



**HAL**  
open science

# Étude des interactions compétitives et allélochimiques entre différentes espèces végétales et la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) pour la restauration des talus ferroviaires

Heloise Chouteau

► **To cite this version:**

Heloise Chouteau. Étude des interactions compétitives et allélochimiques entre différentes espèces végétales et la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) pour la restauration des talus ferroviaires. Biodiversité et Ecologie. 2022. hal-03794833

**HAL Id: hal-03794833**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03794833>**

Submitted on 3 Oct 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**MASTER RISQUES ET ENVIRONNEMENT**  
**Parcours Biodiversité, Santé – Environnement**

# **Étude des interactions compétitives et allélochimiques entre différentes espèces végétales et la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) pour la restauration des talus ferroviaires**

**Rapport de stage de Master 2**

**Héloïse CHOUTEAU**

**Structure d'accueil :**

Laboratoire Agronomie et Environnement

2 avenue de la Forêt de Haye 54500 Vandœuvre-lès-Nancy

**Dates du stage :** du 7 février 2022 au 5 août 2022

**Maîtres de stage :**

Alice MICHELOT-ANTALIK et Alan KERGUNTEUIL

**Tuteur universitaire :**

Séverine PARIS-PALACIOS

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022**





# SOMMAIRE

Remerciements.....	i
Abréviations .....	i
Liste des figures.....	ii
Liste des tableaux.....	ii
1. Introduction .....	1
2. Matériels et méthodes .....	7
2.1. Plantes de restauration .....	7
2.2. Matériels biologiques.....	7
2.2.1. Sol.....	7
2.2.2. Plantes.....	8
2.3. Design expérimental .....	8
2.4. Traits végétatifs .....	9
2.5. Composés allélochimiques .....	11
2.6. Composition du sol.....	11
2.7. Analyses statistiques.....	11
3. Résultats .....	12
3.1. Effets des plantes de restauration sur la renouée du Japon .....	12
3.1.1. Vitesses de croissance .....	12
3.1.2. Traits végétatifs finaux .....	12
3.1.3. Biomasse sèche.....	14
3.1.4. Pigments photosynthétiques finaux.....	15
3.2. Effets de la renouée du Japon sur les plantes de restauration .....	16
3.2.1. Traits végétatifs finaux .....	16
3.2.2. Biomasse sèche.....	17
3.2.3. Pigments photosynthétiques finaux.....	19
3.3. Composés allélochimiques .....	19
4. Discussion.....	20
4.1. Impacts des plantes de restauration sur la renouée du Japon.....	20
4.1.1. Interactions compétitives .....	20
4.1.2. Interactions compétitives et allélochimiques .....	25
4.2. Impacts de la renouée du Japon sur les plantes de restauration.....	26
4.2.1. Interactions compétitives .....	26
4.2.2. Interactions compétitives et allélochimiques .....	27
5. Conclusion et perspectives .....	29
Bibliographie .....	iii
Sitographie .....	xii
Résumé.....	xiii
Abstract .....	xiii



# REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier mes deux encadrants de stage, Alice Michelot-Antalik et Alan Kergunteuil, qui ont été présents à mes côtés tout au long du stage et sans qui rien n'aurait été possible.

Un très grand merci à tous ceux qui sont venus m'aider à la fin de l'expérience, et principalement à David Marcolet et Claude Gallois pour leur aide si précieuse.

Merci également à Noam Pintus pour ces deux mois de rigolade dans les phytotrons, et à toute l'équipe de doctorants pour la bonne ambiance qui règne dans le laboratoire.

Merci à tout le LAE pour leur accueil et la sympathie à laquelle ils ont fait preuve envers les stagiaires.

Et enfin (le meilleur pour la fin), je remercie toute la team D05 pour la bonne humeur quotidienne, les fous rires, les débats et toutes ces discussions agréables. Je garderais un très bon souvenir de nos parties de fléchettes !

# ABRÉVIATIONS

AGISEM : agriculture biodiversité services écosystémiques et évaluation multicritère

EEE : espèce exotique envahissante

EEVE : espèce exotique végétale envahissante

FDR : taux d'erreurs faux positifs (false discovery rate)

IMBE : institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie

INRAE : institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

LAE : laboratoire agronomie et environnement

LIEC : laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux

LSE : laboratoire sol et environnement

M2 : métabolites secondaires

NBI : nitrogen balance index

REEVES : recherche sur les espèces exotiques végétales envahissantes

RU : unité d'absorbance relative (relative unit)

SLA : surface foliaire spécifique (specific leaf area)

SPE : solid phase extraction

SPIGEST : synergie plantes invasives Grand Est



# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Design expérimental .....	9
<b>Figure 2.</b> Disposition des poacées au sein d'un pot.....	9
<b>Figure 3.</b> Hauteur végétative finale des renouées du Japon.....	12
<b>Figure 4.</b> A) Nombre de feuilles final des renouées du Japon, B) Nombre de tiges final des renouées du Japon, C) Diamètre des tiges final des renouées du Japon, D) Surface foliaire finale des renouées du Japon.....	13
<b>Figure 5.</b> Surface foliaire spécifique des renouées du Japon. ....	14
<b>Figure 6.</b> A) Biomasse sèche totale des renouées du Japon, B) Biomasse sèche par compartiment des renouées du Japon. ....	14
<b>Figure 7.</b> A) Contenu surfacique final en chlorophylles des renouées du Japon, B) Teneur finale en flavonols épidermaux des renouées du Japon, C) Teneur finale en anthocyanes épidermaux des renouées du Japon .....	15
<b>Figure 8.</b> Statut azoté des renouées du Japon. ....	16
<b>Figure 9.</b> A) Hauteur végétative finale des plantes de restauration, B) Nombre de feuilles final des plantes de restauration, C) Nombre de tiges final des plantes de restauration, D) Diamètre des tiges final des plantes de restauration.....	16
<b>Figure 10.</b> A) Surface foliaire finale des plantes de restauration, B) Surface foliaire spécifique des plantes de restauration.....	17
<b>Figure 11.</b> Biomasse sèche totale des plantes de restauration. ....	17
<b>Figure 12.</b> Biomasse sèche par compartiment des plantes de restauration .....	18
<b>Figure 13.</b> A) Contenu surfacique final en chlorophylles des plantes de restauration, B) Teneur finale en flavonols épidermaux des plantes de restauration, C) Teneur finale en anthocyanes épidermaux des plantes de restauration, D) Statut azoté final des plantes de restauration.....	19

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.</b> Durée d'exposition selon les différents traitements.....	9
<b>Tableau 2.</b> Vitesses de croissance des renouées.....	12
<b>Tableau 3.</b> Récapitulatif de l'effet des plantes de restauration sur la renouée du Japon et de la renouée du Japon sur les plantes de restauration.....	20



# 1. INTRODUCTION

Les espèces invasives, ou espèces exotiques envahissantes (EEE), sont la cinquième cause mondiale de perte de biodiversité, derrière le changement d'usage des territoires, la surexploitation, le changement climatique et la pollution (IPBES, 2019). En interagissant les uns avec les autres, ces facteurs altèrent le fonctionnement des écosystèmes ce qui se répercute négativement sur les espèces indigènes, augmentant par la même occasion la menace des EEE (Bourchier et Hezewijk, 2010; Bradley *et al.*, 2010). Ces espèces imposant des enjeux techniques, économiques et écologiques, une convention internationale a été établie lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992 pour lutter contre elles. La Convention pour la Diversité Biologique, dans son article 8 (h), engage ses signataires à intervenir prioritairement pour empêcher l'introduction d'espèces exotiques qui menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces, ou le cas échéant, à contrôler ou éradiquer ces espèces (Convention on Biological Diversity, 1992). Les espèces exotiques végétales envahissantes (EEVE) sont définies comme des plantes exotiques introduites, intentionnellement ou non, par l'Homme sur un nouveau territoire et ayant des impacts néfastes sur l'environnement, la biodiversité et potentiellement sur la santé humaine, ainsi que sur son économie (Anses, 2020). En France, une centaine d'espèces végétales sont devenues invasives sur les 700 introduites au total (Anses, 2020). Elles se caractérisent principalement par leur reproduction rapide, leur fort potentiel d'occupation spatiale et l'absence de prédateurs sur leur aire d'invasion (Aguilera *et al.*, 2010; Sukopp et Starfinger, 1995; Urgenson *et al.*, 2009). Ces spécificités leur permettent de s'établir dans des milieux parfois peu favorables et inaccessibles, réduisant ainsi la possibilité de leur gestion.

