaires de transport, et d'évaluer l'efficacité des dispositifs de gestion à l'échelle paysagère (en analysant sur plusieurs années la réponse spatiale des massifs). Dans ce but, une méthode de cartographie à l'échelle paysagère par télédétection sera développée. Des interactions avec les propriétaires des sites envahis sont envisagées afin de comprendre les raisons qui décident les gestionnaires à agir ou non à l'encontre de l'espèce invasive, et en quoi le contexte paysager influence ces décisions (Irstea, 2014).

Concrétisé au dernier trimestre 2014, le projet Dynarp bénéficie du label ITTECOP, qui a permis de soutenir les initiatives lancées au sein de ce programme de recherche. Les 16 nouveaux projets de recherche ayant obtenu ce label présenteront leur approche finale, ainsi que leurs premiers résultats lors du colloque éponyme les 1^{er} et 2 octobre 2015 (Ittecop, 2015).

Les études relatives au projet Dynarp seront menées en parallèle sur plusieurs types d'ILTe, à savoir les emprises de voies ferrées (RFF), de voies navigables (VNF), de voies routières importantes ou autoroutières (APRR, ASF, DIR Centre-Est). Elles s'appuieront sur l'examen et la comparaison de paysages modèles pour chaque type d'infrastructure, de manière individuelle comme groupée. Ces travaux permettront également de mieux cerner le contexte paysager influant sur la dissémination des renouées, qu'il s'agisse de la distance au cours d'eau, à la route, aux massifs de renouées les plus proches, ou encore des facteurs environnementaux.

Les résultats obtenus permettront de discuter les liens entre cette dynamique des renouées et les fonctions de corridors écologiques des ILTe. A savoir comment la structure linéaire de l'infrastructure influe-t-elle sur la colonisation et le développement des taches de renouées ? L'étude de la vitesse et de l'organisation spatiale du développement des renouées à l'échelle paysagère sur différents types d'infrastructures linéaires ouvre la voie vers des outils de modélisation de ces processus.

L'institut Irstea-Grenoble n'en est pas à sa première étude sur les renouées asiatiques. En 2014, une thèse s'intéressant aux interactions entre espèces invasives et communautés végétales des berges de cours d'eau, a été soutenue au sein de l'unité de recherche EMGR (Dommanget, 2014). En 2008, le programme de recherche Infame, s'intéressant aux facteurs d'installation des renouées asiatiques dans les zones de montagnes iséroises, fut initié au sein de la même unité.

Toujours en cours, ce projet vise à appréhender la dynamique invasive de la renouée du Japon et de Bohême à une altitude supérieure à 800 mètres dans le département de l'Isère, en procédant à un référencement souhaité exhaustif des massifs de renouées, par le biais de prospections et d'enquêtes témoignant de leur présence. L'objectif final fixé par ce projet est de pouvoir anticiper la future aire de répartition potentielle de cette plante en fonction des facteurs naturels ou anthropiques susceptibles de favoriser sa progression géographique (Spiegelberger, 2014).

I.3.B) Contexte de réalisation de l'étude

Les travaux du projet Dynarp sont coordonnés au sein d'Irstea, et rassemblent, en plus des agents mobilisés au sein de l'institut, divers partenaires et prestataires, parmi lesquels l'UMR Environnement Ville Société (EVS) de l'Université de Lyon, le Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA), ainsi que le bureau d'étude Concept.Cours.d'EAU, et dont les logos sont présentés sur la **Figure 4**. L'implication de chaque partenaire est répartie en sept groupes de travail ou « work package », dénommés WP :

- WP0 : Définition des sites en Rhône-Alpes et Bourgogne impliquant des commanditaires de gestion
- WP1 : Enquêtes auprès des acteurs de la gestion afin de caractériser les perceptions des renouées en fonction du contexte paysager qui les entoure
- WP2 : Caractérisation spatio-temporelle et analyse paysagère des taches de renouées par télédétection
- WP3 : Relevés des facteurs biotiques, abiotiques et de gestion à l'échelle des taches de renouées
 - Relevé de la forme des taches de renouées et géolocalisation
 - Relevé de performance des taches de renouées à l'aide de traits biologiques adaptés (densité, hauteur, biomasses, évolutions de surface, etc.)
 - Conditions abiotiques du milieu : substrat, rayonnement, exposition, etc.
 - Conditions biotiques : caractéristiques spécifiques et fonctionnelles des communautés végétales environnantes
 - Conditions de gestion : caractéristiques des tendances de gestion sur les voies publiques et les propriétés privées
- WP4 : Modélisation statistique mettant en lien la structure paysagère, les facteurs de milieu à l'échelle locale et les modalités de gestion
 - Le WP4 s'appuiera sur les données des trois premiers WP
- WP5 : Préconisations pour la gestion à partir des résultats des travaux précédents
- WP6 : Coordination du projet et des différents travaux



Cerema



Figure 4 : Logos des partenaires et prestataires du projet Dynarp

L'étude de ce mémoire se concentre principalement sur le volet WP3, et participe aux décisions prises dans le cadre du volet WP4. Le volet WP2 fait quant à lui l'objet d'une autre étude effectuée sur la même période (Stromboni, 2015).

Les résultats de la présente étude, hautement exploratoire, seront débattus au sein de l'institut à l'issue du stage, en vue de réorienter, si besoin, son application sur les sites sélectionnés pour les années à venir. Les différents éléments qui composent ce mémoire (état de l'art, protocole, résultats, etc.) pourront entre autres, si suffisamment pertinents, être intégrés dans les livrables du projet.

A terme, les résultats du projet seront vulgarisés auprès des gestionnaires, et fera l'objet d'une synthèse des éléments issus des différentes analyses sous forme de préconisations appliquées. La production scientifique et technique du travail de recherche sera valorisée par des présentations dans des colloques nationaux et internationaux, ainsi que par des publications dans des revues scientifiques et techniques.

I.3.C) Problématique, objectifs et hypothèses

L'état des connaissances sur les renouées asiatiques permet de dresser le constat suivant : les différentes espèces de renouées présentent une telle adaptabilité que les techniques de gestion ou d'expérimentations effectuées à ce jour n'ont pu aboutir à un contrôle efficace et durable des massifs de renouées asiatiques sur les sites envahis. Afin de renseigner les connaissances scientifiques et techniques sur la dynamique des renouées, la compréhension de leur évolution spatio-temporelle, et des facteurs environnementaux et de gestion susceptibles d'avoir une incidence sur cette dynamique, est au cœur des objectifs du projet Dynarp.

La problématique de l'étude diachronique que l'on cherche à mener à une échelle exploratoire est la suivante :

Quels sont les facteurs environnementaux et de gestion caractérisant la dynamique spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques le long des infrastructures linéaires de transport, et quelles méthodes de mesures et d'analyses employer pour les identifier ?

Afin de tenter de répondre à cette interrogation et identifier lesdits facteurs, les objectifs fixés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Sélectionner, au vu de la bibliographie, les facteurs de performance, géographiques, biotiques, édaphiques et de gestion susceptibles d'expliquer, au sens statistique du terme, l'évolution spatio-temporelle des taches de renouées asiatiques.
- Mettre en place un protocole d'acquisition de données liées à ces facteurs, planifié vis-à-vis des moyens humains et financiers à disposition, sur un échantillonnage de sites représentatif.
- Elaborer étape par étape une méthode d'analyse statistique, avec pour variable principale l'évolution de surface des massifs de renouées, à l'aide des potentielles variables explicatives récoltées.
- Valoriser les données déjà disponibles à l'Irstea dans le cadre du projet de recherche Infame, et évaluer la pertinence des analyses effectuées en vue de les appliquer dans le cadre du projet Dynarp.

Les hypothèses suivantes sont basées sur les connaissances de l'état de l'art en termes d'études synchroniques et diachroniques réalisées sur les espèces de renouées asiatiques :

- Les facteurs environnementaux et de gestion, possédant un pouvoir explicatif sur les performances de biomasse des taches de renouées étudiées, ont un effet sur leur dynamique spatio-temporelle.
- Les caractéristiques de biomasse, de surface et d'étirement propres à chaque tache, sont corrélées avec la capacité de croissance spatiale du massif au cours du temps.
- La diversité des communautés végétales avoisinantes, et les traits de compétition associés, notamment en termes de couvert végétal et de développement racinaire, constituent des facteurs biotiques potentiels limitant l'expansion du massif.
- L'intensité avec laquelle les taches de renouées asiatiques évoluent dépendrait également de conditions abiotiques locales, variant en partie selon leur position géographique (topographie, climat, aménagement du territoire). Parmi ces facteurs, les caractéristiques physico-chimiques du substrat (facteurs édaphiques) peuvent être représentatives d'un éventuel stress subi par la plante et, là encore, limiter l'étalement du massif.
- Le type de gestion pratiqué, la fréquence, la durée d'intervention, et le devenir des déchets de renouées extraits du massif, seraient les facteurs de gestion les plus à même d'expliquer l'évolution des taches de renouées gérées.

II) MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1) PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1.A) État d'avancement du projet Dynarp

L'analyse des facteurs biotiques, abiotiques et de gestion liés à l'évolution des taches de renouées asiatiques le long des linéaires de transport implique deux dynamiques, à savoir :

- Une dynamique spatiale : mesurer les traits fonctionnels qui caractérisent chaque massif de renouées ainsi que les facteurs écosystémiques associés à sa performance.
- Une dynamique temporelle : effectuer les mesures de traits sur deux périodes de temps suffisamment espacées afin d'observer une évolution de surface significative.

En ce sens, le projet Dynarp n'en étant qu'à sa première année d'enquête, une telle analyse ne peut être effectuée sur les sites retenus d'ici l'échéance de ce mémoire, comme en témoigne le planning du **Tableau 1**. En effet, le programme, planifié sur trois ans, ne permettra de constituer un jeu de données suffisamment représentatif qu'à l'issue de 2017, sur les sites retenus pour application d'un traitement analytique. Seules les mesures de surface, en vue d'expérimenter différentes méthodes d'acquisition, sont ainsi prévues pour 2015, dans le cadre d'un autre mémoire (Stromboni, 2015).

Échelle d'intervention	Volet	WP2		WP3
	Mesures	Télédétection	Drône	Terrain
Site	ILTe	50 x 100 m	50 x 100 m	30 à 40 taches
Anse (Rhône)	Voie navigable Voie routière Voie ferrée	2015 : Contours SIG 2017 : Contours SIG	2015 : 1 vols 2016 : 2 vols 2017 : 2 vols	2015 : Contours GPS 2016 : Mesures facteurs + enquêtes 2017 : Contours GPS

Tableau 1 : Extrait du programme Dynarp issu du compte-rendu de la réunion interne du 4 juin 2015 (Evette, 2015)

Certaines données (relevés de végétation, prélèvements de substrat, contacts avec les gestionnaires) ont cependant été acquises dès cette année, de manière non exhaustive, dans le cadre des missions visant à repérer les différents sites. Ces données, bien qu'elles n'apparaissent pas dans cette étude, ont permis d'ajuster le protocole, en évaluant notamment le temps nécessaire à sa réalisation.

II.1.B) Présentation des données Infame

De manière à bénéficier dès le début de cette étude de données de surface sur plusieurs taches de renouées, situées en majorité le long d'axes routiers, et ce sur deux périodes distinctes, l'utilisation des données récoltées dans le cadre du projet Infame a ainsi été suggérée.

Pour mettre en place ce projet, deux bases de données ont été initialement fournies par le CNBA (Conservatoire National de Botanique Alpin) et l'association Gentiana. A partir de ces données, et à l'issue de 2008, un total de 61 sites répartis sur le département de l'Isère, localisés sur la **Figure 5**, ont été retenus.

Chaque tache de renouées a notamment fait l'objet d'une acquisition de surface à l'aide d'un GPS de type Trimble Prox XRS, pour une précision hors couvert située entre 0.5 et 1 m. En 2014, 37 de ces sites ont de nouveau fait l'objet d'une acquisition de surface, à l'aide cette fois-ci d'un récepteur Trimble 6000 GEO XH, pour une précision de 10 cm. Il est prévu que le reste de ces sites soit acquis d'ici fin 2015.

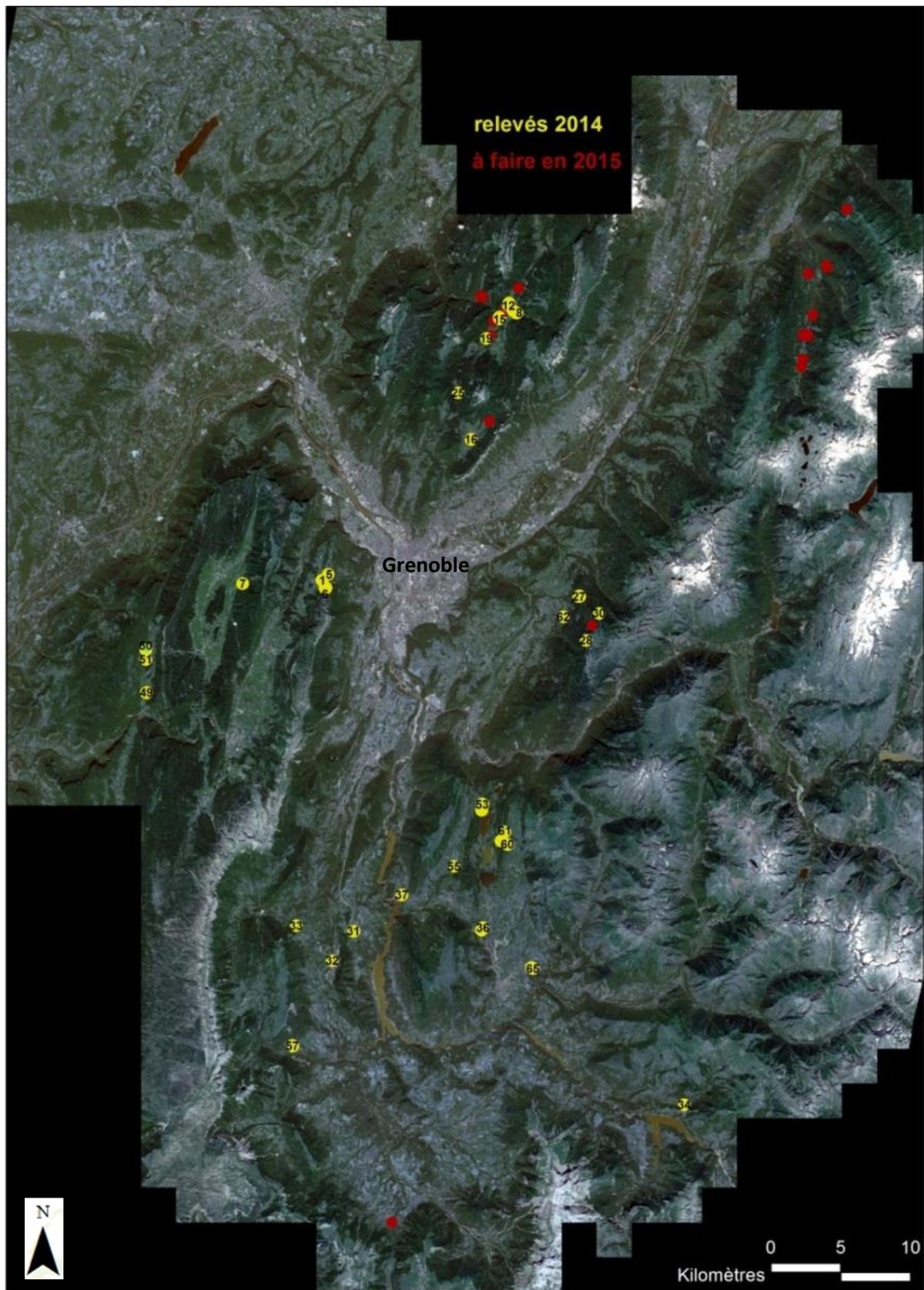


Figure 5 : Carte de localisation des sites Infame sur fond de BD ORTHO® du département de l'Isère (Breton, 2015)

Les données et analyses publiées dans le cadre de ce projet ne reposant pas sur le même protocole, seules les données de surface ont été récupérées et traitées par système d'information géographique. Cette étape a rapidement permis de repérer et trier un nombre suffisant de sites présentant des conditions d'étude favorables, et ce avant même de débiter les missions de terrain, comme sur l'exemple de la **Figure 6**.



Figure 6 : Carte de repérage par commune, gestionnaire et vue aérienne des massifs de renouées
Exemple du site de Sinard. Réalisée sur ArcGIS®

II.2) ACQUISITION DES DONNÉES

II.2.A) Mesures de surfaces par cartographie des massifs de renouées

Matériel : GeoExplorer® Trimble 6000 GEO XH | Logiciel SIG (ArcGIS®/QGIS®) | Logiciel TerraSync®
Boussole | Appareil Photo | Cartes SCAN 25®/BD ORTHO® format A3

Objectif : Caractériser l'évolution spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques, en déterminant dans chaque direction l'évolution quantitative de la surface occupée par la tache dans le temps.

Méthodes d'enregistrement :

- Taches accessibles :
Procéder à un enregistrement de vecteur type polygone à l'aide du GeoExplorer® en faisant le tour complet de la tache. Enregistrer un nouveau point – acquisition 30 secondes – dès que l'observateur doit changer de direction.
- Taches qui se poursuivent dans une emprise inaccessible :
Finaliser l'emprise du polygone sur SIG, tel que décrit sur la **Figure 7**, en s'aidant pour cela d'un fond de carte BD ORTHO®, ainsi que des commentaires référencés sur le terrain et des pointages à distance pouvant être effectués avec le GeoExplorer®.

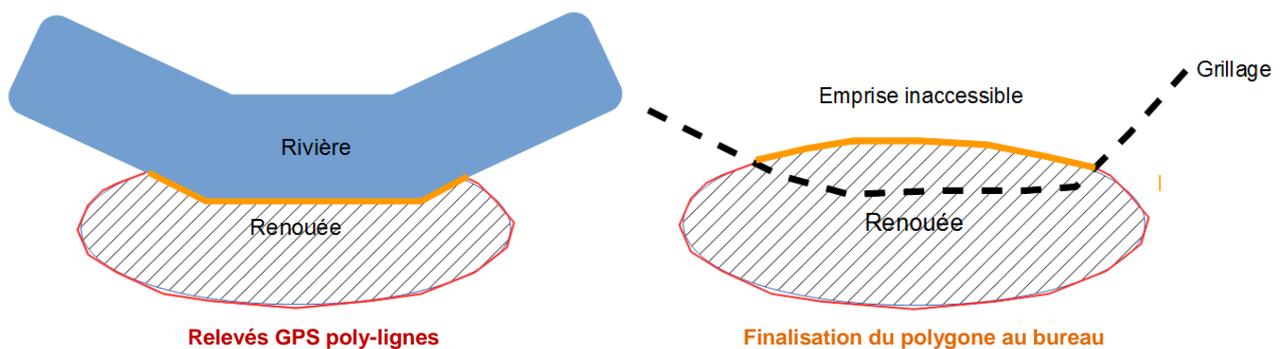


Figure 7 : Schématisation des enregistrements par GPS des renouées selon les obstacles rencontrés (Biaunier, 2015)

- Taches simplement visibles dans une emprise non accessible :
Effectuer un pointage à distance à l'aide du GeoExplorer® dans l'éventualité que la tache puisse être prospectée lors d'une prochaine phase de terrain. Si la tache est hors de portée ou la réception satellitaire indisponible, pointer son emplacement approximatif sur l'interface cartographique du GPS ou sur une carte physique emportée sur le terrain.

Cas particuliers, décrits sur la **Figure 8** :

- Taches < 4 m² :
Effectuer un enregistrement de type point au centre de la tache.
- Distance de séparation entre les taches inférieure à 2 m :
Regrouper les taches sous un même polygone.
- Taches contiguës présentant une ou plusieurs caractéristiques différentes (hauteur, densité, mode de gestion, recouvrement, occupation du sol, etc.) :
Distinguer les tâches même si la distance est inférieure à 2 m.

Chaque tache référencée sur un même site est numérotée par ordre croissant d'acquisition.

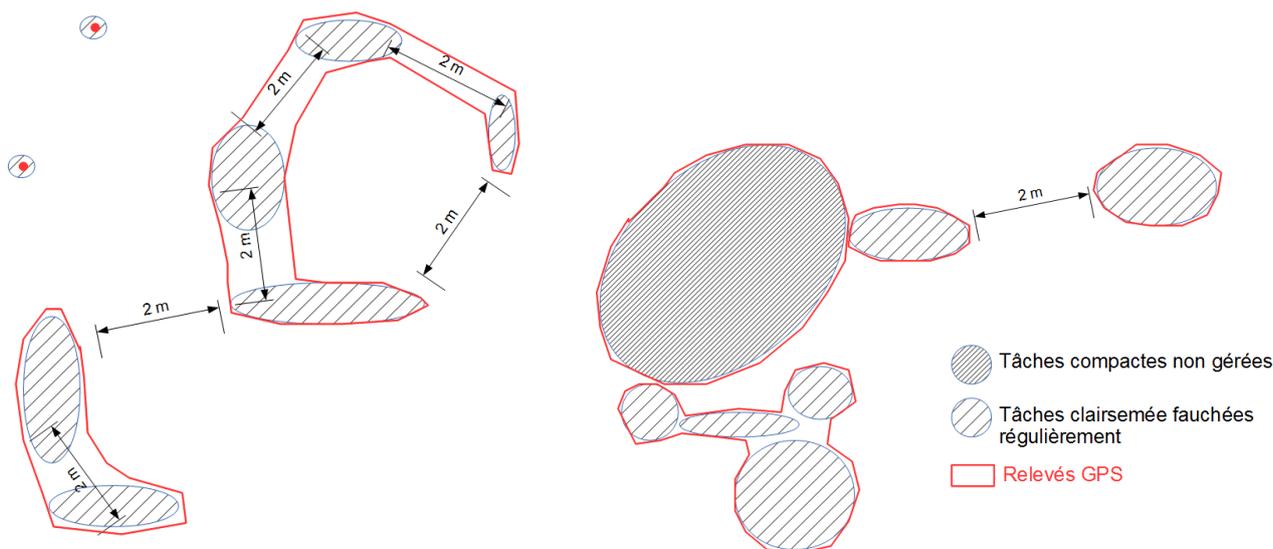


Figure 8 : Schématisation des enregistrements par GPS des renouées selon leur distance de séparation (Biaunier, 2015)

Photographie des taches :

- Prendre une ou plusieurs photos de la tache et son emplacement vis-à-vis des ILTe
- Utiliser un appareil photo permettant de récupérer la date d'acquisition, son emplacement en coordonnées géographiques, et l'orientation de la photographie
Notation : Infame_[Nom_du_site]_[n°_tache]_[n°_photo] Ex : Infame_Sinnard_3_1

Contraintes à respecter pour les prises de vue :

- Se positionner depuis le bord de la structure et viser à 45° vers l'amont ou l'aval par rapport au linéaire
- Prendre des photographies (cf. 9 et 10) de même résolution et de même proportion de paysages



Photographies 9 et 10 : Renouées asiatiques le long de la rivière du Rhône à Anse (Irstea, 2015)

Extraction des données :

De retour de mission, extraire et corriger les données du GeoExplorer® à l'aide du logiciel TerraSync®, regroupées pour tous les sites dans un ensemble de 5 fichiers (formats .dbf, .prj, .qpj, .shp, .shx) en projection conique conforme de Lambert (SCR RGF93 / Lambert-93 ID EPSG:2154).