Parmi ces EEVE, la renouée du Japon (*Reynoutria japonica* Houtt. 1777, *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc. 1846, *Fallopia japonica* Ronse Decr. 1988) occupe une place importante en Amérique du Nord et en Europe, notamment en France. Elle est d'ailleurs inscrite sur la liste des EEE au niveau national et est considérée comme l'une des 100 EEE les plus menaçantes au monde d'après l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Lowe *et al.*, 2007). Originnaire d'Asie de l'Est, cette vivace rhizomateuse, appartenant à la famille des Polygonacées, a été introduite en 1840 aux Pays-Bas comme plante ornementale, puis s'est naturalisée jusqu'à devenir envahissante (Bailey et Conolly, 2000; Djeddour et Shaw, 2010). Désormais, elle occupe des habitats très variés : terrains en friche, lisières forestières, bords des infrastructures de transport, berges des cours d'eau (Beerling *et al.*, 1994; Evette *et al.*, 2018; Rouifed *et al.*, 2014; Tiébré *et al.*, 2008). Elle est également présente sur des zones à climats très variés. Cette large tolérance environnementale démontre son potentiel d'acclimatation *via* sa plasticité phénotypique par différenciation épigénétique.



Elle est capable, à partir d'un unique génotype, de produire des phénotypes différents selon les conditions environnementales (Bossdorf *et al.*, 2008; Douhovnikoff et Dodd, 2015; Pigliucci, 2001; Richards *et al.*, 2012; Thompson *et al.*, 1991). De plus, les tiges, aussi appelées ramets, de la renouée du Japon sont connectées entre elles *via* un réseau souterrain de rhizomes qui leur permet de partager leurs ressources, permettant ainsi aux ramets situés dans des endroits peu favorables de survivre. Ce phénomène a été décrit comme un mécanisme d'intégration par Aguilera *et al.* (2010). Les ramets peuvent atteindre jusqu'à 4 m de hauteur, avec une vitesse de croissance pouvant aller de 4 à 15 cm par jour (Sukopp et Starfinger, 1995; Urgenson *et al.*, 2009) entraînant une homogénéisation du paysage. Le principal mode de reproduction de la renouée est asexué ce qui lui permet de former des massifs clonaux d'une grande densité, chaque plant développant un réseau souterrain pouvant atteindre 2 m de profondeur et 20 m de diamètre (Beerling *et al.*, 1994). La biomasse souterraine peut représenter jusqu'à 2/3 de la biomasse totale (Evette *et al.*, 2018). De plus, ce type de multiplication végétative lui offre une grande capacité de dissémination à partir d'un fragment de rhizome ou de tige. Des études ont ainsi montré qu'un débris de renouée d'un centimètre pouvait donner une plante viable (De Waal, 2001; Sásik et Jnr, 2006). Ainsi, en Europe et aux États-Unis, la renouée du Japon est présente sous la forme exceptionnelle d'un unique clone mâle stérile, lui procurant une faible variabilité génétique (Evette *et al.*, 2018; Hollingsworth et Bailey, 2000). Cette EEVE peut également se reproduire, plus rarement, de manière sexuée par l'intermédiaire de ses akènes qui lui permettent une dispersion par le vent et par l'eau à grande échelle (Lamberti-Raverot *et al.*, 2017; Tiébré *et al.*, 2008). Chaque tige porte environ 200 000 graines ayant un taux de germination de 50 à 80 % (Engler *et al.*, 2011). Ce mode de reproduction favorise par ailleurs les phénomènes d'hybridation avec d'autres espèces végétales, notamment la renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis*). Cette hybridation donne naissance à une troisième espèce, la renouée de Bohême (*Reynoutria x bohémica*) (Aguilera *et al.*, 2010; Dommanget *et al.*, 2015). Le caractère invasif de la renouée du Japon s'explique également par la capacité de ses rhizomes à stocker de l'azote. Aguilera *et al.* (2010) ont mis en évidence que ces organes souterrains étaient capables de séquestrer une grande quantité d'azote, le rendant ainsi moins biodisponible pour les autres plantes. D'autre part, comme beaucoup d'espèces végétales, la renouée du Japon produit des composés allélochimiques, tels que des stilbènes, des quinones et des polyphénols (Kato-Noguchi, 2022), soit par exsudation racinaire (Callaway *et al.*, 2008), soit lors de la dégradation de la litière (Inderjit *et al.*, 2011; Lavoie, 2017). L'allélochimie est définie comme tout « effet positif ou négatif, direct ou indirect, d'un végétal (micro-organismes inclus) sur un autre par le biais de composés chimiques libérés dans l'environnement » (Rice, 1984).



Dans le cas de la renouée du Japon, ces métabolites secondaires allélochimiques vont inhiber la croissance et la germination des espèces végétales indigènes (Dommanget *et al.*, 2014; P. Fan *et al.*, 2010; Kato-Noguchi, 2022). Ils peuvent aussi avoir un impact négatif sur les populations microbiennes du sol, telles que des herbivores, des fongivores et des macroarthropodes, essentiellement *via* la libération de composés allélochimiques phénoliques lors de la dégradation de la litière (Abgrall *et al.*, 2018; Gerber *et al.*, 2008; Kappes *et al.*, 2007; Skubala et Mierny, 2009; Topp *et al.*, 2008). Cette faculté allélochimique participe majoritairement au succès d'invasion de la renouée du Japon ce qui pourrait s'expliquer par l'hypothèse des armes nouvelles (novel weapons hypothesis). Celle-ci suggère que les composés allélochimiques sécrétés par les EEVE seraient toxiques uniquement pour les plantes indigènes qui n'auraient pas co-évolué avec l'espèce invasive et qui n'auraient pas développé de système de défense contre ces composés (Callaway et Ridenour, 2004; Kato-Noguchi, 2022).

Plusieurs moyens de gestion de la renouée du Japon existent tels que la lutte chimique, la lutte mécanique et la lutte biologique. La lutte chimique privilégie l'utilisation de produits phytosanitaires comme les herbicides, elle n'est que très peu voire plus utilisée du fait des restrictions qui entourent ces produits. Par conséquent, des techniques alternatives se sont développées telles que la lutte mécanique. Cette dernière consiste à épuiser les rhizomes en imposant aux plantes un stress physique par l'intermédiaire d'un bâchage, d'un décaissement ou d'une fauche répétée (Mossé *et al.*, 2017). Toutefois, ce moyen de lutte demande une grande persévérance pour obtenir des résultats. Enfin, la lutte biologique utilise des organismes vivants tels que des végétaux, des insectes ou des mammifères. Elle s'inscrit dans un contexte de génie écologique en favorisant la résilience des écosystèmes (Dommanget *et al.*, 2015). Elle a pour avantage de ne pas détériorer le milieu et d'être favorable à la biodiversité en offrant de nouvelles niches écologiques, notamment aux pollinisateurs et aux oiseaux (Laviolette, 2017). Parmi ces techniques biologiques, l'éco-pâturage par des caprins a montré son efficacité pour lutter contre la renouée du Japon. À force d'une défoliation répétée par les caprins, les réserves rhizomiales se retrouvent significativement épuisées ce qui entraîne une réduction du pourcentage de recouvrement végétal, de la hauteur des tiges et de la biomasse (Bozec *et al.*, 2019; Haury *et al.*, 2012; Lerch *et al.*, 2016). D'autres études, quant à elles, s'inspirent de l'enemy release hypothesis qui suggère que le succès d'invasion est dû à l'absence de prédateurs naturels (Keane et Crawley, 2002) et en introduisent. Ces prédateurs peuvent être des insectes suceurs de sève, tels que le psylle (*Aphalara itadori*), qui vont réduire spécifiquement la production végétale des plants de renouée (Djeddour et Shaw, 2010; Dutartre, 2021).



Parmi les moyens de lutte biologique, la gestion de la renouée du Japon peut aussi se traduire par la mise en place de méthodes de restauration écologique avec des couverts végétaux. D'après la Society for Ecological Restoration International (2004), « la restauration écologique est une action intentionnelle qui initie ou accélère l'autoréparation d'un écosystème [qui a été dégradé, endommagé ou détruit] en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable ». Cette technique se base souvent sur la compétition entre plantes qui permet de réduire de 43 % les performances (Lekberg *et al.*, 2018), et sur le concept de similarité limitante qui prédit que des espèces occupant les mêmes niches écologiques et utilisant les mêmes ressources vont rentrer en compétition et il leur sera difficile de coexister (Loreau, 2000; Macarthur et Levins, 1967; Shea et Chesson, 2002). Cependant, aucune méthode de restauration ne se base sur l'allélochimie qui a pourtant un rôle majeur dans le développement de la renouée et permettrait pourtant de réduire de 25 % ses performances (Zhang *et al.*, 2021). Ainsi, le choix des espèces de restauration doit s'inspirer de ce principe et repose sur différentes propriétés. Elles doivent être adaptées au milieu d'implantation (vis-à-vis de la lumière, des températures, de la pluviométrie, du pH, de la texture du sol...), elles doivent être autochtones afin d'éviter tout risque d'invasion par la suite, elles doivent être pérennes sans pour autant être envahissantes, et non toxiques pour la santé humaine et l'environnement (Michelot-Antalik et Tehrani, 2017). Ainsi, pour limiter l'expansion de la renouée du Japon, des études ont utilisé des arbres comme le saule (*Salix* sp.) (Delbart *et al.*, 2012; Dommanget *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2010) ou des plantes grimpantes telles que la clématite (*Clematis* sp.) (Laviolette, 2017; Schnitzler et Muller, 1998), comme végétaux de restauration de par leurs caractéristiques allélochimiques et compétitives pour la lumière, l'eau ou les nutriments. La lumière s'est notamment révélée être un paramètre clé au succès d'invasion de la renouée du Japon et d'autres EEVE comme la baldingère faux-roseau (*Phalaris arundinacea*) (Dommanget *et al.*, 2013; Perry et Galatowitsch, 2006). Malheureusement, encore très peu de ces techniques biologiques de gestion sont étudiées de manière scientifique, elles restent développées au niveau local par les gestionnaires (Collard *et al.*, 2018) et ne sont pas standardisées au vu du faible nombre de retours d'expériences. Il existe donc peu de données sur l'efficacité réelle des plantes de restauration. Elles sont pourtant innovantes et sont le seul moyen de contrôle durable et viable (Djeddour et Shaw, 2010). Elles représentent un enjeu majeur face à la dispersion massive de la renouée du Japon.

Dans ce contexte, la SNCF a lancé en 2019, et pour une durée de 4 ans, un projet de lutte contre cinq EEVE en Champagne-Ardenne et en Provence-Alpes-Côte-d'Azur, dont la renouée du Japon. Le projet REEVES (Recherche sur les Espèces Exotiques Végétales Envahissantes) s'inscrit dans une initiative de restauration écologique des talus ferroviaires en installant des plantes de restauration.



Ce programme a pour objectifs de mieux appréhender les mécanismes de développement des espèces invasives, dont la renouée du Japon, sur les infrastructures de transport et d'identifier un moyen de lutte efficace basé sur la restauration écologique (SNCF, 2021). Ce programme de recherche a vu le jour dans le but de trouver une alternative à l'utilisation du glyphosate suite à son interdiction en 2017 pour l'entretien des voies ferrées. Cette gestion a également pour intention de réduire le coût d'entretien que demandent les tâches de renouée *via* leur fauche régulière (entre 5 et 8 fauches annuelles sont nécessaires pour la renouée du Japon, contre 2 fauches pour les autres espèces végétales (Biaunier *et al.*, 2019)), mais également de garantir une sécurité pour les utilisateurs des voies ferrées. En effet, cette espèce invasive entraîne des risques de disjonction de la caténaire électrique, une mauvaise visibilité des abords des voies, notamment en dissimulant la signalisation ferroviaire, elle provoque également une mauvaise tenue des talus et peut favoriser la submersion des rails en jouant un rôle obstructif face à l'évacuation des eaux de pluie (Biaunier *et al.*, 2019). Pour mener à bien ce projet, une équipe de 15 chercheurs a été sélectionnée et est répartie dans quatre laboratoires : le Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE), le Laboratoire Sol et Environnement (LSE), le Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC) et l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie (IMBE). Chacune de ces unités de recherche travaille sur une thématique bien précise se répartissant sur 2 axes principaux : l'utilisation de plantes de restauration ou l'utilisation de micro-organismes pour lutter contre les cinq EEEV sélectionnées. De son côté, la SNCF réalise des essais *in situ* sur les talus ferroviaires. Seize stations expérimentales ont déjà été installées en Champagne-Ardenne – à Deville, Nouzonville et Charleville (département des Ardennes) et à Germaine et Ay-en-Champagne (département de la Marne) – et 11 stations en Provence-Alpes-Côte-d'Azur – à Morières-lès-Avignons et Jonquerettes (département du Vaucluse) et à Agay (département du Var). Au total, 7230 végétaux de restauration ont été implantés sur ces sites expérimentaux (SNCF, 2021).

Le LAE est une unité mixte de recherche (UMR 1121) sous la tutelle de l'Université de Lorraine et de l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE). Il est réparti sur deux sites à Vandœuvre-lès-Nancy et à Colmar et regroupe une cinquantaine de personnels. Il est composé de deux équipes, AGISEM (agriculture biodiversité services écosystémiques et évaluation multicritère) et M2 (métabolites secondaires), qui étudient les interactions entre les plantes et leur environnement. AGISEM est spécialisée dans l'étude des impacts des pratiques agricoles sur la biodiversité et les services écosystémiques afin d'accompagner au mieux la transition agro-écologique. De son côté, M2 se concentre sur les voies de biosynthèse impliquées dans la défense des végétaux et identifie les métabolites secondaires associés.



De par ses thématiques de recherche et la qualification de son équipe, le LAE a été contacté pour contribuer au projet REEVES de la SNCF. Ainsi, trois chercheurs du LAE – Alice Michelot-Antalik, Alan Kergunteuil et Christophe Robin – travaillent sur ce programme, avec la collaboration de techniciens (David Marcolet et Claude Gallois) et de stagiaires, et plus spécifiquement sur l'utilisation de plantes de restauration pour lutter contre la renouée du Japon. L'année précédente, un cortège de trois plantes a été sélectionné afin de tester leur efficacité face à la renouée : le dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*), le trèfle violet (*Trifolium pratense*) et l'épine-vinette (*Berberis vulgaris*).

Durant ce stage de deuxième année de master, deux nouvelles plantes de restauration et une communauté végétale de poacées ont été choisies afin d'évaluer leurs caractéristiques compétitives et allélochimiques dans ce contexte de lutte écologique contre la renouée du Japon : le sureau de montagne (*Sambucus racemosa*) et la consoude Bocking 14 (*Symphytum x uplandicum*), ainsi que le mélange de poacées suivant : dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*), fétuque élevée (*Festuca arundinacea*) et fromental (*Arrhenatherum elatius*). Ces espèces ont été sélectionnées sur la base d'expérimentations préalables menées par l'association SPIGEST (Synergie Plantes Invasives Grand Est) auxquelles le LAE a contribué.

La problématique est de trouver la ou les plantes de restauration avec l'efficacité la plus importante pour lutter contre la renouée du Japon, et d'étudier comment les caractéristiques fonctionnelles des plantes de restauration influencent les interactions compétitives et allélochimiques avec les plantes invasives. Pour ce faire, les objectifs sont (i) d'étudier quels sont les effets des plantes de restauration sur la croissance de la renouée, (ii) d'étudier quels sont les effets de la renouée sur la croissance des plantes de restauration, (iii) d'identifier quels sont les composés allélochimiques émis par la renouée du Japon et les plantes de restauration.

Au vu des données de la littérature, des hypothèses préliminaires peuvent être émises telles que (i) une réduction plus importante de la croissance de la renouée du Japon lors d'une compétition pour la lumière du fait que ce paramètre soit clé pour le développement de cette espèce invasive (Dommanget *et al.*, 2013; Perry et Galatowitsch, 2006), (ii) un possible effet de la renouée sur les plantes de restauration grâce à son caractère invasif qui lui permet de réduire la croissance des plantes autochtones (Haury *et al.*, 2012; Kato-Noguchi, 2022), (iii) la sécrétion de stilbènes, quinones et polyphénols par la renouée du Japon (Kato-Noguchi, 2022; Lavoie, 2017; W. Peng *et al.*, 2013). Concernant les composés allélochimiques pouvant être émis par les plantes de restauration sélectionnées, notre étude s'avère exploratoire et préliminaire, aucune donnée n'étant ressortie des recherches bibliographiques.



## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1. Plantes de restauration

Dans cette expérience, différentes plantes de restauration ont été sélectionnées pour leurs caractéristiques compétitives ou allélochimiques.

La consoude Bocking 14 (*Symphytum x uplandicum*) est une espèce vivace herbacée rhizomateuse qui est issue du croisement entre la consoude officinale (*Symphytum officinale*) et la consoude rugueuse (*Symphytum asperum*). Cet hybride stérile et non invasif est apparu intéressant de par sa résistance à la fauche répétée (Tehranchi *et al.*, 2017) et de par son caractère compétitif pour la lumière. En effet, ce paramètre environnemental est un facteur clé dans le développement de la renouée du Japon (Dommanget *et al.*, 2013; Perry et Galatowitsch, 2006). La consoude faisant de larges feuilles et offrant une couverture végétale importante, elle permet d'apporter un ombrage qui se veut défavorable pour la renouée. De plus, cette espèce de restauration possède des rhizomes profonds qui permettent d'ajouter une compétition édaphique.

Concernant le mélange de poacées, il est composé de trois espèces : fétuque élevée (*Festuca arundinacea*), dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*) et fromental (*Arrhenatherum elatius*). Ces trois espèces pérennes ont une bonne résistance à la fauche et s'adaptent à divers types de sol (Tehranchi *et al.*, 2017). Ce cortège herbacé entraîne une compétition édaphique pour les nutriments et l'eau grâce à son important système racinaire de surface, et contribue à une couverture végétale importante. Par ailleurs, étudier ce mélange de poacées apporte un réalisme environnemental non négligeable du fait que celles-ci ne sont pas présentes isolément *in situ* mais bien souvent sous forme de communauté végétale au sein d'une prairie. Enfin, le sureau de montagne (*Sambucus racemosa*) est une espèce arbustive avec un enracinement profond. Il a été choisi pour son potentiel allélochimique (Del Moral et Cates, 1971).

### 2.2. Matériels biologiques

#### 2.2.1. Sol

Le sol utilisé pour les expérimentations a été prélevé sur un site ferroviaire témoin sans renouées, situé à Deville dans les Ardennes. Ce site fait partie intégrante des stations expérimentales *in situ* mises en place par la SNCF dans le Grand Est. Ce milieu, de nature argilo-limoneuse, est considéré comme matériel biologique du fait qu'aucun traitement particulier n'a été appliqué, il comprend donc tous les micro-organismes naturellement présents, ainsi que la flore microbienne.



Après sa réception, il a été mis à sécher à l'air libre durant deux semaines, avant d'être tamisé à 5 mm. Cette taille de tamisage permet d'obtenir un sol composé de graviers de petite taille qui permettent une aération et un meilleur drainage du sol.

### **2.2.2. Plantes**

Les graines de poacées proviennent d'un stock de manipulations antérieures. Des tests de germination ont été réalisés préalablement aux expériences pour s'assurer de la viabilité des graines. Elles ont été mises à germer dans un fond de terreau de 2-3 cm. Après trois semaines, elles ont été repiquées dans leurs pots respectifs (les 4 et 5 avril 2022).

Les rhizomes de consoude ont été prélevés sur un site expérimental à Laxou, près de Nancy (54). Ils ont été stockés dans de la terre du même site, en chambre froide à 5°C. Ils ont par la suite été standardisés à 7 cm de longueur et à un diamètre compris entre 1.2 et 2 cm, puis mis en jauge, avant d'être implantés dans leurs pots à une profondeur de 3 cm (le 5 avril 2022).

Les sureaux ont été obtenus auprès d'un pépiniériste. Leurs parties aériennes ont été standardisées au deuxième nœud visible de la tige pour ne pas qu'ils soient trop hauts. Leur hauteur standardisée s'étalait de 11.7 à 22.4 cm. Les parties racinaires, elles, ont été diminuées selon la taille des pots. Ils ont été mis en pot le 6 avril 2022.

Les plantes de restauration sont restées en phase d'acclimatation durant deux semaines avant l'implantation de la renouée pour leur permettre de s'approprier le milieu et d'être vigoureuses. Cette phase d'acclimatation se justifie par le fait qu'*in situ* il faut généralement attendre la deuxième année pour que des effets apparaissent, le temps que les végétaux se développent suffisamment pour lutter contre la renouée (Dommanget *et al.*, 2015).

Les rhizomes de renouée ont également été prélevés *in situ*, sur la station expérimentale de Deville dans les Ardennes. Ils ont été stockés dans les mêmes conditions que les rhizomes de consoude, dans de la terre du site de Deville et en chambre froide à 5°C, jusqu'à leur implantation dans les pots. Pour une homogénéité des résultats, ils ont été standardisés à 7 cm de longueur et à un diamètre compris entre 1.2 et 2 cm. Ils ont ensuite été placés à 3 cm de profondeur dans leurs pots respectifs (le 20 avril 2022).

### **2.3. Design expérimental**

Au total, 160 pots ont été utilisés pour les expérimentations. Chaque pot a été rempli avec 6 L de terre tamisée à 5 mm, soit  $6.730 \pm 0.006$  kg de sol. Au préalable, un voile d'hivernage a été placé au fond des pots pour retenir le sol.

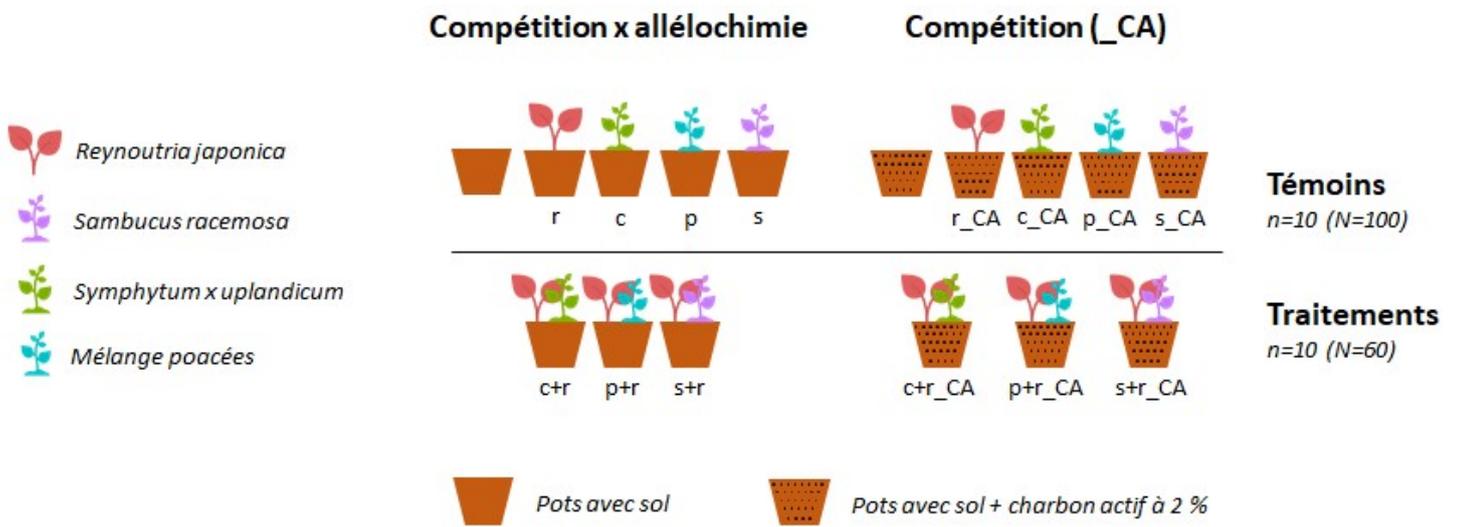


Figure 1. Design expérimental.