Notation : Infame_2015_surfaces

Vérifier que les colonnes de la table attributaire soient organisées de la manière suivante :
Date d'acquisition | Nom du site | Numéro de la tache.

Pour chaque tache retenue dans le cadre de cette étude – et ce une fois les surfaces respectives de 2008-2009 et 2014-2015 acquises –, l'évolution de la surface tache est observée selon quatre orientations, disposées sur les grands axes de l'ellipse formée par sa surface la plus récente, comme le montre la **Figure 9**. L'objectif, en découpant la tache en quatre entités distinctes, est d'identifier localement les facteurs pouvant expliquer l'évolution de la tache dans des directions spatiales privilégiées. Deux possibilités se présentent pour définir ces orientations :

- Si la tache présente un étirement, positionner les points d'observation P sur les extrémités de la tache, séparés respectivement par la plus grande (voir P1 et P3 sur la Figure #) et la plus courte largeur de la tache (P2 et P4).
- Si la tache présente une surface en forme de disque homogène, positionner les points d'observation sur les axes orientés Nord-Sud et Est-Ouest.

Une fois ces points d'observation positionnés, 4 directions d'observation A sont ainsi mis en évidence. Chaque direction étant caractérisée par une valeur azimut exprimée en grade par rapport au Nord dans le sens rétrograde. Une orientation plein Nord correspondant à 0 gon, Est à 100 gon, Sud à 200 gon et Ouest à 300 gon. Ces azimut sont mesurés avec une boussole, l'observateur positionné dos à la tache.

Cela fait, on procède à une rotation des directions A de 50 gon (ou 45°) dans le sens rétrograde, afin d'identifier 2 axes de découpe A', permettant ainsi de séparer les polygones en 4 surfaces distinctes depuis leur centre commun, notées S pour 2008-2009 et S' pour 2014-2015.

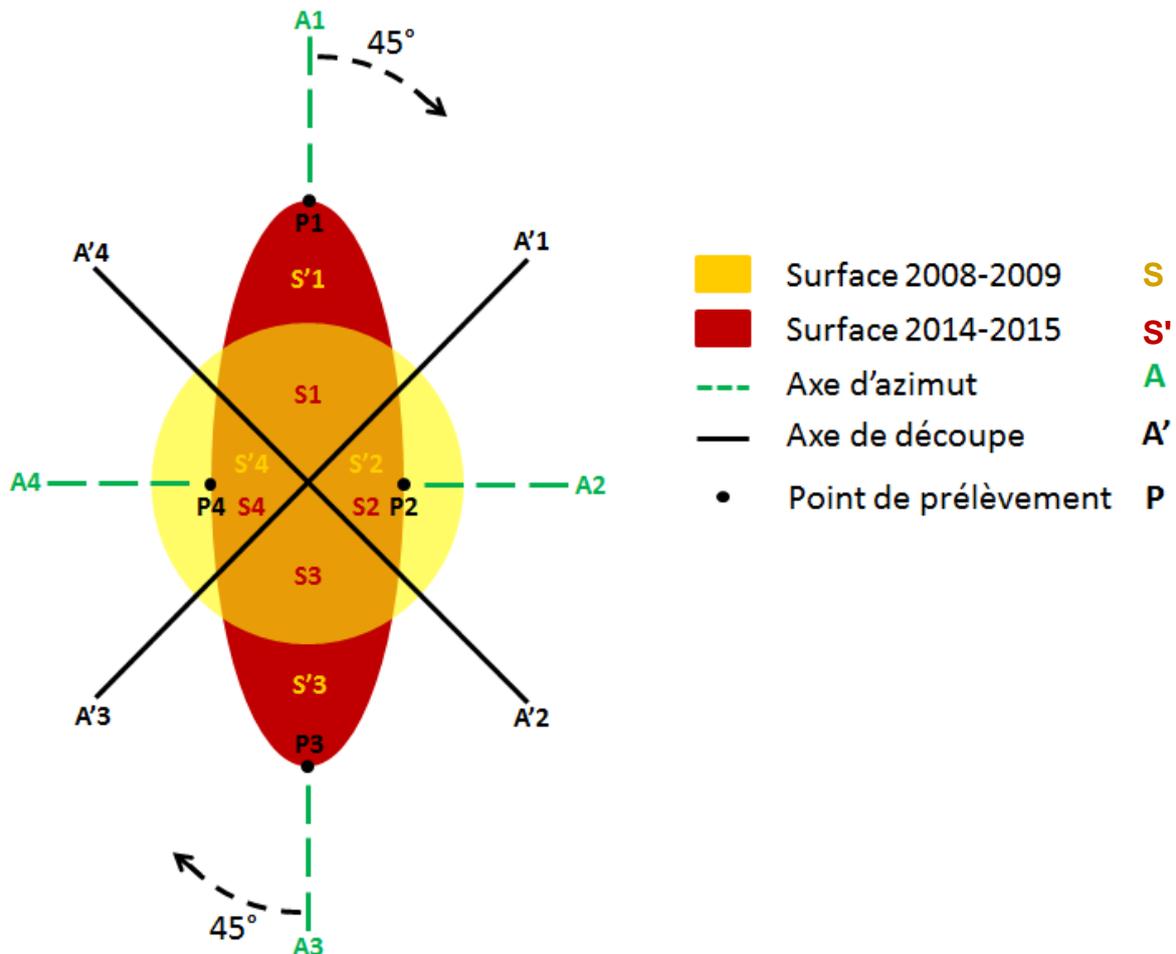


Figure 9 : Schématisation de la méthode de découpage de la surface des massifs de renouées

Chaque tache étudiée possède ainsi 4 entrées dans le jeu de données, une pour chaque direction d'évolution de surface observée. Ces entrées respectent la nomenclature suivante :

[Nom_du_site]_[Numéro_de_la-tache]_[Azimut]

Ex : Sinnard_2_310

La principale variable de notre étude, celle que l'on cherchera à corrélérer avec d'autres facteurs identifiés dans le cadre des missions, est donc caractérisée par la différence quantitative de surface entre 2008-2009 et 2014-2015, pour chaque direction observée. Celle-ci s'exprime pour chaque entrée par la formule suivante :

$$\Delta S = S' - S. \text{ Unité : m}^2$$

Les valeurs S et S' sont obtenues sur SIG par découpage des entités, l'utilisation de la calculatrice de champs et de la fonction \$area, ou tout simplement à l'aide de l'outil de mesure d'aires.

Les variables explicatives déterminées par la suite sont compilées dans un tableur au format .csv – un tableur par famille de variables – organisé de sorte à avoir une variable par colonne, avec en première ligne le nom des variables. Les deux premières colonnes de chaque tableur devront comprendre : la nomenclature de chaque tache ([Nom_du_site]_[Numéro_de_la-tache]_[Azimut]) et la variation de surface ΔS .

II.2.B) Mesures des traits biologiques et de l'étalement spatial des renouées

Matériel : Quadrat 1 m * 1 m | Indicateur | Perche graduée | Pied à coulisse | Boussole | Loupe

Objectif : Identifier des indicateurs de performance pouvant justifier le potentiel d'étalement du massif de renouées

Déterminer l'**espèce**, la **surface** (m²), l'**étirement**, la **hauteur** (m), le **diamètre** (cm) et la **densité des ramets** (Nb.m⁻²) et la **biomasse** des taches de renouées :

- Dans un premier temps, déterminer l'espèce de renouée à l'aide de la loupe et de la grille d'identification de Bailey et Wisskirchen détaillée sur la **Figure 10** et le **Tableau 2**.
- Noter S, B ou J selon l'espèce identifiée.
- Procéder à un jet aléatoire de l'indicateur coloré au sein de la tache
- Déposer l'un des angles du quadrat au niveau de l'indicateur en l'orientant Nord-Sud
- Mesurer la hauteur des 5 plus hauts ramets avec la perche et effectuer une moyenne
- Mesurer les 5 plus gros diamètres avec le pied à coulisse et effectuer une moyenne
- Mesurer le nombre exact de ramets au sein du quadrat pour obtenir la densité par unité de surface
- Répéter et moyenner les quadrats selon la surface de la tache :
 - 4 à 10 m² = 1 quadrat
 - 10 à 20 m² = 2 quadrats
 - > 20 m² = 3 quadrats

De retour au bureau, relever pour chaque tache sa **surface en 2014** (m²), ainsi que son **étirement** par SIG. Cette dernière variable s'exprime par le rapport entre la plus grande et la plus petite distance sur chaque axe séparant les points d'observation aux extrémités de la tache (exemple sur la **Figure 9** : $e = P_1P_3/P_2P_4$).

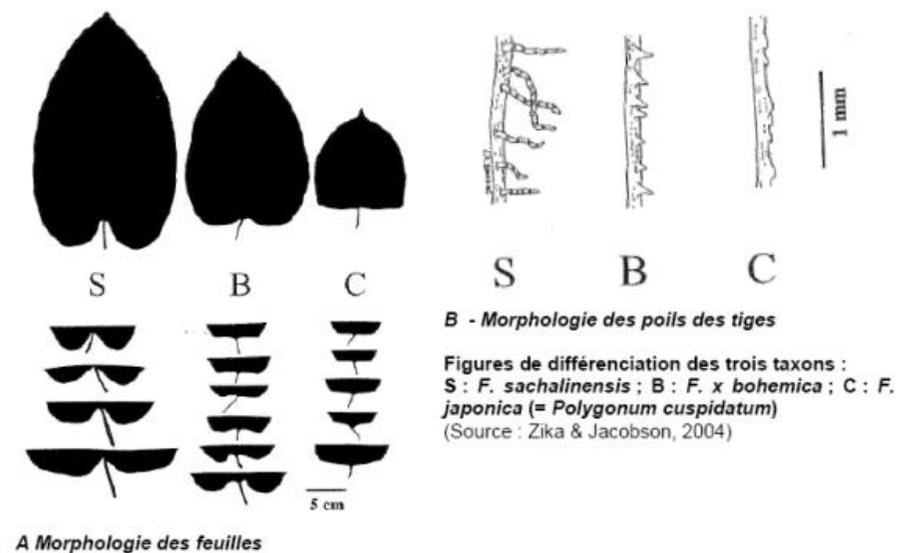
A l'aide d'un logiciel statistique ou de type tableur, calculer la **biomasse** de chaque tache à l'aide de la formule suivante : $\text{biomasse} = \exp(4.67184 + 0.61281^{\text{densité}} + 0.99005^{\text{diamètre}})$.

Cette formule, établie par Fanny Dommanget, résulte de tests statistiques exploratoires, de type régression linéaire, effectués sur les liens morphométriques pouvant exister entre le diamètre et la hauteur des ramets des taches de renouées, en vue d'estimer sa biomasse aérienne. L'utilisation de cette formule est considérée comme pertinente, car déterminée à partir d'un jeu de données semblable à celui de cette étude.

Nommer le tableur de la manière suivante : Infame_2015_traits.csv

	Fallopia japonica	Fallopia x.bohemica	Fallopia sachalinense
Tâches sur les tiges	Denses Rouge brun	+/- Denses Rouge brun	Aucune Décoloration en fin de saison Confusion possible avec l'hybride
Nervures principales des feuilles	Carrées	Carrées à légèrement arrondies	Nettement arrondies
Base de la feuille	Tronquée	Tronquée ou +/- cordée	Cordée
Extrémité de la feuille	Cuspidée	Cuspidée ou pointue	Pointue
Pilosité sous les feuilles	Sans poils Ornements aussi larges que hautes	Poils courts et vigoureux Jusqu'à 0.5 mm	Long poils souples + de 1 mm
Longueurs des feuilles sur la tige principale	10-18 cm Même taille sur toutes les tiges	20 - 35 cm Plus petites sur tiges secondaires	30 - 40 cm Plus petites sur tiges secondaires
Hauteur de la plante	1.5 - 3.0 m	2.5 - 4.0 m	3 - 4.5 m
Épaisseur des feuilles	Epaisse Coriace	Dure Tendre	Fine Douce
Couleur des fleurs	Blanches	Blanches	Mâle stérile : verdâtres Mâle fertile : blanches
Inflorescences mâle stérile	Panicules moyennes	Panicules moyennes Cambrées	Panicules courtes
Inflorescences mâle fertile	Panicules très longues	Panicules longues	Panicules moyennes

Tableau 2 et Figure 10 :
Critères d'identification des différentes espèces de renouées asiatiques
(Bailey & Wisskirchen, 2006)



II.2.C) Facteurs topographiques et climatiques

Matériel : Boussole | Altimètre | Clinomètre | Logiciel SIG

Objectif : Identifier des indicateurs géographiques pouvant justifier le potentiel d'étalement des massifs

Déterminer la **pente** (%), l'**exposition** (gon), l'**altitude** (m), la **température** (°C), la **précipitation** (mm/an), le **rayonnement** (J/m²) et la **distance** de la tache (m) par rapport à l'ILTe la plus proche :

- A l'aide d'un clinomètre, mesurer la **pente** locale maximale sur laquelle évolue la tache observée, puis l'**exposition** de cette pente avec une boussole. Si une ou plusieurs ruptures de pente sont observées, dupliquer la mesure pour les entrées concernées.
- Attribuer une valeur numérique à l'exposition en respectant la classification de la **Figure 11** :

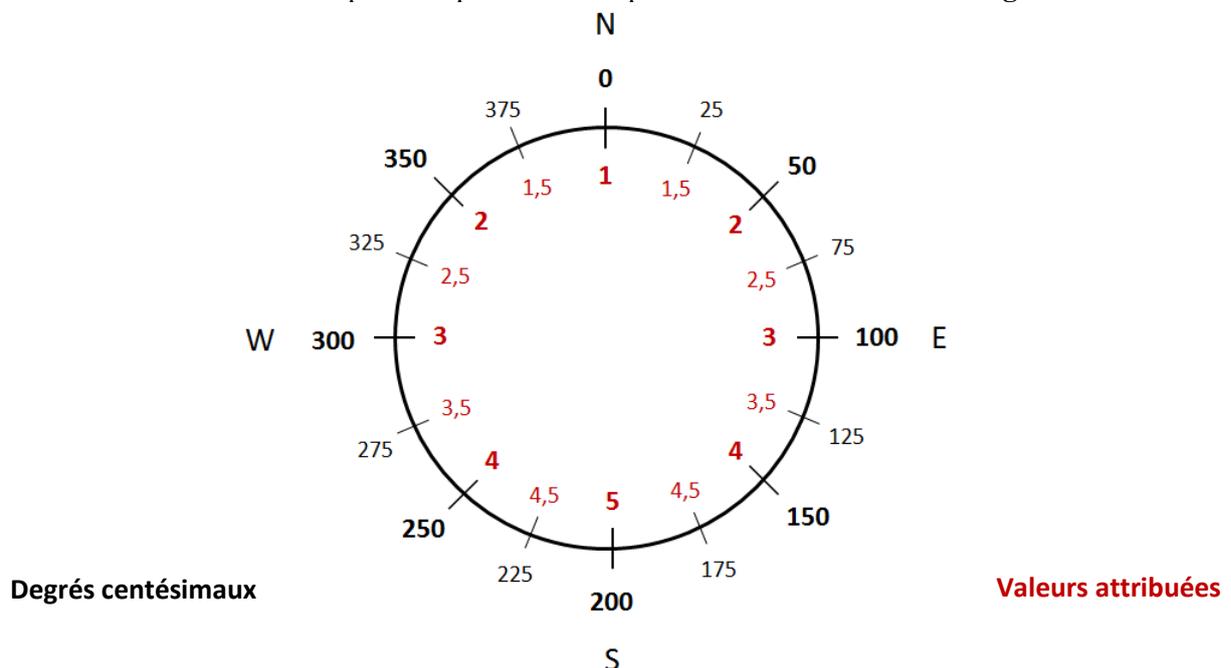


Figure 11 : Schématisation de la conversion des mesures d'exposition

Cette classification attribue une valeur d'intensité lumineuse reçue par une surface en fonction de son exposition par rapport aux points cardinaux (Choler et al., 2002). Elle vise à simplifier le traitement analytique afin de déterminer les orientations de pente pour lesquelles les taches de renouées privilégient leur étalement.

- Noter pour chaque entrée de la tache le type d'**occupation du sol** parmi les classes suivantes : Talus Routier | Prairie/Champ | Boisement | Rivière/Cours d'Eau
- Indiquer, si possible, le potentiel remaniement du sol sur lequel se développe la tache, en distinguant : Remblais | Naturel
- De retour au bureau, utiliser une BD ALTI® sur SIG pour relever précisément l'**altitude** au centre de la tache. Si une différence topographique de forte pente a été observée sur le terrain, relever l'altitude à l'extrémité de la tache pour chacune des 4 entrées.
- Utiliser la base de données AURELHY® sur SIG pour relever, dans la table attributaire, les valeurs annuelles de **température** et de **précipitation** référencées au plus près de chaque tache.

La méthode d'interpolation AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie), développée par Météo-France, utilise l'information du relief pour constituer des normales climatiques spatialisées (températures et précipitations) sur une moyenne de 30 ans (1981-2010). Elle s'appuie sur un modèle numérique de terrain fourni par l'I.G.N. (Institut Géographique National). La base de données AURELHY® fournit ainsi des moyennes mensuelles et annuelles, disponibles au format vecteur sous forme de quadrillage kilométrique (Bénichou & Le Breton, 1987).

- Utiliser la base de données LERFOB© sur SIG pour relever localement les valeurs annuelles de **rayonnement solaire**, au format raster, pour chacune des 4 entrées.

La base de données fournie par le Laboratoire d'Etudes des Ressources Forêt-Bois repose sur un modèle de calcul spatial par pixels du rayonnement solaire, pour la modélisation prédictive de la végétation, prenant en compte des paramètres locaux (pente, exposition, altitude, effet de masque) et globaux (latitude, nébulosité). Ce modèle a permis de calculer le rayonnement solaire sur l'ensemble de la France (540 000 km²), pour chaque mois de l'année, en utilisant seulement un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de 50 m de résolution, des valeurs de latitude et des données de nébulosité. Les radiations solaires de 88 postes météorologiques ont été utilisées pour la validation de ce modèle (Piedallu et al., 2007).

- A l'aide d'un fond de carte SCAN 25, utiliser avec un SIG l'outil de mesure de longueurs pour relever, pour chaque entrée, la plus courte **distance** séparant l'extrémité de la tache à l'ILTe la plus proche.

Compiler les données dans un tableur au format .csv, nommé de la manière suivante :
Infamme_2015_geographie.csv

II.2.D) Facteurs biotiques

Matériel : Loupe | Quadrat 1 m * 1 m | Encyclopédie de botanique

Objectif : Identifier des indicateurs d'interactions inter-spécifiques avec les autres espèces végétales possédant un pouvoir explicatif sur le potentiel d'étalement des massifs.

Déterminer le taux d'**herbivorie** (%) et le taux de **recouvrement** (%) des différentes strates végétatives, au sein et en dehors de la tache.