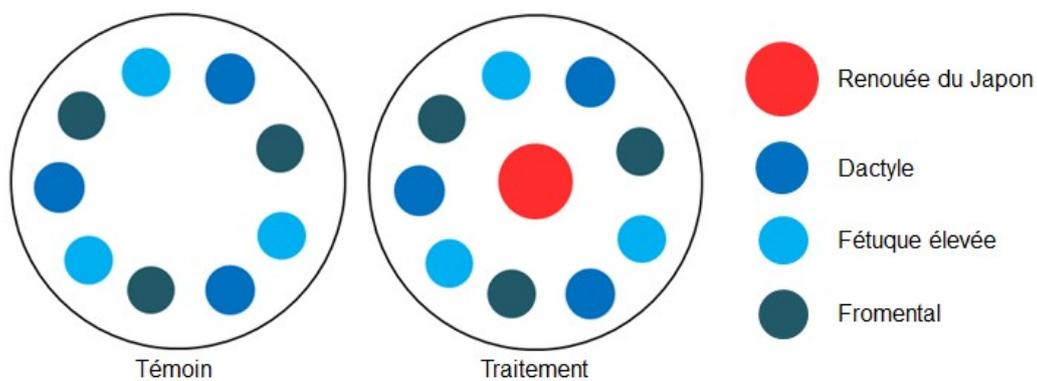


Figure 2. Disposition des poacées au sein d'un pot.

Tableau 1. Durée d'exposition selon les différents traitements.

Traitements	Espèces	Charbon actif	Durée d'exposition (jours)
r	renouée	non	76
r_CA	renouée	oui	77
c	consoude	non	70
c_CA	consoude	oui	76
c+r	consoude + renouée	non	70
c+r_CA	consoude + renouée	oui	75
p	poacées	non	54
p_CA	poacées	oui	61
p+r	poacées + renouée	non	55
p+r_CA	poacées + renouée	oui	62
s	sureau	non	68
s_CA	sureau	oui	68
s+r	sureau + renouée	non	68
s+r_CA	sureau + renouée	oui	69

Deux modalités expérimentales ont été étudiées afin d'analyser séparément les interactions compétitives et les interactions compétitives couplées aux interactions allélochimiques. Pour la modalité « compétition », du charbon actif a été ajouté au milieu à une concentration de 20 mL/L, soit 2 % (Murrell *et al.*, 2011; Parepa *et al.*, 2014; Parepa et Bossdorf, 2016). Ce composé va absorber les composés allélochimiques émis par les plantes et ainsi neutraliser les interactions allélochimiques. Huit traitements ont été étudiés par modalité (Figure 1). Chacune des plantes a été cultivée individuellement, puis des associations ont été réalisées entre la renouée du Japon et les différentes plantes de restauration. Les poacées ont été disposées selon un schéma unique dans tous les pots des traitements « poacées » : une alternance féтуque élevée / dactyle / fromental a été répétée trois fois (Figure 2). Trois individus de chaque espèce sont répertoriés par pot, soit neuf poacées au total. Chaque traitement a été réalisé en 10 réplicats. Les 160 pots ont été dispersés entre deux phytotrons, chaque traitement y étant présent de manière équitable et homogène. Pour contrer tout biais lié à la position des pots dans les phytotrons, une rotation hebdomadaire a été réalisée. Ces enceintes isolées respectaient les conditions suivantes : 23°C le jour et 18°C la nuit, 70 % d'hygrométrie, 50 % de ventilation, 10 % de luminosité, une alternance de 16 h de jour et 8 h de nuit. L'intensité lumineuse perçue par les plantes était comprise entre 200 et 250  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

La capacité au champ a été calculée afin de définir une quantité d'arrosage adéquate. Pour ce faire, 6 L de sol ont été placés à l'étuve à 105°C pendant 48 h pour retirer la totalité de l'humidité présente et obtenir le poids sec. Après ce séjour à l'étuve, le milieu a été saturé en eau, puis laissé à percoler durant 48 h. Il a ensuite été repesté pour avoir son poids saturé. La capacité au champ correspond au poids saturé en eau auquel est soustrait le poids sec, le tout divisé par le poids sec. Elle est égale à 34 % pour le sol utilisé dans cette étude. L'arrosage a évolué au cours de l'expérience, selon les besoins des végétaux. Il est passé progressivement de 70 % à 74 %, 79 % et enfin 84 % de la capacité au champ. Il a été effectué deux fois par semaine avec de l'eau osmosée.

Les renouées du Japon ont été exposées aux plantes de restauration de 55 à 77 jours selon les traitements, avant que chacun des végétaux soit collecté (Tableau 1). Cet étalement s'explique par la quantité de pots et la charge de travail effectuée. Néanmoins, les plantes ayant atteint un plateau dans leur croissance, celui-ci n'entraîne pas de biais important.

#### **2.4. Traits végétatifs**

La hauteur végétative, le nombre de feuilles et de tiges, le diamètre des tiges, la surface foliaire, les pigments photosynthétiques (chlorophylles, anthocyanes, flavonols) et le statut azoté NBI (nitrogen balance index) ont été mesurés de manière hebdomadaire et ce sur tous les individus, à l'exception des poacées où seul un individu de chacune des trois espèces a été suivi.



La hauteur végétative a été mesurée avec un mètre de menuisier, au millimètre près. Elle correspond à la hauteur étirée maximale, du sol à la partie végétative la plus haute.

Le nombre de feuilles correspond à la quantité de feuilles saines et viables. Les feuilles en sénescence avancée et celles encore dans leur gaine n'ont pas été prises en compte.

Le nombre de tiges a été compté sur les poacées, les sureaux et les renouées ; les consoudes étant restées au stade rosette.

Le diamètre des tiges de sureau et de renouée a été mesuré toujours au même endroit, ce dernier ayant été repéré dès le début grâce à une marque : au niveau du premier nœud pour les sureaux et du deuxième pour les renouées. Il a été déterminé à l'aide d'un pied à coulisse au centième de millimètre.

La surface foliaire a été évaluée grâce à un planimètre en non destructif. Deux mesures sur la feuille mature la plus haute (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013) ont été effectuées avec une précision au centième de cm<sup>2</sup>.

Les pigments photosynthétiques, ainsi que le NBI, ont été mesurés à l'aide d'une sonde DUALEX®. Deux mesures par feuille chez chaque individu suivi ont été réalisées sur la face supérieure. Un pourcentage de recouvrement a dû être calculé lorsque les feuilles ne recouvraient pas le capteur Dualex® d'au moins 75 %, pourcentage à partir duquel l'erreur de précision a été considérée négligeable. Dans ce cas-là, une correction a été appliquée aux valeurs obtenues avec le Dualex®, celles-ci ayant été multipliées par le pourcentage de recouvrement correspondant. Cet appareil permet d'avoir le contenu surfacique en chlorophylles ( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), l'indice en anthocyanes épidermiques (unité d'absorbance relative, RU), l'indice en flavonols épidermiques (RU) et le NBI qui correspond au ratio chlorophylles / flavonols.

À la fin des expériences, la biomasse sèche de chaque compartiment végétal a été déterminée. Pour ce faire, les tiges, les feuilles, les pétioles, les racines et les rhizomes ont été séparés et nettoyés avant d'être mis à sécher à l'étuve à 70°C pendant au minimum 72 h. Leur biomasse sèche a ensuite été pesée à l'aide d'une balance de précision au milliègne de gramme. À partir de ces données, le root:shoot ratio a été calculé afin d'identifier les priorités d'allocation en carbone.

Afin d'évaluer la surface foliaire spécifique (SLA), la surface foliaire finale a été mesurée sur les deux feuilles matures les plus hautes (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013) chez chaque individu suivi, grâce à un planimètre en mode destructif. Ces deux mêmes feuilles ont été mises à l'étuve à 70°C pendant au moins 72 h afin d'avoir leur biomasse sèche. La SLA est ensuite obtenue par le rapport de la surface foliaire de ces feuilles sur leur biomasse sèche.



## **2.5. Composés allélochimiques**

Deux collectes de composés allélochimiques ont été réalisées au cours de l'étude chez les pots de la modalité « compétition x allélochimie » : une au début de l'exposition des renouées aux plantes de restauration et une en fin, après 48 jours. Cette procédure consiste à ajouter 500 mL d'eau osmosée à chacun des pots de la modalité étudiée, puis à laisser diffuser pendant 10 minutes afin d'avoir une meilleure répartition des composés allélochimiques au sein du milieu. Ensuite, 250 mL de lessivats ont été collectés, après saturation en eau et percolation de l'excédent. Dans cette expérience, seule la phase allélochimique mobile et donc directement biodisponible a été prise en compte et étudiée. Ces échantillons ont ensuite été passés en centrifugation pendant 5 minutes à 4000 tours.min<sup>-1</sup> et 20°C pour évacuer tout dépôt de matière organique. Le surnageant a ensuite été transféré sur une colonne SPE (solid phase extraction) composée d'une phase solide de type C18 (Chromabond® composée d'une chaîne de 18 carbones). Des tests préalables ont été effectués pour définir la phase solide la plus appropriée entre la C18 et la HLB (composée de groupements phényles). La colonne SPE va retenir les composés allélochimiques sur la phase C18. Elle a ensuite été lavée avec du méthanol pour récupérer les composés. Ce nouvel échantillon de 3 mL a ensuite été évaporé à sec sous flux d'azote puis repris dans 250 µL de méthanol:eau (80:20). Ceci a permis d'obtenir un dernier échantillon qui a été injecté sur UHPLC-MS (chromatographie liquide de haute performance couplée à un spectromètre de masse) composée d'un détecteur UV-visible, dans le but d'identifier et de quantifier les différents composés allélochimiques selon leur composition atomique et celle de leurs fragments. Par la suite, les résultats seront comparés avec des banques de données.

## **2.6. Composition du sol**

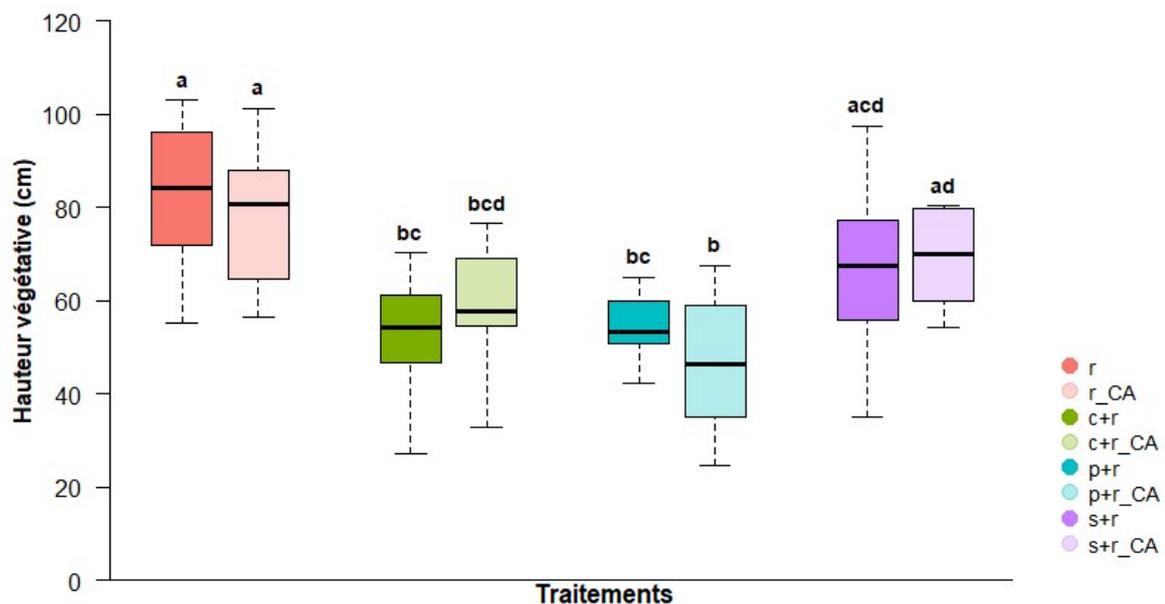
En fin d'expérience, des prélèvements de sol dans chacun des 160 pots ont été réalisés afin d'analyser ultérieurement la composition générale (pH, matière organique, azote total, rapport C/N, calcaire total, phosphore assimilable, bases échangeables, capacité d'échange cationique), la granulométrie et les reliquats azotés (azote nitrique et azote ammoniacal). Ces résultats seront disponibles à l'issue du stage.

## **2.7. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été effectuées sur le logiciel RStudio version 4.0.2. Les packages « multcompView » et « Publish » ont été utilisés. Afin de comparer chacun des traits végétatifs entre les différents traitements, des tests de comparaison de moyenne ont été réalisés, avec un seuil de significativité à 5 %.

**Tableau 2.** Vitesses de croissance des renouées exposées à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau (tests statistiques : Kruskal-Wallis et Wilcoxon)

Traitements	Vitesse moyenne de croissance (cm.j <sup>-1</sup> )	p-value (par rapport à r)	Traitements	Vitesse moyenne de croissance (cm.j <sup>-1</sup> )	p-value (par rapport à r_CA)
r	2.45	-	r_CA	2.14	-
c+r	1.56	1.396.10 <sup>-10</sup>	c+r_CA	1.59	3.121.10 <sup>-4</sup>
p+r	1.61	8.865.10 <sup>-13</sup>	p+r_CA	1.27	1.313.10 <sup>-9</sup>
s+r	1.83	6.083.10 <sup>-3</sup>	s+r_CA	1.95	0.179



**Figure 3.** Hauteur végétative finale des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

Des tests préalables de Shapiro pour vérifier la normalité des résidus et de Bartlett pour l'homoscédasticité des variances ont été effectués pour vérifier les conditions d'application des tests paramétriques. Comme les données ne répondaient pas à ces conditions d'application, des tests de Kruskal-Wallis ont été effectués dans le but de mettre en évidence la présence de différences significatives entre les moyennes de chaque trait végétatif selon les traitements. Des tests post-hoc de Wilcoxon pour identifier les différences entre traitements deux à deux ont été réalisés. Une correction FDR (false discovery rate) a été appliquée aux tests de Wilcoxon dans le but d'éviter les erreurs de type faux positifs et ainsi augmenter la puissance statistique de ces tests. Un test Z a été effectué afin de déterminer l'effet des traitements sur la vitesse de croissance en hauteur des renouées.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Effets des plantes de restauration sur la renouée du Japon