- Rechercher visuellement des traces d'**herbivorie** sur l'ensemble de la surface de la tache, puis attribuer une valeur selon les critères suivants :
 - 0 % : Aucune trace sur les feuilles comme sur les ramets
 - Présence de traces d'herbivorie sur un ou plusieurs ramets de la tache :
Évaluer visuellement la proportion de surface foliaire impactée en % à l'aide de la classification visualisée en **Figure 13**
 - 100 % : Élimination des ramets et/ou des feuilles en globalité par un herbivore
- Procéder à un jet aléatoire du quadrat au sein des ramets, puis évaluer le **taux de recouvrement** (%) des herbacées au sein de la tache.
- Distinguer la proportion des espèces présentes en 2 classes : **graminées** et **autres**.
- A l'extérieur de la tache, estimer visuellement, pour chaque entrée, le taux de recouvrement végétatif (en %) des strates présentées sur la **Figure 12** à l'aide de la classification de Braun-Blanquet :
 - 1 * 1 m : strate **herbacée**, distinguer **graminées** et **autres**
 - 5 * 5 m : strate **arbustive**
 - 10 * 10 m : strate **arborée**

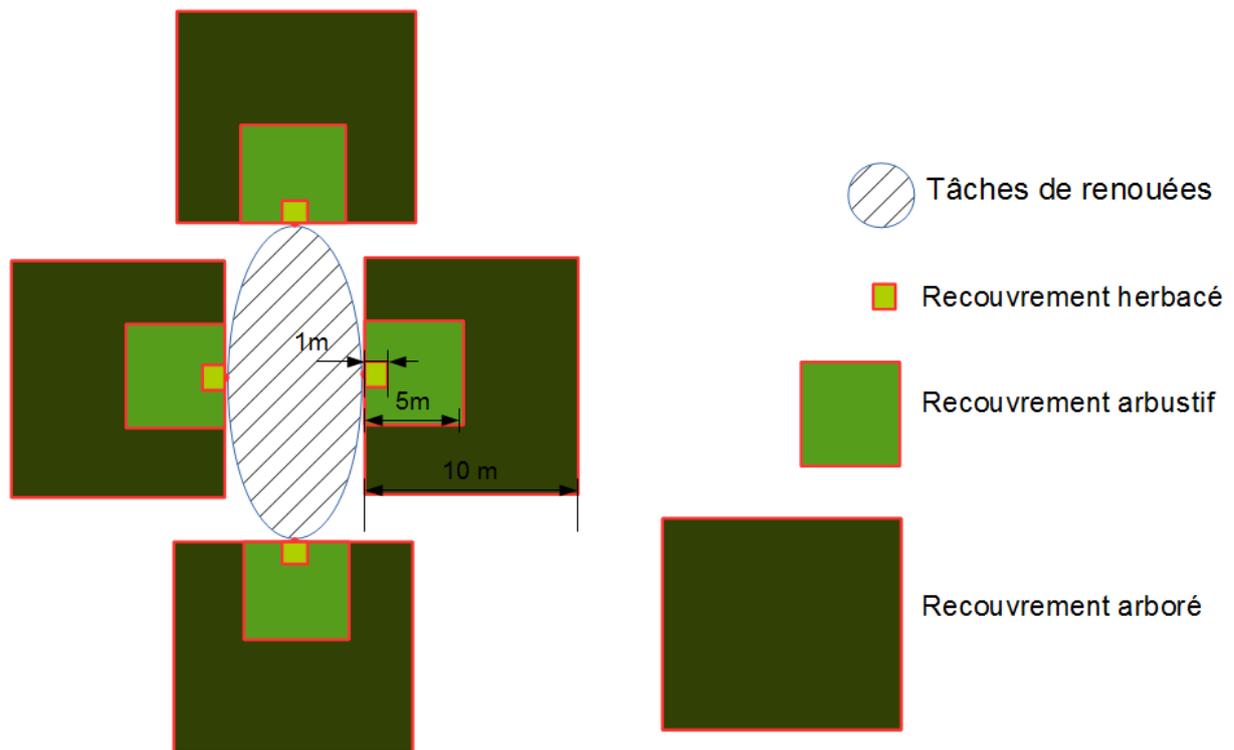


Figure 12 : Schématisation des surfaces observées pour chaque type de recouvrement végétal (Biaunier, 2015)

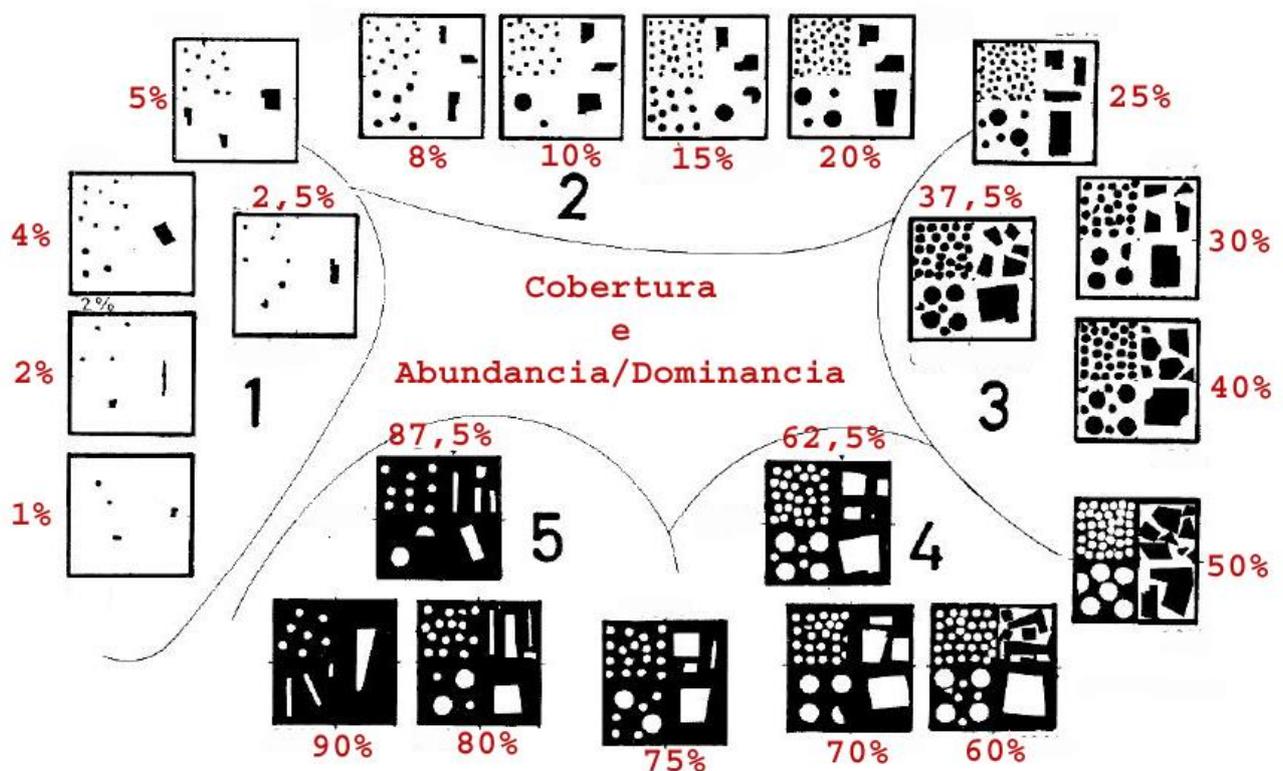


Figure 13 : Représentation schématique de la classification de recouvrement par les espèces végétales (Braun-Blanquet, 1915)

Compiler les données, toutes exprimées en %, dans un tableur nommé : Infame_2015_biotique.csv

II.3.E) Facteurs édaphiques

Matériel :

Terrain Gants | Couteau | Tarière | Sachets de prélèvement | Sacs de transport | Carnet | Crayon | Etiquettes

Laboratoire Gants en plastique | Blouse | Masque | Lunettes | Coiffe | Etuve Memmert GmbH

Tamis Inox Controlab | Agitateur Retsch AS200 | Balance Sartorius BA6

Broyeur Retsch ZM200 | Analyseur CHNS Elementar | pHmètre | Eau distillée

Objectif : Identifier des indicateurs physico-chimiques du sol sur lequel se développent les renouées, susceptibles d'avoir un pouvoir explicatif sur le potentiel d'étalement des massifs, selon les stress associés.

Déterminer la **charge en cailloux** (g), les différentes **fractions granulométriques** (%), le **taux d'argile** (%), le **pH**, le taux des éléments chimiques **C, N, H** et **S** (%). Puis en déduire le rapport **C/N**.

- Pour chaque entrée, prélever un échantillon de sol à la bordure P de la tache
 - Dégager délicatement la litière du sol à l'aide des gants et d'un couteau
 - Utiliser la tarière pour prélever en une fois entre 300 et 500 g d'échantillon de l'humus
 - Stocker l'échantillon prélevé dans un sachet étanche
 - Utiliser de l'adhésif et un crayon indélébile pour noter l'échantillon
 Infame_[Nom_site]_[Numéro_tache]_[Azimut] Ex : Infame_Sinnard_3_40
- De retour de mission, stocker les échantillons en laboratoire d'analyses.
- Mettre les échantillons à l'étuve de manière aérée, à 40°C pendant 72 h, de sorte à éviter le développement d'humidité et de microorganismes.
- S'équiper du matériel de sécurité adéquat (blouse, gants en plastique, masque et lunettes de protection, coiffe et vêtements d'hygiène, etc...)
- Une fois séché, trier l'échantillon pour le débarrasser d'éléments anthropiques (plastique, verre, tuile, etc.) et organiques en décomposition (feuilles, graines, racines, etc.).
- Utiliser des tamis superposés respectant la classification du **Tableau 3** :

Fractions		Cailloux	64	mm
64	mm	Graviers	4	mm
4	mm	Granules	2	mm
2	mm	Sables grossiers	0,2	mm
0,2	mm	Sables fins, silts et argiles		

Tableau 3 : Critères de classification granulométrique des sols (Wentworth, 1922 & NF P18-560)

- Verser l'ensemble de l'échantillon sur les tamis et trier à la main ou à l'aide d'un agitateur mécanique
- Mesurer la masse en grammes de la fraction > 64 mm à l'aide d'une balance, notée **charge en cailloux**
- Mesurer individuellement le poids des fractions < 64 mm, puis les additionner pour obtenir un poids granulométrique total, noté P_{Total}
- Calculer le pourcentage de chaque **fraction granulométrique** avec la formule suivante :
 $F_x = (P_x / P_{Total}) * 100$ Avec P_x la masse en grammes de la fraction mesurée
- Conserver environ 100 g des fractions < 2 mm
- Utiliser le broyeur pour écraser ces fractions et stocker 10 à 20 g par échantillon dans des piluliers individuels
- Passer ces échantillons à l'analyseur CHNS pour obtenir, à l'aide du logiciel varioMicro le taux des éléments chimiques de **carbone, d'azote, d'hydrogène** et de **souffre** présents dans chaque échantillon.
- Récupérer les piluliers, puis ajouter 25 ml d'eau distillée avant d'agiter pendant 10 minutes
- Mesurer le **pH**, après 1 heure de repos, à l'aide d'un pHmètre

- Utiliser ce qui a été conservé des 100 g non broyés pour réaliser le test visuel du boudin de terre humide et déterminer le **taux d'argile** dans le sol (Massenet, 2010)
 - Si boudin possible : > 10 %
 - Si boudin impossible : < 10 %
 - Test visuel : réalisation d'un anneau
 - Fissuration du boudin avant demi-fermeture de l'anneau : entre 15 et 20 %
 - Fissuration au ¾ de la fermeture de l'anneau : entre 20 et 30 %
 - Anneau réalisable : > 30 %
- De retour au bureau, utiliser les valeurs C et N pour calculer le rapport C/N à l'aide d'un tableur statistique.

Compiler les données dans un tableur nommé : Infame_2015_edaphique.csv

II.3.F) Facteurs de gestion

Matériel : Carnet Téléphone Enregistreur audio Questionnaire A4
--

Objectif : Identifier des indicateurs de pression induits par une gestion du massif de renouées, susceptibles d'avoir un pouvoir explicatif sur le contrôle, ou non, de la surface occupée par la tache à travers le temps.
--

- Pour chaque tache retenue, identifier si la tache fait l'objet d'une gestion annuelle.
- Distinguer le type de gestionnaire selon la nature administrative du terrain sur lequel évoluent les renouées : terrain privé, communal ou départemental.
- En l'absence de gestionnaire, notamment privé, enquêter si possible auprès des riverains pour obtenir des informations de contact, voire des éléments historiques concernant l'origine de la tache de renouées, son évolution spatiale ainsi que sa gestion.
- Si la tache repose sur un terrain public, contacter la mairie (terrain communal) ou la maison du territoire (départemental) la plus proche pour organiser un entretien, généralement téléphonique.
- Pendant cet entretien, soumettre au gestionnaire le questionnaire disponible en **Annexe 1**, réalisé en interne au sein d'Irstea, afin de récupérer les variables suivantes :
 - Si la tache fait l'objet d'une gestion annuelle régulière et planifiée
 - Si la tache est gérée de manière **spécifique** vis-à-vis des autres communautés végétales avoisinantes (notamment en bord de route)
 - Le **type** de gestion mis en place (arrachage, fauche, brûlage, phytosanitaires, etc.) et le matériel utilisé
 - La **fréquence** des opérations de gestion effectuées chaque année sur cette tache, ainsi que leur **durée** effective
 - Le devenir des **déchets de renouées** engendrés par cette gestion (exportés, brûlés, laissés sur place, etc.)
 - Si possible, des éléments historiques concernant la date d'apparition de la tache, le remaniement de son sol, la fréquentation du site par des particuliers ou professionnels, notamment en termes de **dépôts de déchets** (verts, ménagers, dépôts de terre, etc.)

Compiler les données dans un tableur nommé : Infame_2015_gestion.csv

II.3) ANALYSES STATISTIQUES

II.3.A) Organisation du jeu de données et utilisation des moyennes

De nombreuses variables présentées précédemment, toutes familles confondues, n'ont pu être mesurées que de manière globale sur l'ensemble de la tache. C'est par exemple le cas de certaines variables géographiques, ou encore des traits biologiques de la tache de renouées. Auquel cas, les valeurs obtenues sont dupliquées pour chaque variable sur les entrées concernées de chaque tache, et l'ensemble des données regroupées dans un tableur nommé : `Infame_2015_variables.csv`

Il arrive cependant qu'une tache puisse présenter une hétérogénéité dans une ou plusieurs des directions observées. A titre d'exemple, une tache partiellement fauchée par son gestionnaire impliquera une différence visuelle nette. Dans un tel cas, les variables concernées par cette hétérogénéité sont de nouveau mesurées sur les entrées concernées. Pour plus de précisions, le formulaire rédigé en interne pour l'acquisition des données sur le terrain peut être visualisé en **Annexe 2**.

L'analyse visée par cette étude ne se situant qu'aux prémices du projet de recherche associé, il a été décidé de réduire le nombre d'individu analysés, de sorte à n'avoir plus qu'un individu pour chaque tache. Pour ce faire, les valeurs mesurées sur les 4 individus d'une même tâche ont été moyennées pour chaque variable explicative. Celles mesurées sur la variable principale d'évolution de surface ΔS ont été pour leur part additionnées entre elles. Un test statistique de Shapiro–Wilk est réalisé pour tester la distribution normale des données issues de cette variable. Si c'est le cas, l'analyse avec les autres variables est considérée pertinente.

La prise en compte de plusieurs individus dupliqués sur un même site demande en effet un traitement analytique rigoureux, peu adapté à un travail de mémoire, en prenant en compte le temps et les connaissances mis à la disposition du stagiaire. Il est prévu qu'un tel traitement soit effectué a posteriori, dans le cadre du projet Dynarp mais également d'un projet de thèse qui viendra compléter l'étude opérée sur les sites Infame.

II.3.B) Regroupement des variables explicatives par famille de facteurs

Le nombre important de variables accumulées au cours de cette étude ne permet pas en l'état d'effectuer des analyses statistiques pertinentes, en raison du déséquilibre entre le nombre d'individus et le nombre de variables retenues.

Par ailleurs, plusieurs variables mesurées au sein d'une même famille sont supposées dépendantes, c'est-à-dire que leurs valeurs respectives sont susceptibles d'être influencées par d'autres paramètres. C'est notamment le cas des variables s'intéressant au climat, à la granulométrie du sol, ou encore au recouvrement végétal. Dans ces conditions, il est difficile d'identifier leur pouvoir explicatif.

L'objectif étant d'identifier les facteurs qui influencent la dynamique spatio-temporelle des renouées asiatiques, la démarche est donc exploratoire et suit les étapes suivantes :

- Trier les données et regrouper les variables quantitatives en variables synthétiques par analyse en composantes principales
- Factoriser ces variables afin de réaliser une analyse en composantes multiples, en intégrant les variables qualitatives synthétisées, permettant ainsi une analyse exploratoire de la structure des données
- Explorer une par une l'influence de chaque variable retenue avec la variable principale par des tests statistiques de type ANOVA ou régression linéaire, voire équivalent non paramétrique

Pour cela, on décide d'utiliser le logiciel de traitement de données et d'analyse statistique RStudio®, en lui faisant lire le jeu de données constitué suite aux missions de terrain, de laboratoire et de traitement par système d'information géographique, dans le format de lecture *comma-separated values* (.csv).

II.3.C) Projection des variables par ACP

Pour chaque famille de variables, on procède à une Analyse en Composantes Principales (ACP). Il s'agit d'une méthode d'analyse des données reposant sur de la statistique multivariée, qui consiste à projeter les variables initiales sur deux axes de corrélation, dites composantes principales. Selon la projection de chaque variable sur ces deux axes orthonormés, des corrélations ou au contraire des indépendances peuvent être identifiées entre plusieurs variables. Deux variables projetées de manière proche ou opposée, selon leur direction, seront ainsi très bien corrélées, indépendamment de leur position par rapport aux axes. Inversement, deux variables projetées de manière orthogonale l'une par rapport à l'autre sont considérées comme indépendantes entre elles.

Chaque axe de l'ACP représentant une combinaison linéaire des variables, les axes peuvent être utilisés comme variables synthétiques et interprétés en fonction des variables ayant le plus grand coefficient de corrélation avec ces axes. Cette méthode permet de réduire le nombre de facteurs, rendant ainsi l'information moins redondante (Besse, 1992). Les variables ainsi regroupées entre elles, ou simplement retenues du fait de leur indépendance, seront isolées au sein d'un nouveau tableur, dénommé :

Infame_2015_variables_moyennes.csv

II.3.D) Transformation qualitative des variables et projection par ACM

Une fois ce nouveau jeu de données à disposition, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) sera effectuée. Il s'agit d'une méthode de projection factorielle par classes de valeurs, adaptée aux tableaux dans lesquels un ensemble d'individus est décrit par des variables qualitatives. Son utilisation se justifie par le fait que de nombreuses variables récoltées dans le cadre de cette étude, notamment les facteurs de gestion, sont factorielles. Difficiles à considérer de manière quantitative, leur traitement analytique par ACP est de fait rendu impossible.

Afin de les inclure dans cette ACM, les variables quantitatives retenues précédemment sont regroupées en classes qualitatives. Une discrétisation de données est ainsi effectuée pour chaque variable, y compris la variable principale ΔS . L'homogénéité ou la pertinence des classes est vérifiée pendant cette étape.

L'objectif de cette étape est de pouvoir identifier une éventuelle corrélation entre la variable principale et certaines variables explicatives. En terme d'interprétation graphique, l'ACM propose, comme pour l'ACP, une projection de chaque variable sur des axes dits composantes multiples, à ceci près que les classes de valeurs de chaque variable sont projetées de manière indépendante. Les axes analysés sont sélectionnés selon la structure des données et la distribution de la variable ΔS sur chacun des facteurs de l'ACM.

II.3.E) Tests d'ANOVA, non paramétriques et régressions linéaires

Suite à ces projections, les variables qualitatives sont testées individuellement avec la variable ΔS . Pour ce faire, des tests statistiques d'analyse de la variance de type ANOVA sont effectués, couplés à des tests de normalité et d'homoscédasticité sur les résidus. Si les conditions du test ne sont pas respectées, un test non paramétrique équivalent de type Kruskal-Wallis est utilisé pour tester la même hypothèse. Pour les variables quantitatives, on utilise une régression linéaire. Ces tests sont dans l'ensemble réalisés avec un risque d'erreur $\alpha = 0,05$. La valeur-p obtenue pour chaque test, une fois comparée à la valeur α , renseigne la validité ou au contraire le rejet de l'hypothèse exprimée par le test (Conover, 1999).

II.3.F) Représentations graphiques

Les variables respectant ces tests peuvent être interprétées afin d'identifier l'influence qu'elles exercent sur ΔS . Cette relation est alors mise en évidence par représentation graphique, de type régression linéaire ou boîtes à moustaches selon la nature des données. Ces graphiques seront ensuite interprétés afin d'identifier les caractéristiques de cette influence, notamment si elle fait intervenir indirectement d'autres variables. Des discussions seront finalement lancées quant au protocole mis en place pour récolter ces variables, ainsi que leur pertinence dans le cadre des travaux à venir au sein d'Irstea.

II.4) BILAN DES MISSIONS

II.4.A) Atteinte des objectifs et financement

L'exploitation des données Infame, outre l'impossibilité technique et humaine de mener cette étude sur les sites Dynarp dans les temps, présente un autre intérêt. En effet, l'étude diachronique présentée dans ce mémoire, au vu de l'état des connaissances sur les renouées, présente un caractère exploratoire.

De ce fait, l'objectif final n'est pas tant de trouver avec certitude un maximum de corrélations entre l'évolution spatio-temporelle des massifs de renouées et les facteurs écosystémiques associés, que de mettre en place à terme un protocole ciblé et, selon les résultats de cette étude, réorienté voire approfondi sur les facteurs présentant le plus de pertinence. L'utilisation des données disponibles dans le cadre du projet Infame tend avant toute chose à optimiser l'acquisition de données du projet Dynarp, lors de son application future sur des sites impliquant des gestionnaires professionnels et des partenaires de recherche.

Les moyens financiers qui ont été alloués à cette étude sont présentés dans le **Tableau 4**.

Durée	6 mois	Indemnité / Mois	508.20 €	Indemnité de stage	3 032.81 €
Missions	8 jours	Indemnité / Jour	15.25 €	Indemnité de déplacement	122 €
Kilométrage	724.3 km	Carburant	Diesel	Frais de déplacement	82.86 €
Frais de matériel (Commandes Réparations Analyses)					489.29 €
Total*					3 953.94 €

Tableau 4 : État de frais des moyens financiers mis en œuvre dans le cadre de cette étude

* Ne prend pas en compte les dépenses énergétiques et d'usure liées au matériel utilisé, ni les équivalents temps plein et indemnités des autres agents d'Irstea impliqués

II.4.B) Sécurité

La prospection des massifs de renouées le long des ILTe implique des situations à risques pour les observateurs. En cause, la fréquentation des axes routiers à proximité des sites, mais également l'emplacement des taches de renouées, parfois situées en pente sur des sols instables, dans un environnement végétatif dense, près d'un cours d'eau, ou éloignées des activités humaines, en absence de couverture téléphonique. Afin de prendre en compte ces risques, des fiches préventives de sécurité ont été rédigées en interne lors de la préparation des missions de terrain, puis diffusées auprès des agents (Irstea, 2015).

Tout déplacement effectué dans le cadre de cette étude, sur des durées quotidiennes, a fait l'objet au préalable d'un ordre de mission validé auprès de l'institut en charge des agents, systématiquement composés d'un binôme habilité (visite médicale, permis de conduire, etc.). Parmi ces agents, l'auteur de ce mémoire fut présent sur l'intégralité des missions organisées, à titre d'observateur principal, et ce dans le but de limiter les biais lors de la mesure des données.

Au terme de cette phase de terrain, aucun accident du travail ni problème technique n'a pu être constaté, chaque mission ayant fait l'objet d'une préparation et d'un comportement exemplaires de la part des agents de l'équipe Dynarp. Qu'il s'agisse des autorisations administratives (empreint de véhicule et de matériel), de la charge de travail (répartition des tâches, fatigue, etc.), de l'équipement de sécurité (téléphone, vêtements de montagne, trousse de soin, gilet jaune, etc.), ni même lors des entretiens avec les organismes et particuliers en charge de la gestion des massifs de renouées.

Il en fut de même lors des phases en laboratoire, qui se sont intégralement déroulées au sein des locaux de l'Irstea, en prenant en compte les règles d'hygiène et les risques liés à la manipulation d'échantillons de sols. Entre autres, aucun cas de dégradation ou de vol de matériel utilisé dans le cadre de cette étude n'a été constaté. L'ensemble des échantillons prélevés sur le terrain, une fois analysés, ont quant à eux été exportés auprès de professionnels habilités à titre de déchets ultimes, en vue de limiter les risques de contamination.