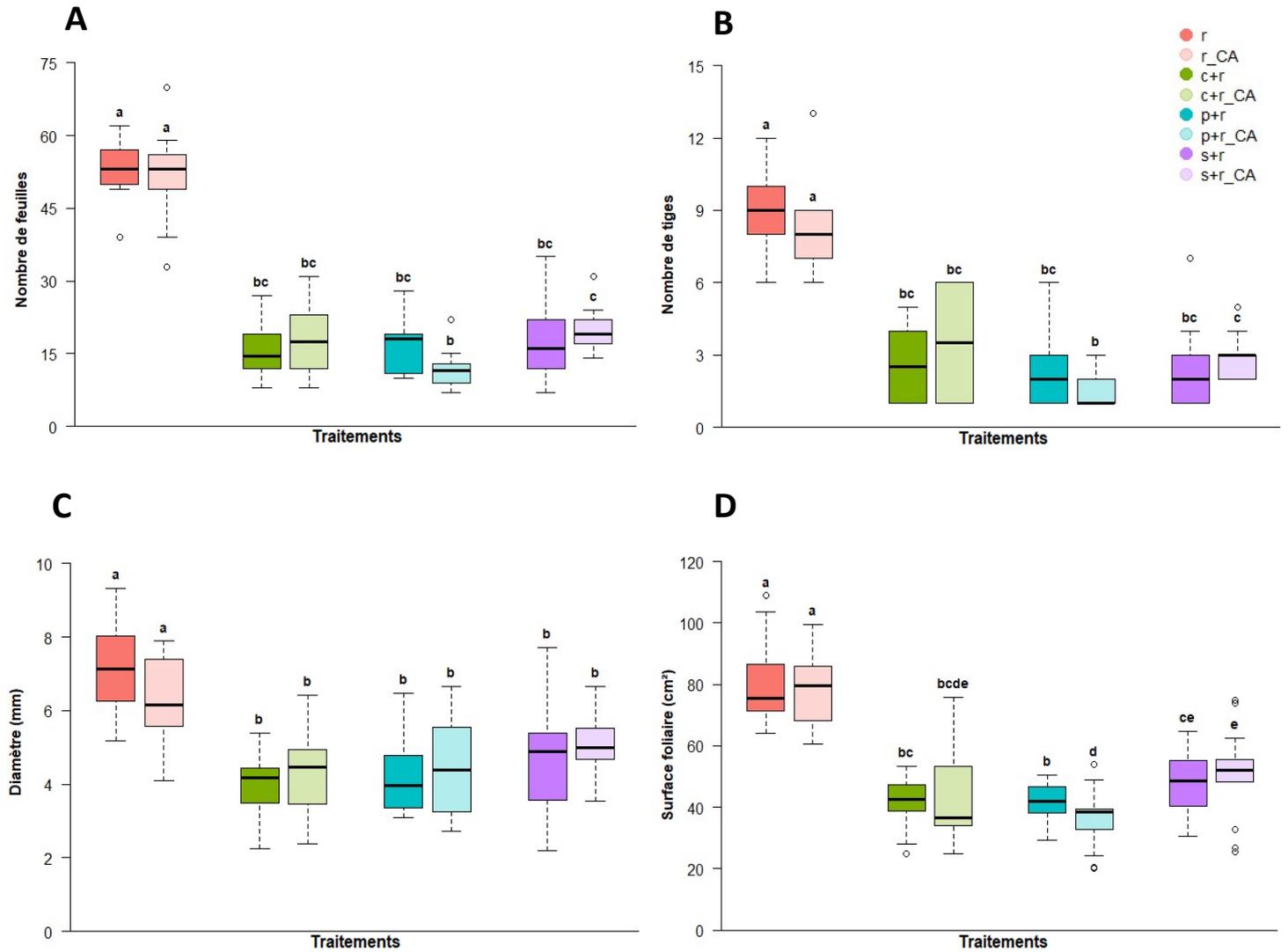
#### 3.1.1. Vitesses de croissance

Les renouées ont des vitesses de croissance qui varient entre 1.27 et 2.45 cm.j<sup>-1</sup> (Tableau 2). Lorsqu'elles sont exposées à des plantes de restauration, elles ont une vitesse de croissance significativement réduites. Les poacées entraînent l'effet le plus important avec une baisse de 36 % ( $p=8.865.10^{-13}$ ), suivies de la consoude (-34 %,  $p=1.396.10^{-10}$ ) et enfin du sureau (-25 %,  $p=6.083.10^{-3}$ ). En présence de charbon actif, les résultats sont similaires, à l'exception du sureau qui n'entraîne pas de diminution significative de la vitesse de croissance des renouées ( $p=0.179$ ).

#### 3.1.2. Traits végétatifs finaux

##### 3.1.2.a. Hauteur végétative

En présence de consoude et de poacées, la hauteur végétative des renouées est réduite d'environ 1/3 comparé aux renouées témoins que ce soit sans charbon actif (respectivement, -35 % ( $p=0.013$ ) et -34 % ( $p=0.012$ )) ou avec (respectivement, -26 % ( $p=0.026$ ) et -42 % ( $p=0.012$ )) (Figure 3). En revanche, aucune différence significative n'est mise en évidence entre les renouées en présence de sureau et les renouées témoins, ni entre les modalités avec et sans charbon actif pour un même traitement.



**Figure 4.** Traits végétatifs finaux des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans ( $n=10$ ). A) Nombre de feuilles, B) Nombre de tiges, C) Diamètre des tiges, D) Surface foliaire. *r* : renouées seules, *c+r* : renouées exposées à la consoude, *p+r* : renouées exposées aux poacées, *s+r* : renouées exposées au sureau. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

### 3.1.2.b. Nombre de feuilles

Une réduction significative du nombre de feuilles est observée entre les renouées témoins et les renouées exposées à une plante de restauration ( $p=7.120.10^{-4}$ ) (Figure 4A). Ce trait végétatif est diminué d'un facteur 3.5, passant de 53 à 17 feuilles (soit -68 %). Le nombre de feuilles ne diffère pas entre les modalités avec et sans charbon actif. Toutefois, une différence significative est constatée entre les traitements « p+r\_CA » et « s+r\_CA ». Le nombre de feuilles étant moindre lors d'une exposition aux poacées par rapport au sureau (respectivement, 14 et 19 feuilles,  $p=5.308.10^{-3}$ ). Une tendance est également observée entre « c+r\_CA » et « p+r\_CA », le traitement aux poacées tendant à avoir un effet plus important sur le nombre de feuilles de renouée par rapport à la consoude (respectivement, 14 et 17 feuilles,  $p=0.098$ ).

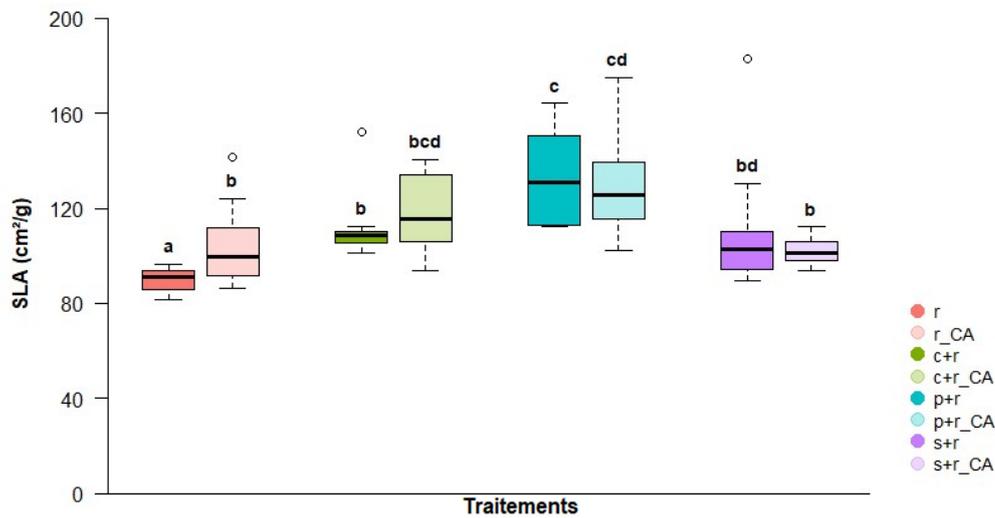
### 3.1.2.c. Nombre de tiges et diamètre

Le même constat que pour le nombre de feuilles est observé avec le nombre de tiges, celui-ci étant réduit significativement avec la présence de plantes de restauration, passant en moyenne de 9 à 3 tiges ( $p=9.261.10^{-4}$ ) (Figure 4B). De plus, le traitement « p+r\_CA » permet une réduction davantage significative du nombre de tiges par rapport à « s+r\_CA » (respectivement, 1 contre 3 tiges,  $p=6.255.10^{-3}$ ). Ce même traitement « p+r\_CA » tend également à un effet plus prononcé sur le nombre de tiges des renouées par rapport à « c+r\_CA » ( $p=0.057$ ).