III) ANALYSES ET RÉSULTATS

III.1) ANALYSES STATISTIQUES

III.1.A) Normalité et distribution du jeu de données

Au total, sur les 37 sites référencés entre 2008 et 2014, 31 ont été retenus après avoir écarté ceux présentant des conditions de mesure complexes (fragmentation des taches, enregistrements GPS imprécis, etc.), ou pour lesquels la récolte de données aurait été incomplète (absence de gestionnaires, conditions de terrain, etc.). Si en général, seule une tâche était retenue par site, certains comprennent jusqu'à 3 taches étudiées si celles-ci, espacées de plusieurs mètres, présentent des conditions de biotope sensiblement différentes. 39 taches ont ainsi été retenues en vue d'un traitement statistique, et sont résumées dans le **Tableau 5**.

Commune	Site N°	Nombre de Taches
Saint-Nizier-du-Moucherotte	1 - 2 - 5 - 6	4
Autrans	7	1
Saint-Pierre-de-Chartreuse	10 - 11 - 12 - 14 - 19	5
Le Sappey-en-Chartreuse	16	3
Saint-Martin-d'Uriage	26 - 27	3
Chamrousse	28	1
Sinard	31	3
Monestier-de-Clermont	32	1
Corps	34	1
Susville	35	1
Pierre-Chatel	36	1
Monteynard	37	2
Rencurel	49 - 50 - 51	3
Laffrey	52 - 53 - 67 - 68	4
Notre-Dame-de-Vaulx	55	1
Saint-Michel-les-Portes	57	2
Cholonge	56 - 60	3
Total	31	39

Tableau 5 : Synthèse des sites Infame retenus par commune, numéro de site et nombre de massifs

Le jeu de données récolté à la suite des missions de terrains, d'enquête, de laboratoire et de bureautique, est au final composé de 39 colonnes – une colonne par variable, dont ΔS – et de 153 individus. La première ligne est utilisée pour référencer le nom de chaque variable. Les 153 entrées suivantes correspondent aux directions de chaque tache pour lesquelles la variation de surface à travers le temps et les facteurs associés ont été mesurés. Sur les 156 entrées prévues, 3 n'ont pas été mesurées, en raison d'obstacles physiques et topographiques empêchant la prospection.

Le jeu de données utilisé pour le traitement analytique, moyenné sur chaque tache, comporte 39 individus.

Dans un premier temps, on s'intéresse à la normalité de la distribution des valeurs de la variable principale ΔS , à corrélérer par la suite avec les autres variables explicatives mesurées.

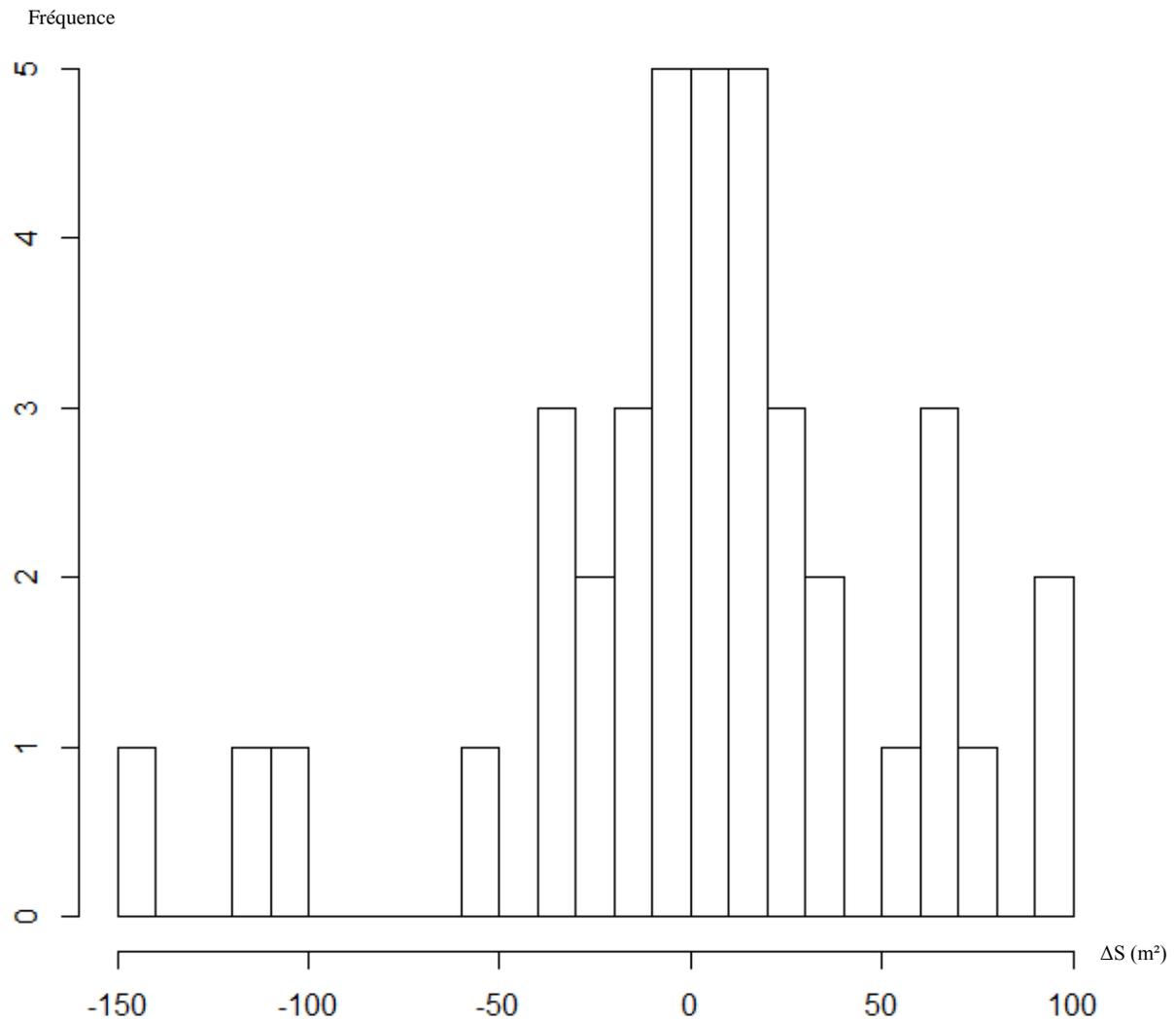


Figure 14 : Graphique de distribution des valeurs de ΔS par utilisation de la fonction *hist()* sur RStudio®

La distribution des valeurs de ΔS , représentée tous les 10 m² par histogramme sur la **Figure 14**, montre que sur les 38 entrées référencées, la distribution des données présente un mélange de deux lots, l'un négatif et l'autre positif, situés entre - 40 et 40 m², et avec une moyenne proche de 2 m². Le reste des données est réparti sur des valeurs extrêmes pouvant aller de - 150 m² jusqu'à 90 m² d'évolution de surface par tache. La distribution statistique est décrite plus en détail dans le **Tableau 6**.

Minimale	1er Quartile	Mediane	Moyenne	Ecart-Type	3ème Quartile	Maximale
-147.502	-16.215	-3.236	2.089	50.43977	23.258	90.626

Tableau 6 : Distribution statistique des valeurs de ΔS par utilisation des fonctions *summary()* et *ds()* sur RStudio®

Pour tester la normalité de ces données, on effectue un test de Shapiro–Wilk, en testant l'hypothèse nulle selon laquelle les valeurs mesurées sont intégrées au sein d'une population normalement distribuée, pour un risque $\alpha = 0,01$. Il s'agit du test de normalité le plus utilisé car considéré comme très puissant par rapport à de nombreux tests alternatifs (Shapiro et al., 1968). En effectuant le test, on obtient la valeur-p, soit la probabilité d'obtenir la même valeur (ou supérieure) de risque α du test si l'hypothèse nulle était vraie.

En utilisant la fonction *shapiro.test()* sur RStudio®, on obtient ainsi la valeur-p = 0.01394 > α . L'hypothèse nulle selon laquelle les données de ΔS sont issues d'une population normalement distribuée est donc validée.

Des tests d'analyse de la variance type ANOVA avec les variables qualitatives peuvent donc être effectués.

III.1.B) Variables retenues et regroupées par ACP

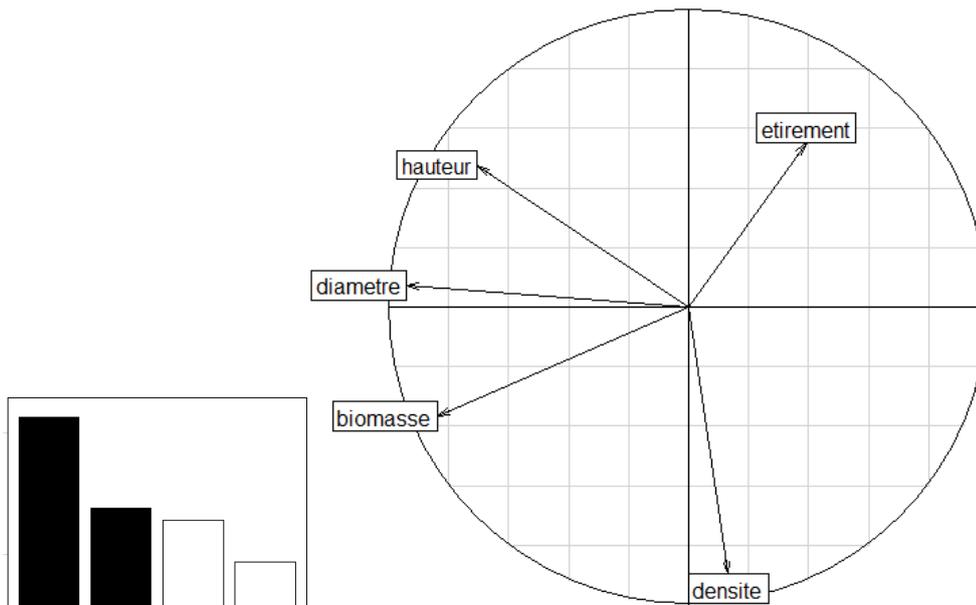


Figure 15 : Représentation graphique de l'ACP sur les traits biologiques, de performance et spatiaux des renouées par utilisation des fonctions *dudi.pca()* et *scatter ()* sur RStudio®

Sur les variables liées aux traits biologiques, de performance et spatiaux mesurées sur les renouées asiatiques, plusieurs d'entre elles ont été écartées des analyses pour éviter des interprétations redondantes.

C'est le cas des variables de diamètre et de densité de ramets par unité de surface, car elles ont été utilisées dans la formule permettant de déterminer la biomasse aérienne. La variable de hauteur a quant à elle été écartée pour des raisons liées à la récolte des données. En effet, de nombreux sites étudiés faisant l'objet d'une gestion régulière, certaines mesures de hauteur ne sont pas représentatives du potentiel de croissance des renouées et viendraient biaiser l'analyse.

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales sur ces variables, sur la **Figure 15**, montre une potentielle corrélation négative potentielle entre les variables de biomasse et d'étirement de la tache. Cependant, aucune combinaison linéaire des variables d'origine par ACP n'a été réalisée, l'étirement n'exprimant que modérément sa variabilité sur les axes de l'ACP. L'espèce de renouée n'est pas incluse, du fait de sa nature qualitative. Le facteur d'herbivorie a quant à lui été définitivement écarté des analyses en raison des faibles valeurs mesurées sur le terrain, peu représentatives d'un potentiel impact sur la plante.

Au final, seules les variables concernant l'**espèce** de renouée asiatique, la **quantité de biomasse aérienne par unité de surface** et le **taux d'étirement** de la tache sont retenues pour la suite des analyses.

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, effectuée sur la famille des facteurs géographiques locaux, permet d'observer sur la **Figure 16** que les variables de **pente**, d'**exposition** et de **distance par rapport à l'ILTe** sont indépendantes, du fait de leur projection orthogonale les unes par rapport aux autres.

En dehors de la variable de pente qui est principalement projetée sur l'axe n°1, les deux autres variables expriment leur variabilité sur les deux axes, aussi bien renseignés l'un que l'autre sur l'histogramme des valeurs propres. Dans ces conditions, aucune combinaison linéaire des variables d'origine par ACP n'a été réalisée.

Les trois variables sont ainsi conservées telles quelles pour la suite des analyses.

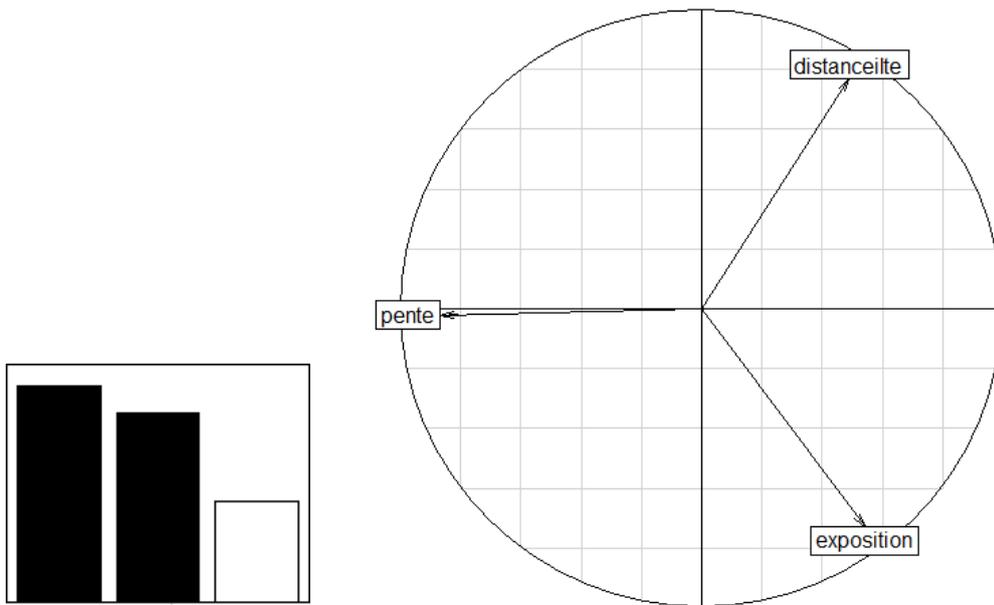


Figure 16 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs géographiques locaux

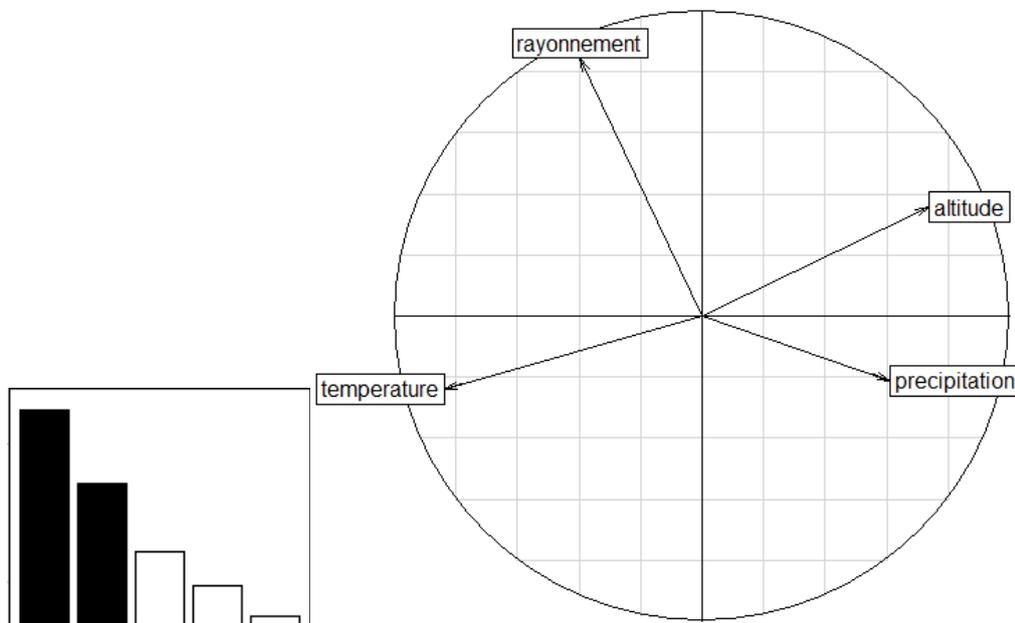


Figure 17 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs topographiques et climatiques globaux

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, effectuée sur la famille des facteurs géographiques et climatiques globaux, met en évidence sur la **Figure 17** plusieurs éléments :

- Les facteurs d'altitude, de température et de précipitations annuelles sont globalement bien corrélés entre eux sur l'axe factoriel n°1 en abscisse, le mieux renseigné sur l'histogramme des valeurs propres. La température est corrélée négativement avec l'altitude et la précipitation.
- La variable de rayonnement solaire annuelle par unité de surface se révèle indépendante des autres variables, de par sa projection orthogonale sur l'axe n°2 en ordonnées.

Suite à ces observations, deux combinaisons linéaires des variables initiales sur les axes factoriels ont été réalisées. Les variables d'**altitude**, de **température** et de **précipitation annuelles** ont été regroupées et sont caractérisées par les valeurs récupérées sur l'axe n°1 en tant que variable climatique globale, à l'aide de la fonction statistique *cbind()*. Le facteur de **rayonnement solaire annuel** a été de la même manière assimilé aux valeurs de l'axe n°2, du fait qu'il exprime majoritairement sa variabilité sur cet axe.

Ces nouvelles variables sont nommées **ClimatACP1** et **RayonnementACP2** pour la suite des analyses.

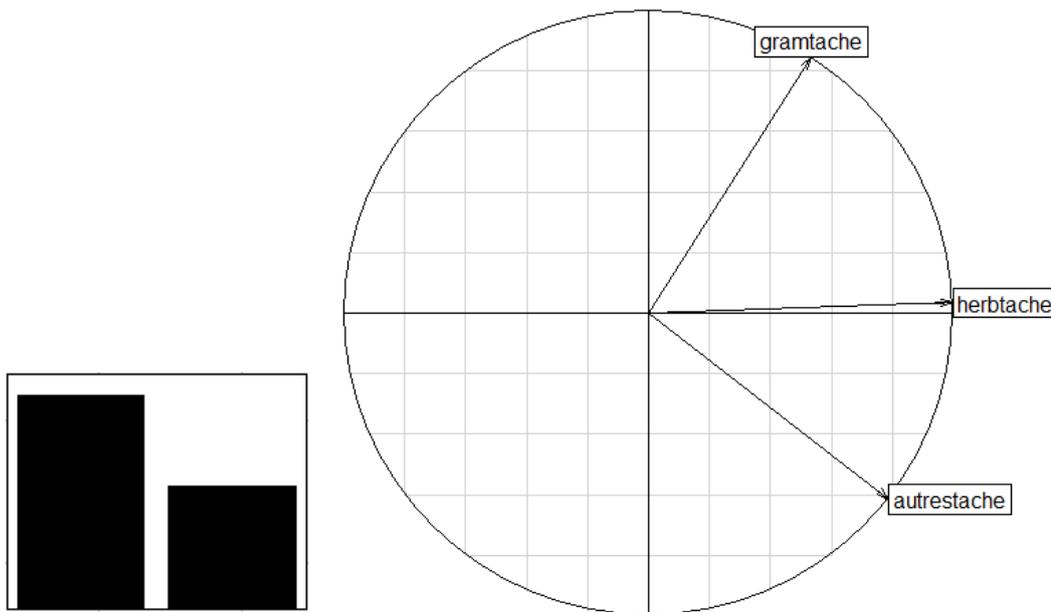


Figure 18 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de recouvrement végétal au sein du massif

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, effectuée sur la famille des facteurs biotiques de recouvrement végétal à l'intérieur des taches de renouées, est visualisée sur la **Figure 18**. Cette représentation met en évidence que les variables de recouvrement interne de la tache par les graminées d'un côté, et par les autres espèces d'herbacées de l'autre, sont projetées de manière orthogonale et sont indépendantes entre elles.

Dans ces conditions, ces variables auraient pu être conservées telles quelles pour la suite des analyses. Mais au vu du caractère exploratoire de cette étude et de la volonté de regrouper un maximum de variables, il fut décidé à ce stade de ne travailler qu'avec une variable globale de **recouvrement par les herbacées** au sein de la tache, projetée sur l'axe n°1 de l'ACP et mesurée en additionnant les deux variables précédentes.

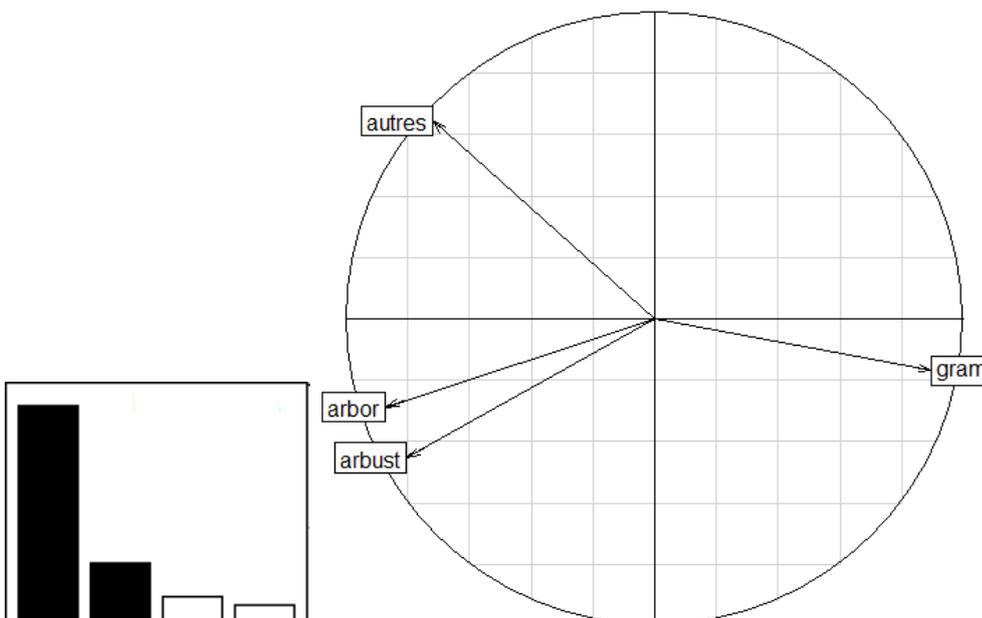


Figure 19 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de recouvrement végétal à l'extérieur du massif

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, effectuée sur la famille des facteurs biotiques de recouvrement végétal à l'extérieur des taches de renouées, est visualisée sur la **Figure 19**. Cette représentation met en évidence que les variables de recouvrement par les différentes strates végétales, qu'il s'agisse du pourcentage visuel de **recouvrement par les arbres**, les **arbustes**, ou des herbacées (**graminées** et **autres espèces végétales**), sont globalement corrélées entre elles sur l'axe n°1 en abscisse, le mieux renseigné sur l'histogramme des valeurs propres. La variable de recouvrement par les graminées est corrélée négativement avec les autres variables.

Suite à ces observations, une combinaison linéaire intégrant l'ensemble de ces variables a été effectuée. Les variables ont été regroupées et sont caractérisées par les valeurs récupérées sur l'axe n°1 en tant que variable de recouvrement extérieur globale.

Cette nouvelle variable est nommée **RecouvrementExterieurACP1** pour la suite des analyses.

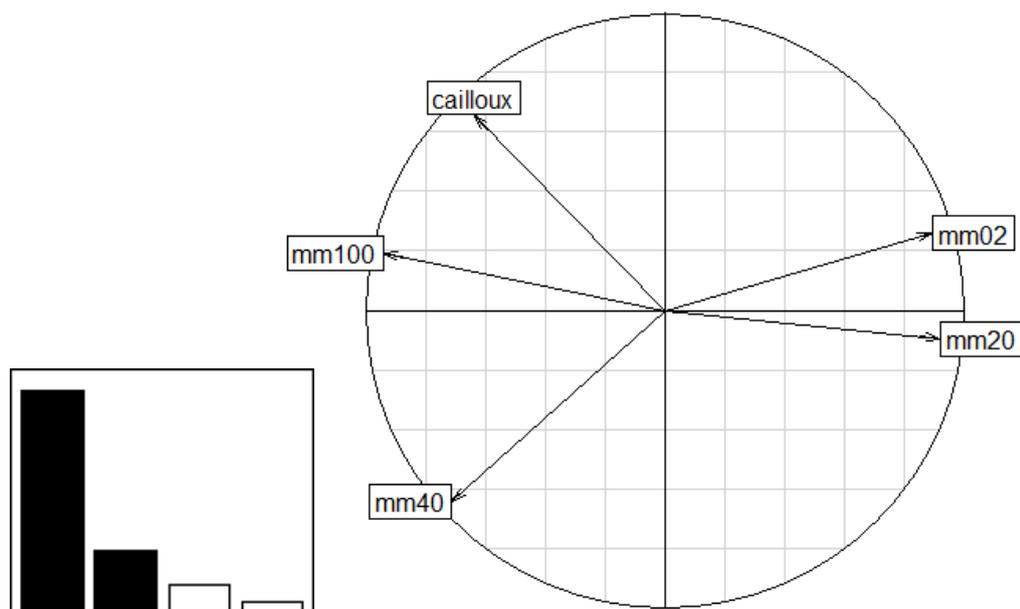


Figure 20 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs de granulométrie du sol

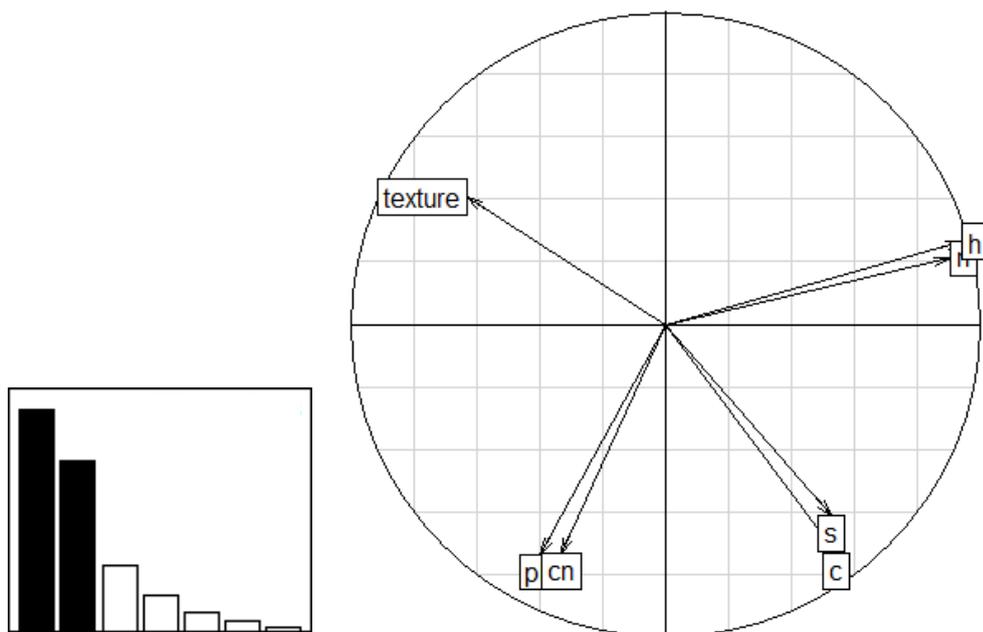


Figure 21 : Représentation graphique de l'ACP sur les facteurs édaphiques

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, effectuée sur la famille des facteurs structurels du sol sur lequel se développent les renouées asiatiques, est visualisée sur la **Figure 20**. Cette représentation met en évidence que les variables, qu'il s'agisse de la charge en cailloux ou du pourcentage de prédominance de chaque fraction granulométrique (1 cm, 4 mm, 2 mm et 0.2 mm), sont globalement corrélées entre elles sur l'axe n°1 en abscisse, le mieux renseigné sur l'histogramme des valeurs propres. Les variables des plus petites fractions granulométriques, soit 2 et 0.2 mm, sont corrélées négativement avec les variables des plus grosses fractions.

Suite à ces observations, une combinaison linéaire intégrant l'ensemble de ces variables a été effectuée. Les variables ont été regroupées et sont caractérisées par les valeurs récupérées sur l'axe n°1 en tant que variable de granulométrie globale. Cette nouvelle variable est nommée **GranulométrieACP1** pour la suite des analyses.

Sur les variables caractérisant le potentiel nutritif du sol sur lequel se développent les renouées asiatiques, plusieurs d'entre elles ont été écartées des analyses pour éviter des biais de redondance.

C'est le cas des variables de taux de carbone et d'azote, puisqu'elles ont été utilisées dans la formule permettant de déterminer le rapport C/N. Les variables concernant le taux d'hydrogène et de soufre, bien que facilement récupérées en même temps que les variables précédentes lors des mesures d'analyse chimique, ont été écartées pour des raisons liées à leur pertinence. En effet, à ce stade d'analyse exploratoire, le rôle joué par ces éléments chimiques est supposé minime par rapport à l'indicateur de fertilité C/N (Gobat et al., 2010). Il a donc été décidé de privilégier le rapport C/N pour la suite des analyses.

La représentation graphique de l'analyse en composantes principales, visualisée sur la **Figure 21**, met en évidence que la variable qui s'intéresse à la texture du sol, plus précisément son **taux d'argile**, est indépendante des autres variables retenues, car projetée de manière orthogonale par rapport aux variables de **pH** et de **C/N**, ces dernières étant à l'inverse corrélées entre elles.

Malgré la corrélation entre ces deux variables, aucune combinaison linéaire des variables d'origine par ACP n'a été réalisée. Outre le fait que ces variables soient à l'origine considérées comme indépendantes au vu des connaissances scientifiques sur le sujet, leur projection sur les deux axes rend cette combinaison peu pertinente, ces derniers étant aussi bien renseignés l'un que l'autre sur l'histogramme des valeurs propres.

Au final, les variables retenues au terme de ces ACP, discrétisées et classées de manière qualitative dans les ACM suivantes sont :

- Les traits biologiques et spatiaux d'**espèce**, de **biomasse** et d'**étirement** de la tache de renouées
- Les facteurs géographiques de **pente**, d'**exposition** et de **distance par rapport à l'ILTe**, ainsi que les variables regroupées par ACP caractérisant le **climat** et le **rayonnement solaire par unité de surface**
- Les facteurs biotiques de **taux de recouvrement par les herbacées au sein de la tache** de renouées, ainsi que les variables regroupées par ACP caractérisant le **recouvrement végétal autour de la tache**
- Les facteurs édaphiques de **pH**, de **C/N** et du **taux d'argile**, ainsi que les variables regroupées par ACP caractérisant la **granulométrie** du sol
- A ces variables s'ajoutent les facteurs qualitatifs caractérisant la **présence ou non d'une gestion** par l'homme, son caractère **spécifique** par rapport aux autres communautés végétales avoisinantes, sa **fréquence annuelle** ainsi que sa **durée** de mise en place dans le temps, le **traitement des déchets de renouées** issus de la biomasse extraite sur la tache lors de la gestion, et enfin la présence et le type de **dépôts de déchets** situés à proximité de la tache.

Le jeu moyenné et regroupé des données initiales utilisé dans le cadre des analyses statistiques suivantes peut être retrouvé dans l'**Annexe 3**.

III.1.C) Variables classées qualitativement et corrélées par ACM

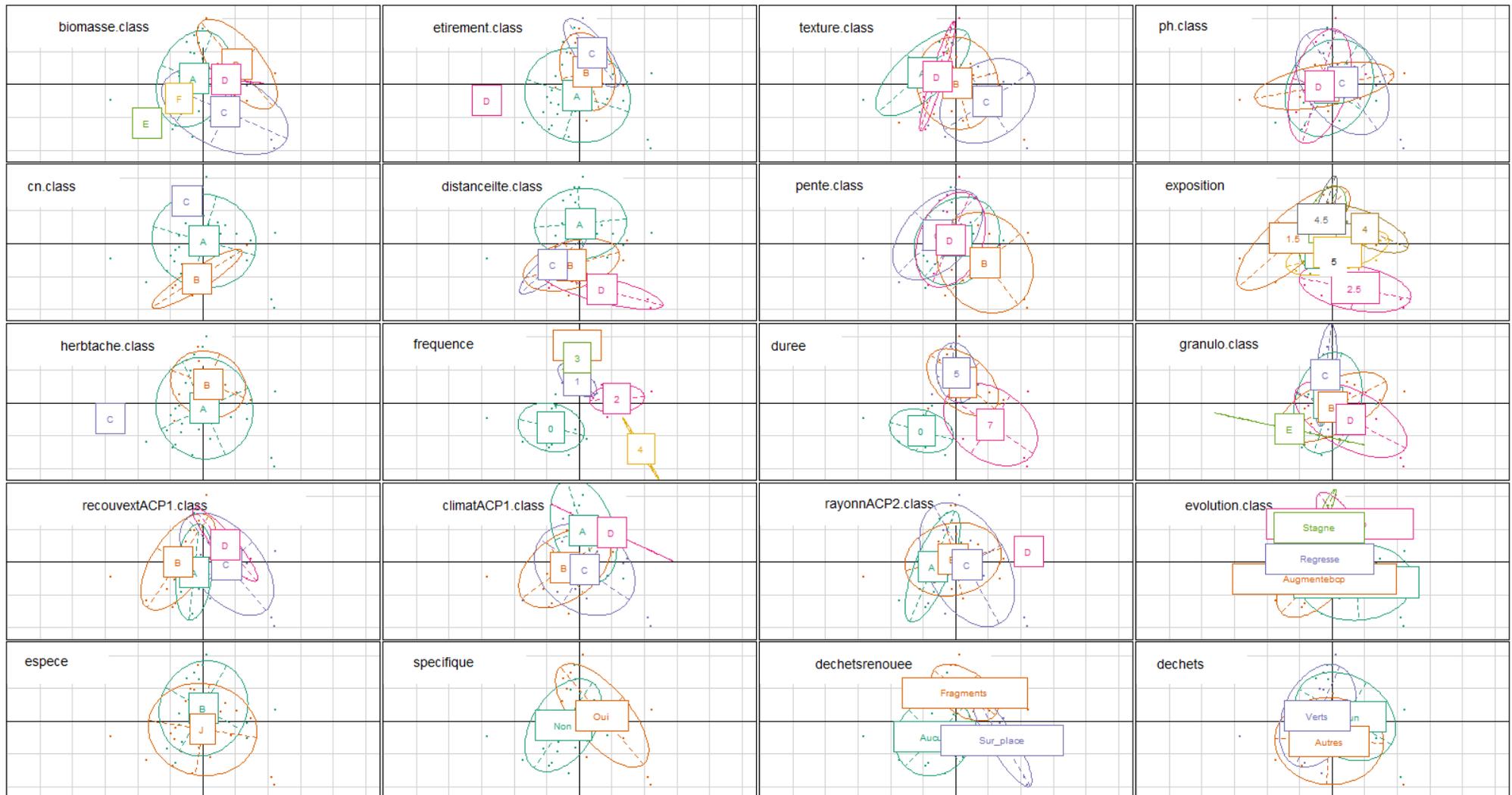


Figure 22 : Représentation graphique de l'ACM sur les variables explicatives retenues par utilisation de la fonction *dudi.acm()* et *scatter()* sur RStudio®
Projection sur les axes factoriels 1 et 2 de l'ACM

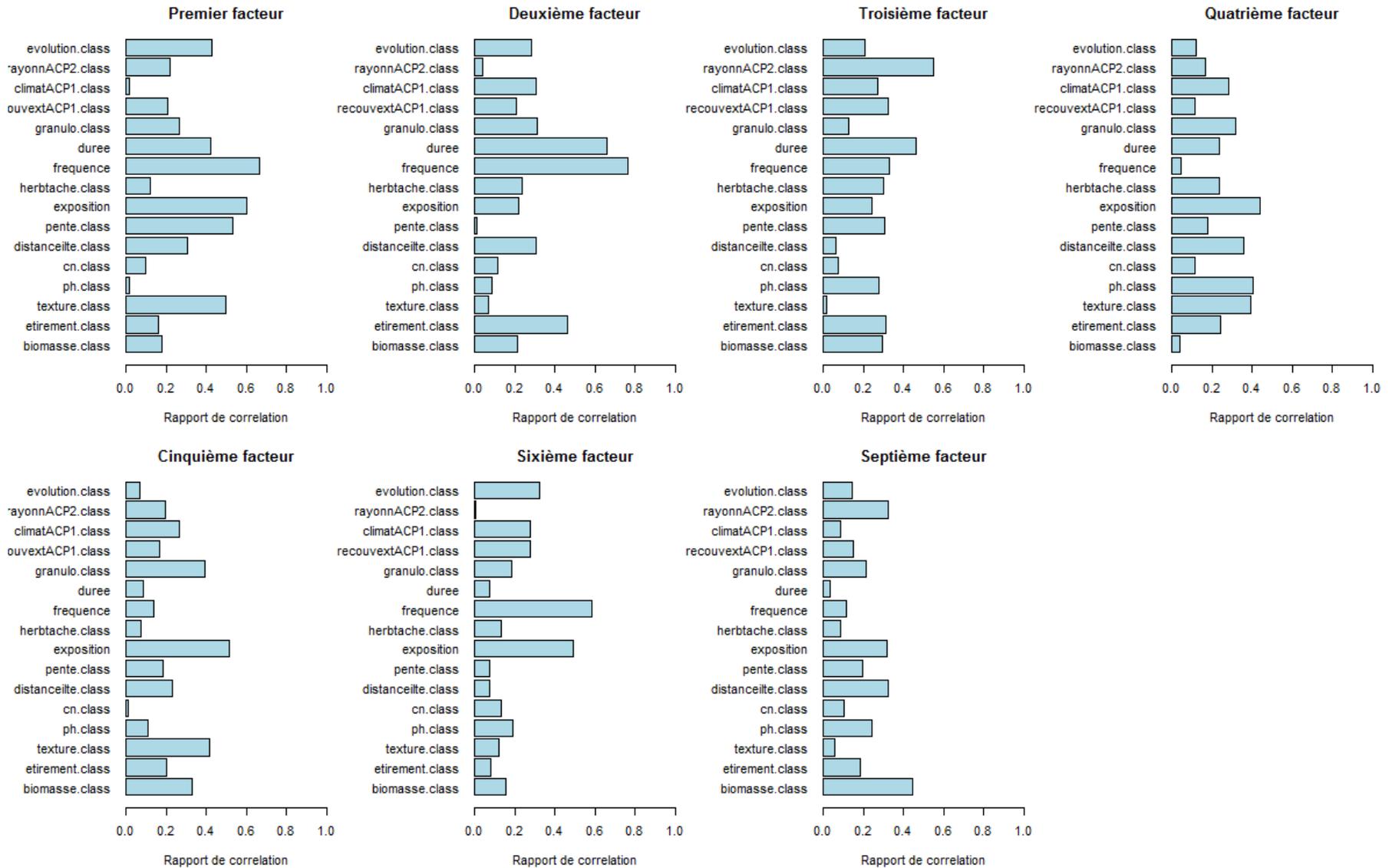


Figure 23 : Représentation graphique de la corrélation des variables sur chaque axe factoriel de l'ACM par utilisation de la fonction `barplot(acm$scr[])` sur RStudio®

III.1.D) Tests d'ANOVA et de Kruskal-Wallis sur les variables qualitatives

Variable	ANOVA (Valeur-p)	Test de Shapiro-Wilk sur résidus (Valeur-p)	Test de Kruskal-Wallis (Valeur-p)
Caractéristiques de la Tache			
Espèce	0.077	0.05973	
Facteurs de Gestion			
Gestion	0.913	0.01275	0.7253
Spécifique	0.393	0.03495	0.5488
Fréquence	0.315	0.05276	0.523
Durée	0.729	0.01739	0.4643
Déchets des Renouées	0.313	0.01056	0.2139
Dépôts de Déchets	0.0634	0.04799	

Tableau 7 : Synthèse des tests ANOVA et de Kruskal-Wallis effectués sur les variables qualitatives par utilisation des fonctions *summary(aov())*, *shapiro.test(residuals(aov()))* et *kruskal.test()* sur RStudio®

Les ANOVA effectuées testent l'hypothèse nulle selon laquelle les variables ne possèdent pas un pouvoir explicatif sur ΔS , pour un risque $\alpha = 0,05$. Au vu des valeurs-p obtenues sur ces variables, systématiquement supérieure au risque α retenu, cette hypothèse nulle est acceptée. Cependant, deux variables, l'espèce de renouée observée et le type de déchets rencontrés à proximité du site (surlignées en vert dans le **Tableau 7**), ont une valeur-p de même ordre de grandeur que le risque α sélectionné. Au vu de ces tendances, l'influence de ces variables sur ΔS sera observée ultérieurement par représentation graphique.

L'hypothèse de normalité des résidus de l'ANOVA a été réalisée sur l'ensemble des variables par un test de Shapiro-Wilk. Sur les variables exprimant une tendance, mises en évidence par l'ANOVA, la valeur-p est de même ordre de grandeur que le risque retenu. Les tests d'homoscédasticité, caractérisant l'homogénéité des variances sur ces mêmes résidus, ont été validés sur l'ensemble des variables par la visualisation des plots sur l'ANOVA pour les variables quantitatives, et par un test de Levene pour les variables qualitatives.

Les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis, au vu des valeurs-p obtenues, supérieures au risque α , n'ont pas permis d'identifier de variables supplémentaires présentant un pouvoir explicatif sur la variable ΔS .

III.1.E) Régressions linéaires sur les variables quantitatives

Les régressions linéaires effectuées testent l'hypothèse nulle selon laquelle les variables quantitatives retenues ne sont pas corrélées avec la variable principale ΔS , pour un risque $\alpha = 0,05$. Deux variables, l'étirement spatial du massif et la granulométrie du sol (surlignées en vert dans le **Tableau 8**), ont une valeur-p de même ordre de grandeur que le risque α sélectionné, et expriment une tendance de corrélation avec ΔS .

L'hypothèse de normalité des résidus de la régression linéaire a été réalisée sur l'ensemble des variables par un test de Shapiro-Wilk. Sur les variables exprimant une tendance, mises en évidence par la régression, la valeur-p est de même ordre de grandeur que le risque retenu.

Au vu des résultats de ces diverses analyses, il a été décidé de représenter graphiquement les variables surlignées en vert dans ces tableaux. Il est supposé que les tendances obtenues pour ces variables sont suffisamment intéressantes pour que l'interprétation graphique de ces variables, et la relation mise en évidence avec ΔS , présentent un intérêt scientifique dans le cadre des objectifs exploratoires de cette étude.

Variable	Régression Linéaire (Valeur-p)	Test de Shapiro-Wilk sur résidus (Valeur-p)
Caractéristiques de la Tache		
Biomasse	0.4153	0.01895
Etirement	0.05594	0.07461
Géographie et Climat		
Pente	0.5398	0.02528
Exposition	0.6205	0.01741
Distance ILTe	0.2625	0.04002
Facteurs Climatiques (ACP1)	0.4281	0.007523
Rayonnement Solaire (ACP2)	0.3875	0.01852
Facteurs Biotiques		
Recouvrement Herbacées	0.3871	0.007097
Recouvrement Végétal (ACP1)	0.9843	0.01385
Facteurs Edaphiques		
pH	0.1245	0.09759
C/N	0.9766	0.01404
Taux d'Argile	0.2388	0.0235
Granulométrie (ACP1)	0.05248	0.09552
Facteurs de Gestion		
Fréquence	0.3155	0.05276
Durée	0.729	0.01739

Tableau 8 : Synthèse des tests de régressions linéaires effectués sur les variables quantitatives par utilisation des fonctions *summary(lm())* et *shapiro.test(residuals(lm()))* sur RStudio®

III.1.F) Représentations graphiques des variables présentant une tendance

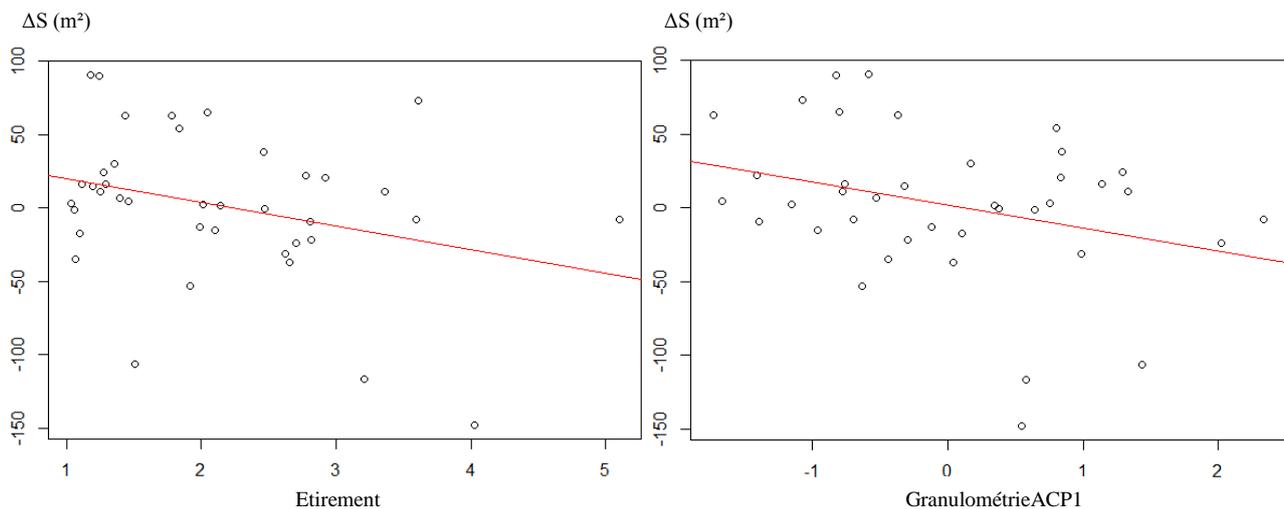


Figure 24 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et le rapport d'étirement de la tache par utilisation des fonctions *plot()* et *abline()* sur RStudio®

Figure 25 : Représentation graphique de la relation linéaire entre ΔS et la composante principale GranulométrieACP1

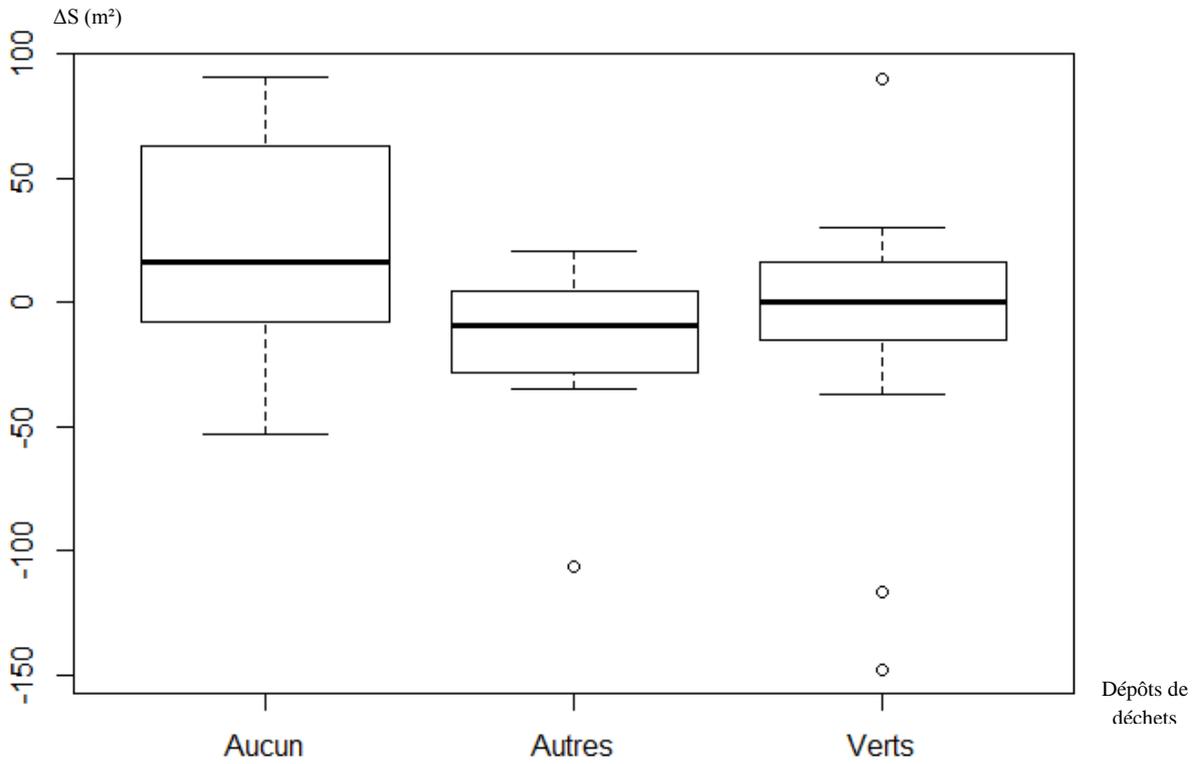


Figure 26 : Représentation graphique en boîtes à moustache de la relation entre ΔS et la nature des déchets déposés
Par utilisation de la fonction `boxplot()` sur RStudio®

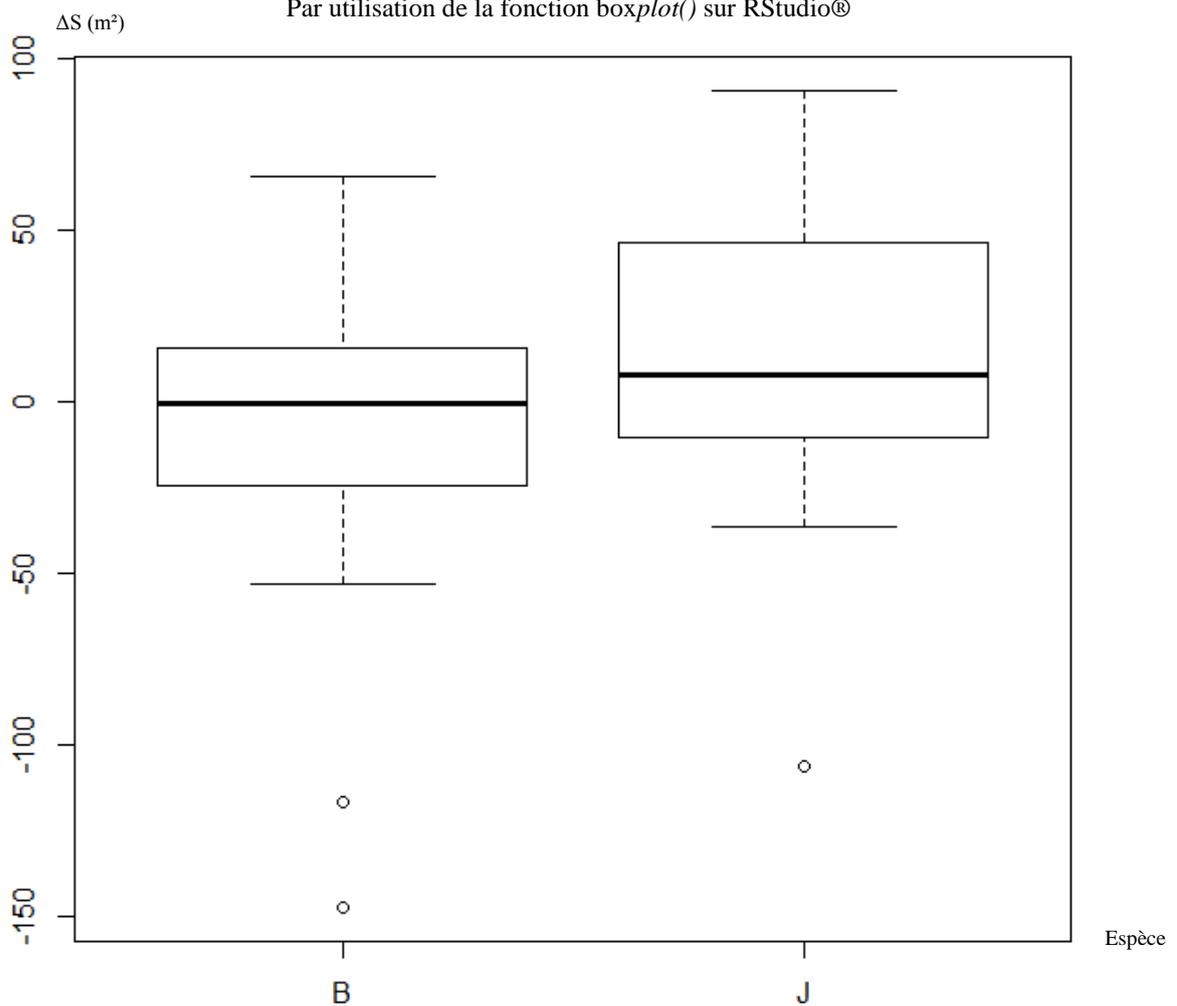


Figure 27 : Représentation graphique en boîtes à moustache de la relation entre ΔS et l'espèce de renouée asiatique

III.2) INTERPRÉTATIONS

III.2.A) Interprétations des variables corrélées par ACP et ACM

De manière générale, les variables initiales, corrélées et regroupées entre elles par les analyses en composantes principales, respectent une association logique en prenant en compte les connaissances scientifiques venant appuyer la dépendance supposée entre les variables regroupées. Qu'il s'agisse des variables climatiques, de granulométrie ou de recouvrement végétal, toutes les variables regroupées au cours des analyses ont été anticipées, lors de l'élaboration du protocole d'acquisition de données, comme dépendantes entre elles.

Cette constatation vient ainsi appuyer la pertinence d'une telle méthode analytique, lorsque l'on se retrouve, dans le cadre d'une telle étude exploratoire, avec un nombre conséquent de variables à traiter. Le fait de regrouper et traiter en amont les variables par famille de facteurs, et ce de manière indépendante, présente ainsi un intérêt non négligeable.

L'analyse en composantes multiples visualisée sur la **Figure 22** ne contribue que de manière limitée à l'interprétation des corrélations pouvant exister entre certaines variables, notamment qualitatives et impossibles à traiter par le biais d'une ACP. Au final, peu de corrélations entre les classes des différentes variables sont mises en évidence, et plusieurs raisons peuvent expliquer ce constat.

Premièrement, la distribution de chaque variable sur les différents axes factoriels de l'ACM, telles qu'on peut l'observer sur la **Figure 23**, est très hétérogène et rend difficile la sélection de ces axes pour une représentation graphique. Deuxièmement, la variable principale ΔS exprime une faible variabilité sur les facteurs 1 et 2 sélectionnés, en comparaison d'autres variables explicatives. Enfin, les résultats obtenus par tests analytiques sur les variables qualitatives n'ont pas permis d'identifier un pouvoir explicatif sur la variable principale ΔS , à l'exception des dépôts de déchets.

Le principal apport de cette ACM est d'avoir permis d'observer que la variabilité des individus s'exprime principalement sur la fréquence annuelle et la durée de gestion des massifs.

En prenant en compte tous ces aspects, l'utilisation d'analyses en composantes multiples ne complète que très peu les analyses statistiques précédentes sur les variables quantitatives, quand bien même elle permet d'avoir un recul supplémentaire concernant les interactions pouvant exister entre les variables qualitatives, notamment celles de gestion. Il est à mentionner que la variable s'intéressant au type de gestion a été très vite écartée, en raison du fait que les sites gérés retenus faisaient majoritairement l'objet de fauches mécaniques.

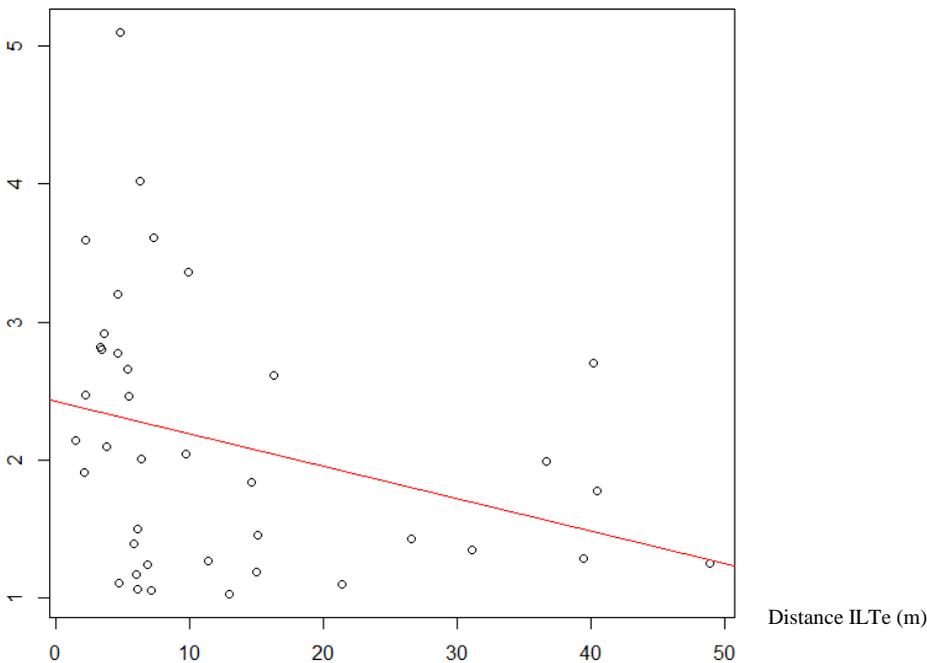
III.2.B) Interprétations des variables avec une tendance explicative

La régression linéaire entre ΔS et le rapport d'étirement de la tache, visualisée sur la **Figure 24**, met en évidence une relation entre ces deux variables. Ainsi, plus les taches possèdent un rapport d'étirement élevé, plus les évolutions de surface observées sur ces mêmes sites sont faibles voire régressives.

Cette relation peut s'expliquer de la manière suivante : la quasi-totalité des sites retenus dans le jeu de données analysé évoluent sur des talus de routes secondaires ayant fait l'objet d'un dépôt de remblais par le passé. Plus une tache de renouées est proche d'une infrastructure linéaire de transport, plus son étirement est grand, son évolution spatiale étant contrainte par la présence de cette infrastructure. Le massif de renouées asiatiques aura tendance à évoluer et s'étirer dans les directions parallèles à l'ILTe, son expansion dans les directions orthogonales étant limitée par la présence de bitume. On peut donc supposer que la distance à l'ILTe est le véritable facteur explicatif de l'évolution spatio-temporelle du massif.

Cette constatation est mise en évidence sur la **Figure 28**, la régression linéaire respectant les différents tests statistiques mis en pratique pour évaluer sa pertinence, les valeurs-p obtenues dans le **Tableau 9** ayant un ordre de grandeur proche du risque retenu.

Etirement



Test	Valeur-p
ANOVA	0.0546
Shapiro-Wilk (Résidus aov)	0.03538
Régression Linéaire	0.05462
Shapiro-Wilk (Résidus lm)	0.03538

Figure 28 : Représentation graphique de la régression linéaire entre l'étirement et la distance avec l'ILTe du massif

Tableau 9 : Tests d'ANOVA et de régression linéaire entre l'étirement et la distance avec l'ILTe du massif

La régression linéaire entre ΔS et la granulométrie des échantillons de sol analysés, visualisée sur la **Figure 25**, met en évidence une relation entre ces deux variables. Les valeurs de l'axe de granulométrie sont issues de l'ACP utilisée pour regrouper les différentes variables de fraction granulométrique. Les valeurs positives de l'axe correspondent aux fractions granulométriques fines (2 et 0.2 mm), tandis que les valeurs négatives expriment les fractions granulométriques grossières (charge en cailloux, 6.4 et 4 mm). Ainsi, plus les échantillons de sols prélevés possèdent une granulométrie fine, plus les évolutions de surface observées sur ces mêmes sites sont faibles, voire régressives.

Plusieurs paramètres peuvent expliquer cette influence de la granulométrie du sol sur l'évolution de surface des taches de renouées asiatiques. Les connaissances scientifiques dans le domaine de la pédologie s'accordent à dire que plus un sol possède une granulométrie fine, plus il est susceptible de présenter des caractéristiques de porosité faible et de compaction fortes. Dans ces conditions, les espèces végétales qui s'y développent – ce qui inclut les renouées asiatiques – sont exposées au phénomène d'asphyxie racinaire, et rencontreront une résistance mécanique plus prononcée du sol vis-à-vis du développement spatial de la biomasse souterraine (Gobat et al., 2010).

Il aurait été intéressant de caractériser les différentes tendances de granulométrie qui se dégagent des échantillons prélevés en fonction de l'occupation et du caractère remanié du sol (berge de cours d'eau, remblais, champ cultivé, etc.) sur lequel se développent les renouées asiatiques. Mais ces critères, bien que mesurés dans le cadre de cette étude, varient selon les directions d'évolution observées sur chaque massif, et sont relativement difficiles à globaliser sur un jeu de données moyenné sans impliquer un biais. Ainsi, aucune influence de ces variables n'a été mise en évidence lors des phases exploratoires, ce qui explique pourquoi elles n'ont pas été intégrées dans ces résultats.

La régression linéaire entre ΔS et les déchets déposés à proximité des massifs de renouées, visualisée sous forme de boîtes à moustaches sur la **Figure 26**, montre certaines tendances d'évolution de la surface des taches de renouées asiatiques selon le type de déchets déposés.

Ainsi, le dépôt de déchets, quelle que soit sa nature (verts ou autres), n'a pas d'influence significative sur la dynamique des renouées. En revanche, les sites ne présentant aucun signe de dépôt de déchets ont tendance à voir la surface du massif augmenter au cours du temps. Une comparaison par test de Tukey confirme l'absence de différence significative entre les groupes "Autres" et "Verts", contrairement au groupe "Aucun" qui s'en distingue.

On peut supposer que les sites sur lesquels des déchets sont déposés sont plus susceptibles de faire l'objet d'une intervention par des responsables de gestion, à l'inverse des sites sans dépôts. Les enquêtes réalisées montrent cependant que la proportion de sites gérés et non gérés, quel que soit le type de déchets rencontrés, est distribuée de manière relativement homogène sur le jeu de données, comme en témoigne la **Figure 29**. On ne peut donc pas conclure à un effet de gestion différencié selon le type de déchets rencontrés.

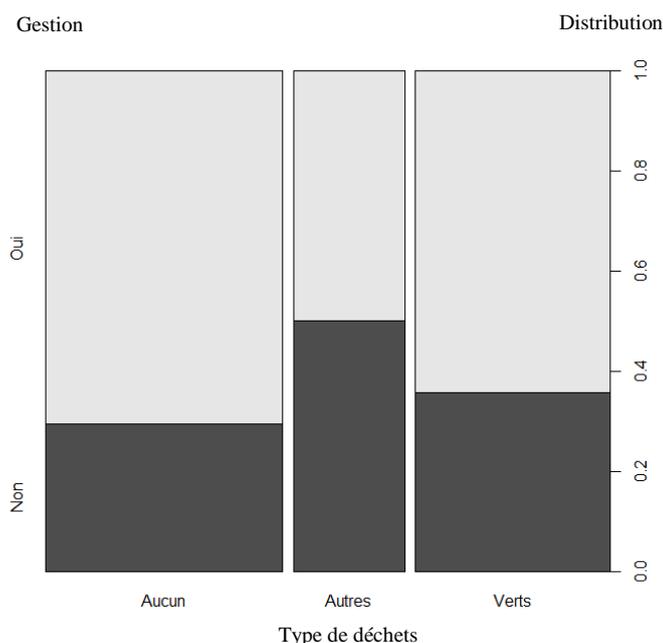


Figure 29 : Diagramme de répartition des sites faisant l'objet d'une gestion, ou non, selon le type de déchets rencontré

Une autre explication serait à chercher du côté de la perturbation du sol engendrée par le dépôt de déchets à proximité des renouées, perturbant le développement habituel de la plante. Ces perturbations peuvent prendre plusieurs formes. Il peut s'agir d'un écrasement physique du sol et de la plante par les gravats, d'une modification des conditions chimiques du sol par des composés organiques (déchets verts), voire même une pollution par des composés inorganiques (déchets ménagers).

Le caractère ponctuel de ces dépôts, tout comme le fait d'avoir moyenné le jeu de données analysé, ne permettent pas d'explorer plus en détail cette piste, en s'intéressant par exemple aux valeurs de pH et de C/N mesurées puis en les comparant avec la nature des déchets rencontrés. Aucune corrélation n'a été mise en évidence à ce niveau lors des phases d'analyse exploratoires.

Enfin, la régression linéaire visualisée sous forme de boîtes à moustache sur la **Figure 27**, met en évidence une tendance d'évolution de surface ΔS différente selon l'espèce de renouée identifiée sur le massif. Ainsi, les évolutions de surface positives sont majoritairement observées sur la renouée du Japon, tandis que les évolutions stagnantes, voire régressives, s'observent plutôt sur la renouée de Bohême. Cette observation est en accord avec les résultats obtenus dans le cadre de précédents travaux scientifiques (Tiébré et al., 2008).

Malgré le léger déséquilibre dans la distribution des espèces identifiées sur l'ensemble des sites, comme en témoigne la **Figure 30**, l'observation précédente illustre l'intérêt, à terme, de dissocier les analyses de facteurs en deux groupes distincts. Avec d'un côté, les renouées du Japon, et de l'autre, les renouées de Bohême. En exprimant l'hypothèse que les conditions d'évolution spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques diffèrent selon l'espèce étudiée.

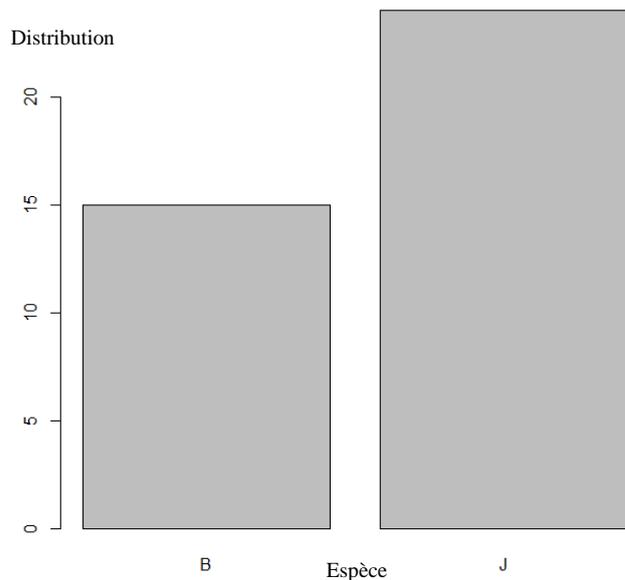


Figure 30 : Histogramme de distribution des espèces de renouées asiatiques rencontrées sur l'ensemble des sites retenus pour analyse

III.3) DISCUSSIONS

III.3.A) Bilan critique des méthodes et des résultats

Les résultats obtenus dans le cadre des analyses statistiques ont permis d'isoler plusieurs variables susceptibles d'avoir une influence sur l'évolution spatio-temporelle des massifs de renouées asiatiques. En premier lieu, on constate que les taches de renouées se développent d'autant moins au cours du temps qu'elles sont plus étirées. En second lieu, les taches se développent davantage sur des sols présentant une granulométrie grossière. Troisièmement, les sites qui ne font l'objet de dépôt de déchets ont une dynamique d'expansion plus importante. Enfin, on observe un effet de l'espèce, avec un étalement plus important de la renouée du Japon, comparée à la renouée de Bohême. En ce qui concerne les autres variables, peu ou aucune influence n'a pu être déterminée au terme de ces analyses. Plusieurs raisons peuvent être évoquées.

Concernant les traits de performance des renouées, il semblerait que la quantité de biomasse aérienne par unité de surface ne permette pas d'expliquer la dynamique spatio-temporelle des massifs. Cela peut provenir de la méthode utilisée pour isoler cette variable. En effet, si les mesures de terrain concernant le diamètre et la densité des ramets ont été rigoureuses, la formule qui utilise ces facteurs pour déterminer la biomasse aérienne n'a été élaborée que récemment et doit encore être testée dans le cadre d'autres études afin d'évaluer sa pertinence. En outre, cette formule ne prend actuellement pas en compte le facteur d'espèce de renouées asiatiques, ni de hauteur, alors que notre jeu de données présente de nombreuses variabilités sur ces facteurs.

Il semblerait que les facteurs géographiques globaux n'ont pas d'influence sur la dynamique spatio-temporelle des massifs. Les facteurs obtenus à partir de système d'information géographique, telles que l'altitude, la température, la précipitation et le rayonnement solaire, ont pourtant été mesurés rigoureusement à partir de jeux de données couramment utilisés dans ce type d'études. De plus, la zone géographique incluant l'ensemble des sites Infame étudiés présente une variabilité paysagère importante de ces facteurs. On peut néanmoins supposer que la zone géographique étudiée, malgré cette variabilité importante, ne présente pas de conditions environnementales extrêmes susceptibles d'impacter la dynamique des renouées asiatiques. En appui de cette hypothèse, il est bon de rappeler la forte adaptabilité topographique et climatique des renouées asiatiques, notamment en milieu montagnard (Beerling et al., 1994 ; Bailey & Wisskirchen, 2006).

Concernant les facteurs géographiques locaux, il est supposé que les absences de tendances obtenues sur la plus forte pente et son exposition au soleil puissent être dues au fait que ces facteurs présentent une forte variabilité selon où on se positionne sur la tache. L'utilisation d'un jeu de données moyenné peut donc expliquer cette absence de résultats.

Dans le cas de la distance par rapport à l'ILTe, les interprétations présentées auparavant sur l'étirement de la tache laissent apparaître une influence d'évolution de surface positive lorsque le massif est plus éloigné de l'infrastructure. Cette observation, visible sur la **Figure 31**, est en accord avec les résultats obtenus dans le cadre des précédents travaux sur Infame au sein d'Irstea-Grenoble. Ainsi, on peut observer que quand le massif est situé à moins de 10 mètres de l'ILTe, la dynamique spatio-temporelle des massifs de renouées exprime une plus forte variabilité que pour des distances supérieures. Cette observation pourrait correspondre à une distance maximale d'intervention des gestionnaires (Spiegelberger, 2014).

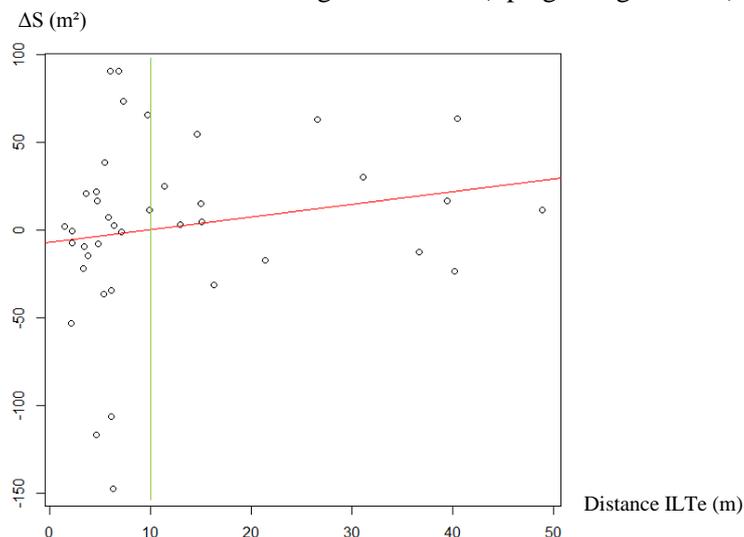


Figure 31 : Représentation graphique de la régression linéaire entre ΔS et la distance par rapport à l'ILTe

Concernant les facteurs biotiques de recouvrement par les autres espèces végétales, au sein comme à l'extérieur de la tache, l'absence de résultats permet de relativiser l'utilisation de la classification de recouvrement par Braun-Blanquet, dont les mesures visuelles peuvent engendrer un biais. Il en est de même pour les facteurs édaphiques liés aux mesures de pH, qui pour des raisons de matériel n'ont pu se faire qu'avec des tests colorimétriques, et de texture, avec le test du boudin. Ces mesures ont malgré tout permis d'observer une influence négative de la basicité et du taux d'argile dans le sol sur l'évolution spatio-temporelle des massifs, observée sur les **Figure 32** et **33**.

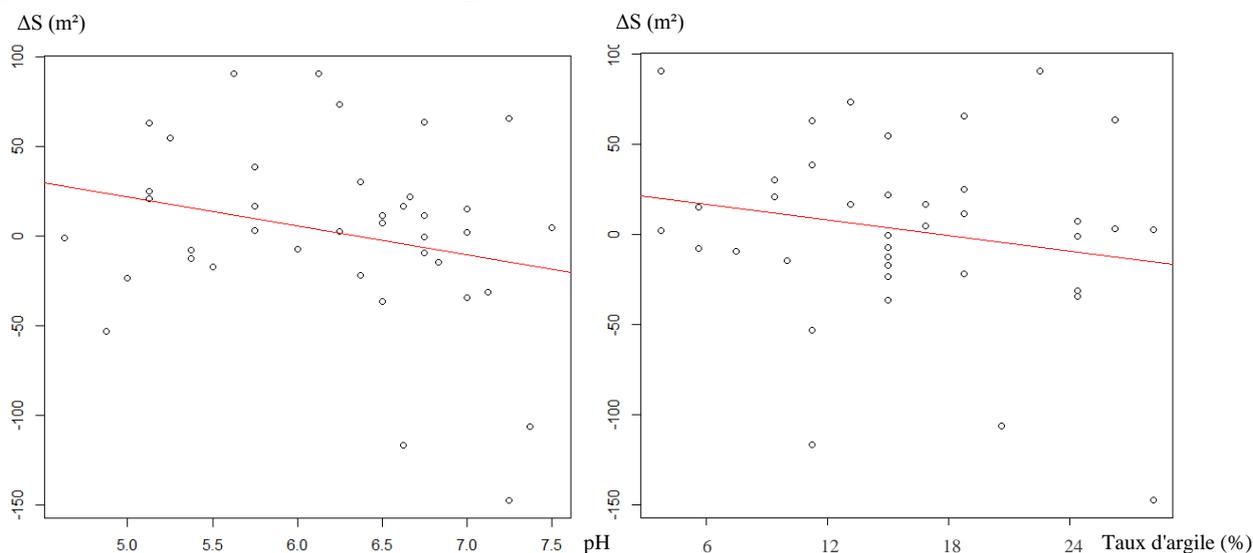


Figure 32 : Représentation graphique de la régression linéaire entre ΔS et le pH du sol

Figure 33 : Représentation graphique de la régression linéaire entre ΔS et le taux d'argile dans le sol

Mis à part la présence de déchets sur les sites envahis par les renouées, qui reste elle-même difficile à interpréter, l'absence de tendances observée sur les facteurs de gestion peut s'expliquer par le déroulement des enquêtes. En effet, la base de données concernant les gestionnaires des sites retenus au terme des missions n'était que très peu renseignée au début de cette étude.

Qu'il s'agisse de gestionnaires particuliers, d'employés communaux ou départementaux, les enquêtes réalisées ont ainsi montré la difficulté à obtenir des données précises concernant la gestion au cours du temps des massifs de renouées asiatiques le long des axes secondaires. L'absence de référencements et de rapports de gestion est mise en cause, et peut s'expliquer par un désintérêt ou par un manque exhaustif de formation du personnel, comme l'ont révélé les entretiens téléphoniques, par mail ou échanges postaux. Ainsi, de nombreuses données récoltées, notamment sur la fréquence, la durée de gestion annuelle et la manière de gérer la biomasse extraite des massifs, peuvent présenter un biais, car basées sur la mémoire des gestionnaires interrogés, et non sur des données référencées en temps réel au cours du temps.

III.3.B) Préconisations pour le projet Dynarp et les sujets de recherche associés

En prenant en compte les pistes de réflexion envisagées pour expliquer les résultats obtenus dans cette étude, plusieurs modifications peuvent être proposées quant aux méthodes d'acquisition de données et des traitements analytiques opérés, dans le cadre de leur application sur le projet Dynarp.

Concernant la mesure des traits biologiques liés aux massifs de renouées asiatiques observés, une réduction de la charge de travail est suggérée en vue de limiter le temps de prospection sur chaque tache, de trente minutes à une heure selon sa taille et les conditions de terrain rencontrées. Pour ce faire, plusieurs variables redondantes, telles que la hauteur des tiges, ou difficiles à caractériser, telles que l'impact d'herbivorie, seraient à écarter.

Malgré le peu de résultats mis en évidence à cette échelle, il serait intéressant de conserver la mesure des facteurs géographiques et climatiques, qu'ils soient locaux comme globaux. En effet, les sites de prospection retenus dans le cadre du projet Dynarp sont répartis sur des zones géographiques beaucoup plus espacées que ceux du projet Infame. Il ne serait donc pas impossible d'observer des tendances si le jeu de données associé possède de plus fortes variabilités. La mesure de ces variables, notamment celles par système d'information géographique, sont très rapides à acquérir en termes de traitement bureautique, et sont déjà mises à disposition dans des bases de données existantes. Par ailleurs, il serait intéressant de développer une méthode de détermination de la pente et de son exposition par SIG à partir de modèles numériques de terrain type BD ALTI®, ce qui permettrait de limiter les biais engendrés par la mesure directe de ces variables sur le terrain.

Concernant les facteurs biotiques de recouvrement par les autres espèces végétales, de nouvelles méthodes de mesure seraient également à envisager, notamment pour les strates arbustives et arborées qui sont les plus difficiles à estimer sur le terrain. Une méthode d'évaluation de la surface recouverte par SIG, inspirée des travaux sur la télédétection des massifs de renouées asiatiques, constitue une piste intéressante. La conservation de ces variables est néanmoins à discuter, l'influence de la compétition des renouées avec les autres espèces végétales ayant été peu souvent mise en évidence (Dommanget, 2014).

Il est intéressant d'observer que les facteurs édaphiques, les plus chronophages à déterminer dans le protocole, présentent des résultats sur la granulométrie du sol. De nouvelles pistes de facteurs, notamment concernant la structure du sol (porosité, compaction, etc.) seraient ainsi à explorer. Concernant les variables liés aux caractéristiques chimiques et aux capacités nutritives du sol, des méthodes de mesure plus rigoureuses pourraient être envisagées, en faisant par exemple appel à des laboratoires spécialisés. Mais cette suggestion est à discuter, l'utilisation d'analyseurs chimiques type NIRS ou CHNS n'ayant pas montré de résultats concluants sur ce type de variables.

Un recul doit également être pris sur la forme et le contenu des enquêtes de gestion. Dans le cas de cette étude, les faibles disponibilités et connaissances des gestionnaires sur les renouées asiatiques ont sans doute influencé la pertinence du jeu de données associé. Ce problème ne devrait pas être rencontré dans le cadre du projet Dynarp, les gestionnaires ayant été informés et directement impliqués. Leur état des connaissances sur leurs pratiques de gestion devra néanmoins être vérifié avant de décider quelles variables retenir.

Le traitement analytique par analyses en composantes principales pour regrouper les variables dépendantes se révèle pertinent, et les phases exploratoires ont montré qu'aucune différence majeure n'était observée entre les ACP du jeu de données initial et de celui moyenné. Concernant les analyses en composantes multiples, une approche différente serait de générer des ACM uniquement entre les variables qualitatives, notamment celles de gestion, et la variable principale, discrétisée et classée de manière qualitative. Cela permettrait sans doute de rendre leur interprétation plus simple, et leur utilisation complémentaire à celle des ACP.

Enfin, une analyse s'intéressant aux différentes directions d'évolution de chaque massif, impliquant une duplication de nombreuses valeurs sur chaque individu du jeu de données, nécessitera néanmoins une méthode analytique différente si ce n'est plus approfondie, si l'objectif final reste de mettre en évidence des corrélations par représentations graphiques et par tests statistiques associés.

CONCLUSION

Au vu de l'état des connaissances scientifiques dans le domaine des invasions biologiques des renouées asiatiques, l'étude diachronique menée au sein de ce rapport présente un caractère assez inédit, puisque la majorité des études sur le sujet ont jusque-là adopté un point de vue essentiellement synchronique.

La compréhension de l'évolution spatio-temporelle, ainsi que des facteurs environnementaux et de gestion susceptibles d'avoir une incidence sur cette dynamique, est au cœur des objectifs de cette étude diachronique, qui a été menée à une échelle exploratoire.

Au final, 31 sites pour 39 massifs de renouées asiatiques, répartis en Isère à une altitude supérieure à 800 m, ont été retenus sur les données Infame exploitables. Parmi les divers facteurs mesurés au cours de cette étude, les traitements analytiques opérés sur le jeu de données ont permis de mettre en évidence une influence des variables d'étirement spatial de la tache, de l'espèce de renouées identifiée, de la granulométrie du sol, et de dépôt de déchets observés à proximité du site.

Les objectifs déterminés au départ de l'étude ont ainsi été en partie remplis, bien que les résultats ne permettent de répondre que partiellement aux hypothèses exprimées. Les difficultés rencontrées pour renseigner certaines familles de variables, notamment celles de gestion, limitent en partie la représentativité des tendances (et leur absence dans certains cas) observables à partir de ce jeu de données.

Ces résultats ont néanmoins permis de valider la démarche du protocole et sa pertinence, tout en proposant des pistes d'amélioration, en vue de son application durant les années à venir, dans le cadre du projet Dynarp. Il est par ailleurs probable que l'application de ce protocole sur ce projet ne rencontre pas les mêmes difficultés que celles de cette étude. Car les matériels et méthodes de mesure utilisés pourront être améliorés par la prise en compte des limites identifiées, notamment sur l'enregistrement des surfaces occupées par les renouées, ou encore sur les mesures de recouvrement par les espèces végétales. Les travaux effectués sur les méthodes d'analyse paysagère des massifs de renouées par télédétection devraient notamment apporter des réponses plus appropriées pour ce type de mesures. Enfin, le réseau de gestionnaires impliqués dans le cadre du projet est mieux renseigné que sur les sites Infame.

Les résultats obtenus à la fin de cette étude serviront de base de travail à un projet de thèse, qui débutera en octobre 2015 au sein d'Irstea-Grenoble, et viendra compléter l'acquisition de données sur les sites du projet de recherche scientifique Infame.

BIBLIOGRAPHIE

- AGUILERA Anna G. et al. Impacts of the invasive plant *Fallopia japonica* on plant communities and ecosystem processes [en ligne] *Biol Invasions*, 2010, 12, pp. 1243-1252. Disponible sur : <<http://dgs.stanford.edu/DGE/Dukes/AguileraEtAl2010.pdf>> (consulté le 07.03.2015).
- BAILEY John P. & WISSKIRCHEN Rotraut. The distribution and origins of *Fallopia x bohemica* (Polygonaceae) in Europe [en ligne]. *Nordic Journal of Botany*, 2006, vol. 4, n° 2, pp. 173-199. Disponible sur : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1756-1051.2004.tb00832.x/pdf>> (consulté le 11.03.2015).
- BEERLING David J. et al. Biological Flora of the British Isles – *Fallopia japonica* [en ligne]. *Journal of Ecology*, 1994, vol. 82, n° 4, pp. 959-979. Disponible sur : <http://www.jstor.org/stable/2261459?seq=1#page_scan_tab_contents> (consulté le 08.03.2015).
- BENICHOU Patrick & LE BRETON Odile. AURELHY : une méthode d'analyse utilisant le relief pour les besoins de l'hydrométéorologie [en ligne]. In : Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, Paris : ORSTOM, 1987, pp. 299-304. Disponible sur : <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/colloques/25973.pdf> (consulté le 21.04.2015).
- BESSE Philippe C. PCA stability and choice of dimensionality. *Statistics & Probability Letters*, 1992, vol. 13, n° 5, pp. 405-410.
- BOYER Mireille. Cartographie des renouées du Japon sur le réseau hydrographique du bassin Rhône Méditerranée Corse [en ligne]. Lyon, France : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 2011, 66 p. Disponible sur : <<http://portaildoc.oieau.fr/entrepotsOAI/AERMC/R6/13.pdf>> (consulté le 11.03.2015).
- BOYER Mireille. Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère [en ligne]. *Ingénieries*, n° 57-58, 2009, pp. 17-31. Disponible sur : <<http://www.colloque-renouee.com/2012/res/nouvelletechniqueeradication.pdf>> (consulté le 09.03.2015).
- BRADLEY Bethany A. et al. Predicting plant invasions in an era of global change [en ligne]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, vol. 25, n° 5, pp. 310-318. Disponible sur : <<http://people.umass.edu/bethanyb/Bradley%20et%20al.%202010%20TREE.pdf>> (consulté le 04.03.2015).
- CHOLER Philippe et al. Niche differentiation and distribution of *Carex curvula* along a bioclimatic gradient in the southwestern Alps [en ligne]. *Journal of Vegetation Science*, vol. 13, n° 6, pp. 851-858. Disponible sur : <http://www.jstor.org/stable/3236930?seq=1#page_scan_tab_contents>. (consulté le 16.03.2015).
- CRISTEN Douglas & MATLACK Glenn. The role of roadsides in plant invasions: a demographic approach [en ligne]. *Conservation Biology*, 2006, vol. 20, n° 2, pp. 385-391. Disponible sur : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2006.00315.x/pdf>> (consulté le 19.03.2015).
- DALVAI Frédéric. Les renouées asiatiques : Biologie, techniques de lutte, maîtrise de l'étalement, gestion des déchets. Saint-Etienne, France : Conseil Départemental de l'Isère, 2012, 9 p.
- DELBART Emmanuel et al. Can land managers control japanese knotweed? Lessons from control tests in Belgium [en ligne]. *Environmental Management*, 2012, vol. 50, n° 6, pp. 1089-1097. Disponible sur : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-012-9945-z>> (consulté le 16.03.2015).
- DOMMANGET Fanny. Interactions entre espèces invasives et communautés végétales des berges de cours d'eau : vers l'utilisation du génie écologique pour le contrôle des renouées asiatiques [en ligne]. Thèse Montpellier, Agro-Sup, 2014, 235 p. Disponible sur : <http://www.supagro.fr/theses/extranet/14-0004_Dommanget.pdf> (consulté le 02.03.2015).
- DOMMANGET Fanny et al. Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques [en ligne]. *Journal of Environmental Management*, 2013, vol. 132, pp. 71-78. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713006774>> (consulté le 14.03.2015).
- DUKES Jeffrey S. & MOONEY Harold A. Does global change increase the success of biological invaders? [en ligne]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, vol. 14, n° 4, pp. 135-139. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534798015547>> (consulté le 04.03.2015).
- EVETTE André. The ecology of restoration and combatting erosion with herbaceous and woody vegetation in torrent catchment areas [en ligne]. Grenoble, France : Irstea, 2015. Disponible sur : <<http://www.irstea.fr/en/research/research-units/emgr/ecology-restoration-and-combatting-erosion-herbaceous-and-woody>> (consulté le 05.03.2015).

- FCBN. Reynoutria japonica Houtt. : fiche espèce de la renouée du Japon **[en ligne]**. Orléans, France : Centre de Ressources Loire Nature, 2005, 5 p. Disponible sur : <http://www.centrederessources-loirenature.com/mediatheque/especes_inva/fiches_FCBN/Fiche%20-%20Reynoutria-japonica-sr.pdf> (consulté le 07.03.2015).
- GERBER Esther et al. Invasive knotweeds affect native plant and invertebrate assemblages in European habitats **[en ligne]**. Biological Conservation, 2008, vol. 141, n° 3, pp. 646-654. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320707004582>> (consulté le 14.03.15).
- GOBAT Jean-Michel et al. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. Lausanne, Switzerland : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2010, 817 p.
- GREYSTAD Fritzi et al. Efficacy and host specificity compared between two populations of the psyllid *Aphalara itadori*, candidates for biological control of invasive knotweeds in North America **[en ligne]**. Biological Control, 2013, vol. 65, n° 1, pp. 53-62. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964413000030>> (consulté le 21.03.2015).
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. Invasive Species **[en ligne]**. Gland, Switzerland : Conservation Centre, 2011. Disponible sur : <http://www.iucn.org/about/work/programmes/species/our_work/invasive_species/> (consulté le 03.03.2015).
- INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP. Global Invasive Species Database **[en ligne]**. Gland, Switzerland : Conservation Centre, 2008. Disponible sur : <<http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=91&fr=1&sts=sss&lang=FR>> (consulté le 03.03.2015).
- IRSTEA. Dynamique et gestion des renouées asiatiques à l'échelle paysagère, impacts et perceptions. Grenoble, France : Irstea, 2014, 34 p.
- ITTECOP. Infrastructures des transports terrestres, écosystèmes et paysages **[en ligne]**. Paris, France : AgroParisTech, 2015. Disponible sur : <<http://www.ittecop.fr/index.php/171-lettre-ittecop-de-juin-2015>> (consulté le 02.03.2015).
- JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPEENNE. Règlement (UE) N° 1143/2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes **[en ligne]**. Bruxelles, Belgium : Parlement Européen, 2014, 21 p. Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1143&from=FR>> (consulté le 05.03.2015).
- JURJANZ Stephan et al. Ecopâturage : une stratégie de lutte contre les renouées asiatiques **[en ligne]**. Nancy, France : Université de Lorraine, 2015, 44 p. Disponible sur : <http://ensaia.univlorraine.fr/telechargements/synthese_bibliographique_projet_13_ecopaturage_2014_2015-1.pdf> (consulté le 21.03.2015).
- KETTUNEN Mariane et al. Technical support to EU strategy on invasive species **[en ligne]**. London, England : Institute for European Environmental Policy, 2009, 131 p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/docs/Kettunen2009_IAS_Task%201.pdf> (consulté le 07.03.2015).
- LEGIFRANCE. Article L. 411-3, IV du code de l'environnement **[en ligne]**. Paris, France : Parlement Français, 2013. Disponible sur : <<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000027808713&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20150902&oldAction=rechCodeArticle&fastReqId=1852656573&nbResultRech=1>> (consulté le 05.03.2015).
- MASKELL Lindsay C. et al. Interactions between non-native plant species and the floristic composition of common habitats **[en ligne]**. Journal of Ecology, 2006, vol. 94, n° 6, pp. 1052-1060. Disponible sur : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2006.01172.x/pdf>> (consulté le 06.03.2015).
- MOYNE-BRESSAND Alain. Proposition de loi N° 2340 visant à lutter contre les espèces végétales et animales dont la prolifération nuit à la santé humaine **[en ligne]**. Paris, France : Assemblée Nationale, 2014. Disponible sur : <http://www.assemblee_nationale.fr/14/propositions/pion2340.asp> (consulté le 05.03.2015).
- MULLER Serge. Plantes invasives en France : état des connaissances et propositions d'actions. Paris, France : Muséum National d'Histoire Naturelle, 2004, 174 p.
- PEIHONG F. et al. Anti-inflammatory activity of the invasive neophyte *Polygonum Cuspidatum* Sieb. and Zucc. and the chemical comparison of the invasive and native varieties with regard to resveratrol **[en ligne]**. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2013, vol. 3, n° 3, pp. 182-187. Disponible sur : <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3924989/>> (consulté le 21.03.2015).
- PELTRE Marie-Christine et al. Biologie et écologie des espèces végétales proliférantes en France **[en ligne]**. Metz, France : Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, 1997, 202 p. Disponible sur : <http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2013/11/PLANTES_PROLIFERANTES_GIS_etude_68.pdf> (consulté le 15.03.2015).

- PICHET Audrey. Espèces végétales exotiques envahissantes : les renouées du Japon [en ligne]. Gap, France : Conservatoire Botanique National Alpin, 2011, 6 p. Disponible sur : <<http://www.invmed.fr/sites/invmed.fr/files/pictures/Reynoutria%20sp.pdf>> (consulté le 07.03.2015).
- PIEDALLU Christian et al. Projet de développement, spatialisation et validation d'indices bioclimatiques [en ligne]. Paris, France : AgroParisTech, 2007, 2 p. Disponible sur : <http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/liens_article/thematiques/gestion_durable/lebourgeoisresumerf.pdf> (consulté le 21.04.2015).
- PIOLA Florence et al. Étude des processus écologiques et sociaux pour optimiser la gestion des espèces invasives exotiques. Lyon, France : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 2014, 175 p.
- POLLNAC Fredric et al. Plant invasion at landscape and local scales along roadways in the mountainous region of the Greater Yellowstone Ecosystem [en ligne]. Biological Invasions, 2012, vol. 14, n° 8, pp. 1753-1763. Disponible sur : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10530-012-0188-y>> (consulté le 19.03.2015).
- PRICE Elisabeth A. et al. Seasonal patterns of partitioning and remobilization of C-14 in invasive rhizomatous perennial Japanese knotweed [en ligne]. Evolutionary Ecology, 2001, vol. 15, n° 4 2001, pp. 347-362. Disponible sur : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-011-9621-8>> (consulté le 15.03.2015).
- PYSEK Petr et al. Vegetative regeneration in invasive Reynoutria : the determinant of invasibility at the genotype level [en ligne]. American Journal of Botany, 2003, vol. 90, n° 10, pp. 1487-1495. Disponible sur : <http://www.amjbot.org/content/90/10/1487.long> (consulté le 13.03.2015).
- RICHARDSON David M. et al. Naturalization and invasion of alien plants [en ligne]. Diversity and Distributions, 2000, vol. 6, pp. 93-107. Disponible sur : <http://www.ibot.cas.cz/personal/pysek/pdf/naturalization_and_invasion_%20of_alien_plants.pdf> (consulté le 03.03.2015).
- ROUFED Soraya et al. Contrasting response to clipping in the Asian knotweeds Fallopia japonica and Fallopia × bohemica [en ligne]. Ecoscience, 2011, vol. 18, n° 2, pp. 110-114. Disponible sur : <http://www.researchgate.net/publication/232693734_Contrasting_Response_to_Clippling_in_the_Asian_Knotweeds_Fallopia_japonica_and_Fallopia_bohemica> (consulté le 27.03.2015).
- SASIK Robert & ELIAS Pavol Jr. Rhizome regeneration of Fallopia japonica. Regeneration rate and size of regenerated plants [en ligne]. Folia Oecologica, 2006, vol. 33, n° 1, pp. 57-63. Disponible sur : <http://www.researchgate.net/publication/267927200_Rhizome_regeneration_of_Fallopia_japonica_%28Japanese_knotweed%29_%28Houtt.%29_Ronse_Decr._I._Regeneration_rate_and_size_of_regenerated_plants> (consulté le 13.03.2015).
- SHOUSE Michael et al. Identification of understory invasive exotic plants with remote sensing in urban forests [en ligne]. International Journal of Applied Earth Observation, 2013, vol. 21, pp. 525-534. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243412001481>> (consulté le 24.03.2015).
- SPIEGELBERGER Thomas. Facteurs d'installation de Fallopia sp. dans les zones de montagne iséroises. Grenoble, France : Irstea, 2015, 72 p.
- STROMBONI Marine. Apport des images à très haute résolution spatiale et de la photogrammétrie pour la détection des renouées asiatiques. Grenoble, France : Irstea, 2015, 52 p.
- TIÉBRÉ Marie-Solange et al. Hybridization and sexual reproduction in invasive alien Fallopia (Polygonaceae) complex in Belgium [en ligne]. Annals of Botany, 2008, vol. 99, n° 1, pp. 193-203. Disponible sur : <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2802983/>> (consulté le 08.03.2015).
- VANDERHOEVEN Sonia et al. Perception of invasive alien species issues by nature conservation and horticulture professionals in Belgium [en ligne]. Environmental Management, 2011, vol. 47, n° 3, pp. 425-442. Disponible sur : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-011-9621-8>> (consulté le 08.03.2015).
- WESTON Leslie. A. et al. A review of the biology of three invasive perennials in New York State: Japanese knotweed, mugwort and pale swallow-wort [en ligne]. Plant and Soil, 2005, vol. 277, n° 1, pp. 53-69. Disponible sur : <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-005-3102-x>> (consulté le 08.03.15).
- WITTIG Rudiger. Frequency of Buddleja davidii Franch. (Buddlejaceae) in Germany along ecological gradients [en ligne]. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2012, vol. 207, n° 2, pp. 133-140. Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253011001836>> (consulté le 16.03.2015).

ANNEXES

Localisation			
Site			Nom de l'enquêteur Prénom NOM Téléphone Mail
Taches Gérées N° géoréférencés Description de l'emplacement			Date de l'enquête JJ/MM/AAAA

Gestionnaire			
Interlocuteur Prénom NOM			Profession
Société			Commune Code Postal
N° de Rue			Nom de Rue
Téléphone			Mail

Général			
Variables	Modalités		Informations complémentaires
Âge de la tache	Années		Date de 1ère observation JJ/MM/AAAA
Type(s) d'ILTe	Voie navigable Voie ferrée Autoroute Route secondaire	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nom/Emplacement de la voie Ex : PR [N° Borne] +/- [Mètres] sur la [Toponyme]
Responsable de gestion	VNF RFF Conseil départemental Société concessionnaire Commune Autre	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nom du gestionnaire
Opérateur de gestion	Interne Sous-Traitance	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nom de la société

Origine de la contamination				
Variables	Modalités		Informations complémentaires	
Zone remblayée	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Date du remblayage	
Remblais antérieur à l'apparition des renouées	OuiNon	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Zone déblayée	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Date du déblayage	
Déblais antérieur à l'apparition des renouées	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Site soumis à des dépôts de déchets	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Type/Quantité de déchets	
Fréquence des dépôts	Nombre / Semaine			
Site soumis à des crues	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Dates des dernières crues connues	
Fréquence des crues	Nombre / Année			
Présence de taches en amont	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Commune la plus éloignée	
			Distance (km)	
Site soumis au passage de riverains	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Axe(s) de fréquentation	
Fréquentation	Nombre / Semaine			
Site soumis au passage de véhicules	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Axe(s) de fréquentation	
Fréquentation	Nombre / Semaine			
Présence d'infrastructures à moins de 50 m	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nombre/Distance (m)/Adresse	
Zone industrielle <input type="checkbox"/> Exploitation agricole <input type="checkbox"/> Résidence <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>				

Gestion de la tâche			
Variables	Modalités		Informations complémentaires
			Dates et Périodes d'application
Site géré	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Durée de gestion	Années		
Gestion spécifique tâche par rapport au reste du site	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Durée de gestion	Années		
Gestion spécifique renouvelée par rapport aux autres plantes à l'échelle de la tâche	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Durée de gestion	Années		
Proportion de tâche gérée	%		Distance maximale fauchée depuis l'ILTe
Régularité d'application	Tous les [...] ans (1 / [...])		
Gestion au printemps	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fréquence	Nombre / Année		
Gestion en été	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fréquence	Nombre / Année		
Gestion en automne	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fréquence	Nombre / Année		
Gestion en hiver	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fréquence	Nombre / Année		

Techniques de gestion				
Variables	Modalités		Informations complémentaires	
			Matériel Techniques utilisés Manuel/Mécanisé Dates et Périodes d'application	
Fauche	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Fréquence de fauche	Nombre / Année			
Phytochimie	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Molécule/Produit	
Fréquence d'application	Nombre / Année			
Arrachage mécanique	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Fréquence d'application	Nombre / Année			
Concassage du sol, Extraction et Décaissage des rhizomes	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Profondeur	Mètres			
Bachage	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Fréquence d'application	Nombre / Année			
Durée d'application	Jours			
Traitement thermique	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Fréquence d'application	Nombre / Année			
Génie végétal	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Durée de réaménagement	Années Date de mise en place			
Direction d'intervention	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Amont Aval Sens de circulation	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Autre technique de gestion Traitement combiné	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

Devenir de la biomasse extraite des massifs			
Variables	Modalités		Informations complémentaires
			Matériel Techniques utilisés Manuel/Mécanisé
Exportation	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Broyage	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Brûlage	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Compostage en andain	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Laisseé sur place	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Autre	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Précaution de dispersion	Oui Non	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Formation du personnel	Formé <input type="checkbox"/> Sensibilisation <input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/>		Proportion de personnel formé
Perception			
Variables	Modalités		Informations complémentaires
Avis sur l'efficacité de gestion	Très efficace <input type="checkbox"/> Efficace <input type="checkbox"/> Maintien du milieu <input type="checkbox"/> Inefficace <input type="checkbox"/> Contre-Productif <input type="checkbox"/> Ne sait pas <input type="checkbox"/>		
Objectifs	Détruire <input type="checkbox"/> Affaiblir <input type="checkbox"/> Contenir <input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> Ne sait pas <input type="checkbox"/>		
Etat des objectifs	Atteints <input type="checkbox"/> En progression <input type="checkbox"/> Maintenus <input type="checkbox"/> Non remplis <input type="checkbox"/> Ne sait pas <input type="checkbox"/>		
Perspectives	Maintien de la gestion <input type="checkbox"/> Changement pratique <input type="checkbox"/> Abandon <input type="checkbox"/> Ne sait pas <input type="checkbox"/>		
Attentes des projets Dynarp/Infame	Site expérimental <input type="checkbox"/> Retour sur les analyses <input type="checkbox"/> Pas d'implication <input type="checkbox"/>		

Enregistrement géographique et Identification des traits				Communauté végétale (% Recouvrement)		
				Strate	Azimut gon	
Site Commune		Date Heure		Herbacée	Graminées	Autres
Tache n°		Tour complet	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Arbustive		
Gestion	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Spécifique <input type="checkbox"/> Déchets R <input type="checkbox"/>	Déchets <input type="checkbox"/> Remblais <input type="checkbox"/>	Arborée		
					Azimut gon	
Altitude (m)		Pente (%)		Herbacée	Graminées	Autres
Exposition (gon)		Espèce	J S B	Arbustive		
Herbivorie (%)		Echantillons de sol prélevés	0 1 2 3 4	Arborée		
	Q1	Q2	Q3		Azimut gon	
Hauteur des tiges (m)				Herbacée	Graminées	Autres
				Arbustive		
				Arborée		
Diamètre des tiges (cm)					Azimut gon	
				Herbacée	Graminées	Autres
				Arbustive		
Densité (Nb/m ²)				Arborée		
Graminées Herbacées (%) Autres				Acteur de Gestion	Rencontré <input type="checkbox"/> A contacter <input type="checkbox"/>	Privé <input type="checkbox"/> Public <input type="checkbox"/>
				Informations de contact		

Annexe 2 : Fiche utilisée sur le terrain pour la récolte des données mesurées sur les massifs de renouées

Référencement		Variable	Traits biologiques et spatiaux			Facteurs topographiques et climatiques				
N° Site	n° Tache	ΔS (m²)	Biomasse	Etirement	Espèce	Pente (%)	Exposition	Distance ILTe (m)	Climat ACP1	Rayonnement ACP2
1	1	-23.484	48.04622073	2.705231388	J	45	2.5	40.17375	0.93850879	-0.09935644
2	1	63.319	107.7681081	1.782949418	J	10	5	40.442	0.893155165	-1.946693751
5	1	-7.952	15.25033302	5.103294746	J	90	1.5	4.76975	-0.11456779	0.101008877
6	1	30.253	254.2868131	1.354833277	J	115	3	31.08425	0.702813035	-1.248365837
7	1	-116.703	33.46668811	3.205582137	B	92.5	1.5	4.6415	2.351792534	-0.934833713
10	1	-36.643	37.53381759	2.658250241	J	105	4.5	5.37375	0.211090408	0.787744377
11	1	90.231	117.5797568	1.240989931	J	92.5	3	6.80225	0.528705052	-0.395326966
12	1	73.166	267.2983618	3.613588717	J	85	3	7.318	0.842613199	-1.682808921
14	1	1.737	18.62623477	2.144488864	B	90	3	1.4365	0.390866725	-1.983835437
16	1	11.083	386.1898991	3.360015696	J	5	3.5	9.85125	0.406199669	0.015112112
19	1	-14.906	78.61944509	2.098950525	B	110	1	3.814	0.330775015	-0.571643019
26	1	-53.297	80.65081626	1.912072328	B	36.25	1.5	2.15325	0.516713934	-0.363512564
27	1	-12.746	100.8294395	1.991558543	J	47.5	1	36.67325	0.637859126	-0.624809783
28	1	16.389	205.6427606	1.113871776	B	36.25	4	4.71975	2.314772005	3.916793775
31	1	24.587	190.6754292	1.270891479	B	10	3.5	11.38775	-1.808333412	-0.160809514
32	1	14.848	299.4322141	1.191282102	B	78.75	3.5	15.012	-0.91863656	-0.806795906
34	1	-9.435	63.95353275	2.804399243	B	15	4	3.38325	-0.337942319	1.711858811
35	1	-17.523	414.0766715	1.100349476	B	10	4.5	21.4025	-0.813948276	0.201271381
36	1	6.959	662.1737268	1.391702128	B	70	3.5	5.85575	-0.822212379	0.194701788
37	1	-147.502	174.4788687	4.024150268	B	100	4.5	6.30175	-1.842067737	0.548992074
49	1	-106.219	24.52979727	1.503971756	J	60	5	6.086	-0.244999167	0.630704604
50	1	-7.545	207.1079257	3.593873518	J	76.66666667	3	2.229666667	1.21781984	0.552670049
51	1	90.626	61.54182129	1.172786353	J	72.5	2.5	5.985	1.025889281	0.581347439
52	1	38.174	97.97729888	2.463562753	J	10	4	5.411	-0.498079682	-0.033656202
53	1	54.436	38.08725545	1.836521142	J	10	4.5	14.607	-0.484239078	-0.075998478
55	1	2.461	99.42781507	2.008736168	J	75	4.5	6.34425	-0.385071088	0.833724722

Annexe 3 : Jeu moyenné et regroupé des données initiales utilisé dans le cadre des analyses statistiques (1/2)

Facteurs biotiques		Facteurs édaphiques				Facteurs de gestion					
Recouvrement Int. Herbacées (%)	Recouvrement Extérieur ACP1	pH	C/N	Taux d'Argile (%)	Granulométrie ACP1	Gestion	Spécifique	Fréquence (Nb/an)	Durée (années)	Déchets de Renouées	Déchets
15	0.476846302	5	14.21	0.15	2.02152967	Oui	Oui	4	7	Aucun	Aucun
10	-0.781075588	6.75	46.725	0.2625	-1.736012401	Oui	Non	3	5	Fragments	Aucun
97.5	-0.01013836	5.375	13.969	0.05625	2.333777605	Oui	Non	3	5	Fragments	Aucun
6.67	-1.300867961	6.375	23.789	0.09375	0.166544863	Non	Non	0	0	Aucun	Verts
21.25	-1.518786864	6.625	24.113	0.1125	0.57431792	Non	Non	0	0	Aucun	Verts
28.67	-0.964400809	6.5	27.839	0.15	0.037012238	Non	Non	0	0	Aucun	Verts
14.16666667	-0.635047402	5.625	18.704	0.0375	-0.823646576	Oui	Oui	0.5	3	Fragments	Verts
6.67	0.507168893	6.25	28.013	0.13125	-1.07729794	Non	Non	0	0	Aucun	Aucun
60	0.815445206	7	173.06	0.0375	0.342840979	Oui	Non	1	3	Fragments	Verts
65	1.424597309	6.75	37.133	0.1875	-0.778368925	Oui	Oui	1	3	Fragments	Verts
63.33333333	-0.503885172	6.8333	29.266	0.1	-0.964557293	Oui	Oui	1	3	Fragments	Verts
17.5	1.383386272	4.875	16.817	0.1125	-0.633981096	Oui	Oui	1	3	Aucun	Aucun
26.25	-1.322039447	5.375	17.678	0.15	-0.119893418	Non	Non	0	5	Aucun	Verts
16.875	0.581652594	5.75	15.62	0.16875	-0.764694584	Oui	Oui	2	3	Sur place	Aucun
3.75	1.94975428	5.125	10.359	0.1875	1.289289545	Non	Non	0	3	Aucun	Aucun
4	-0.589871334	7	31.768	0.05625	-0.319983067	Oui	Oui	2	3	Sur place	Aucun
59	-0.17909412	6.75	30.227	0.075	-1.397453439	Non	Non	0	0	Aucun	Verts
5	0.577346319	5.5	22.335	0.15	0.106833567	Non	Non	0	0	Aucun	Autres
10	0.432068621	6.5	15.907	0.24375	-0.532547562	Non	Non	0	0	Aucun	Autres
0	-0.160000189	7.25	26.851	0.28125	0.54520616	Oui	Oui	0	7	Aucun	Verts
50	0.864054014	7.375	25.579	0.20625	1.437054821	Oui	Oui	1	7	Fragments	Autres
5	0.812999489	6	22.351	0.15	-0.699807042	Non	Non	0	0	Aucun	Aucun
7.5	1.036244993	6.125	15.707	0.225	-0.58351309	Oui	Non	2	5	Fragments	Aucun
45	-0.179091017	5.75	14.23	0.1125	0.846714231	Non	Non	0	0	Aucun	Aucun
40	-0.514667004	5.25	13.454	0.15	0.806166857	Oui	Oui	4	7	Sur place	Aucun
2.5	-0.620132522	6.25	15.429	0.28125	-1.15777261	Oui	Oui	4	7	Sur place	Autres

Annexe 3 : Jeu moyenné et regroupé des données initiales utilisé dans le cadre des analyses statistiques (2/2)

TITRE

Analyse diachronique des facteurs biotiques, abiotiques et de gestion liés à l'évolution spatiale des renouées asiatiques sur les infrastructures linéaires de transport

RÉSUMÉ

Ce mémoire – résultat d'un stage de six mois réalisé au sein d'Irstea-Grenoble, dans le cadre du Master Professionnel *Espace Rural et Environnement* de l'Université de Bourgogne – a pour objet l'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'invasion des renouées asiatiques sur les infrastructures linéaires de transport (voies navigables, voies ferrées, réseaux routiers, etc.). Le projet scientifique Dynarp, dans lequel cette étude s'inscrit, a pour objectif de caractériser l'évolution diachronique des massifs de renouées asiatiques, en fonction de leurs traits biologiques et spatiaux, mais également de facteurs biotiques, abiotiques, et de gestion. Afin de tester le protocole d'acquisition de données et de traitement analytique élaboré au cours de cette étude, les mesures réalisées en 2008 et 2014 sur les surfaces des massifs de renouées asiatiques, issus du projet scientifique Infame, ont été utilisées. Au final, 31 sites pour 39 massifs de renouées asiatiques, répartis en Isère à une altitude supérieure à 800 mètres, ont été retenus. Parmi les divers facteurs mesurés au cours de cette étude, les traitements analytiques opérés sur le jeu de données ont permis de mettre en évidence une influence des variables d'étirement spatial de la tache, de l'espèce de renouées identifiée, de la granulométrie du sol, et de dépôt de déchets observés à proximité du site. Ces résultats permettent de valider partiellement la démarche du protocole, tout en proposant des pistes d'amélioration, en vue de son application future dans le cadre du projet Dynarp.

MOTS-CLÉS

Renouées | ILTe | Dynamique | Facteurs | Environnement | Gestion

TITLE

Diachronic analysis of biotic, abiotic factors and management control parameters in the spatial evolution of knotweed invasion on the linear transport infrastructures

SUMMARY

This report – after a 6-month lab and fieldwork internship, at Irstea-Grenoble, for a Professional Master Degree *Land Management and Environment* from the University of Burgundy – is dedicated to the study of spatio-temporal dynamics of invasive knotweed on linear transport infrastructures (waterways, rail and roadways, etc.). Our work was framed within Dynarp scientific project, the aim of which is to find the descriptor-list of spatio-temporal dynamics knotweed patches, in relation to the relevant biological and spatial features, together with biotic and abiotic factors, and management control parameters. In order to test the research design for data acquisition and analytical processing developed for this study, we used area measurements of knotweed patches carried out in 2008 and 2014, available from the Infame research project. As a result in Isère department, 31 sites for 39 knotweed patches, situated at an altitude above 800 meters, were selected. Among the various factors measured in this survey, analytical processing of data-set evidenced an influence of different variables, from the shape stretching of knotweed patches, to knotweed species, granulometry of soil, and waste deposits near the sites. These results enabled to partly validate the research design. They helped pointing to improvements in order to apply this design in the framework of Dynarp project.

KEY-WORDS

Knotweed | LTI | Dynamics | Factors | Environment | Management