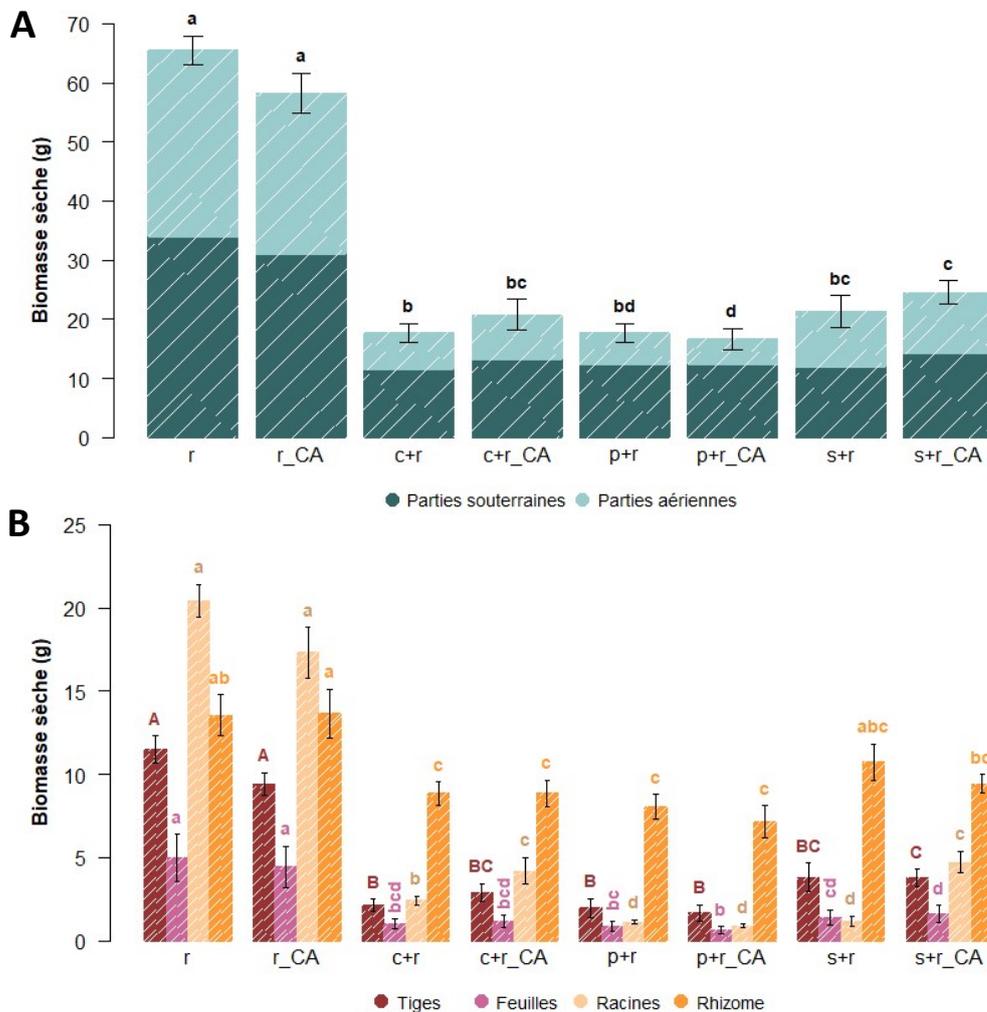
Lors de l'exposition à une plante de restauration, le diamètre des tiges de renouée est diminué, passant en moyenne ( $\pm$  écart-type) de  $6.77 \pm 0.91$  mm à  $4.42 \pm 0.87$  mm ( $p=0.018$ ) (Figure 4C). Aucune différence significative n'est à noter entre les modalités avec et sans charbon actif.

### 3.1.2.d. Surface foliaire

La surface foliaire des renouées est significativement réduite à la suite d'une exposition à une plante de restauration (Figure 4D). En effet, celle-ci passe de  $78.38 \pm 5.37$  cm<sup>2</sup> à en moyenne  $43.90 \pm 4.89$  cm<sup>2</sup> entre les renouées témoins et les renouées exposées. Les poacées permettent une diminution de la surface foliaire plus importante que le sureau ( $p=0.017$ ). De plus, la présence de charbon actif (« p+r\_CA »), engendre une diminution plus importante de la surface foliaire que le traitement sans charbon actif (« p+r ») ( $p=0.031$ ).



**Figure 5.** Surface foliaire spécifique des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.



**Figure 6.** Moyenne de la biomasse sèche des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). A) Biomasse sèche totale, B) Biomasse sèche par compartiment. r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

### 3.1.2.e. Surface foliaire spécifique (SLA)

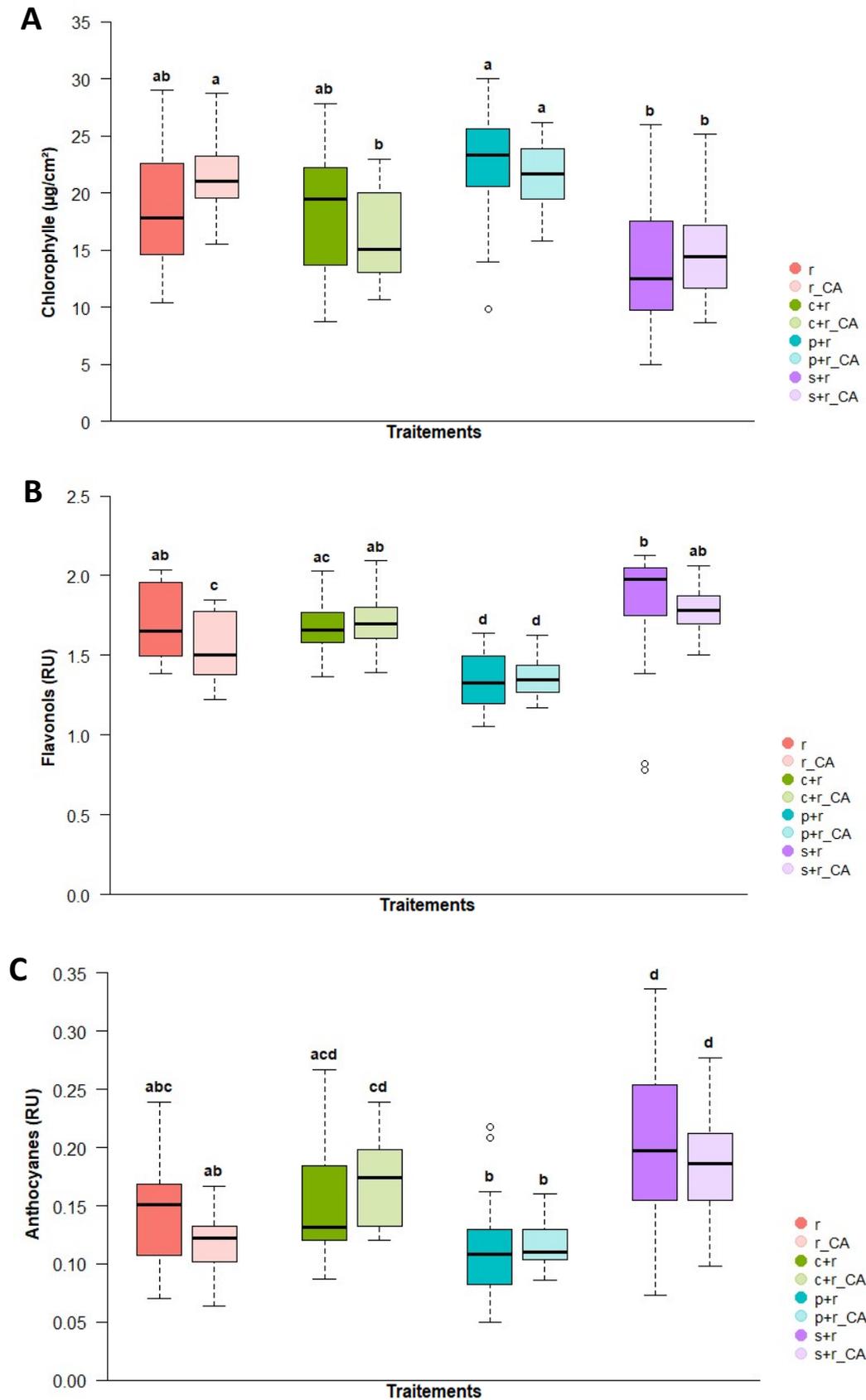
La SLA des renouées exposées à une plante de restauration augmente significativement par rapport aux renouées témoins sans charbon actif ( $p=0.013$ ) (Figure 5). En outre, les poacées engendrent l'augmentation la plus importante des trois traitements, la SLA passant de  $90.32 \pm 3.81 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$  à  $133.88 \pm 14.94 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$  (soit +48 %). Par ailleurs, avec la présence de charbon actif, les observations diffèrent. Seules les renouées du traitement « p+r\_CA » ont une augmentation significative de leur SLA comparé aux témoins (« r\_CA ») ( $p=0.034$ ).

### 3.1.3. Biomasse sèche

La biomasse sèche totale des renouées est significativement diminuée d'un facteur 2, voire 3, selon les traitements aux plantes de restauration que ce soit avec ( $p=7.120.10^{-4}$ ) ou sans charbon actif ( $p=7.120.10^{-4}$ ) (Figure 6A). Il n'existe pas de différence significative de la biomasse totale des renouées selon les modalités avec et sans charbon actif pour un même traitement. En revanche, en présence de charbon actif, des différences significatives apparaissent entre les traitements « c+r\_CA » et « p+r\_CA » (-20 %,  $p=0.042$ ), et entre « p+r\_CA » et « s+r\_CA » (+32 %,  $p=4.738.10^{-3}$ ), les poacées entraînant la réduction la plus importante.

Par ailleurs, en absence de charbon actif, les renouées témoins ont une répartition égale entre leurs parties aériennes et leurs parties souterraines, que ce soit avec (root:shoot ratio = 1.14) ou sans charbon actif (root:shoot ratio = 1.08), ce qui n'est pas le cas pour les renouées exposées. En effet, ces dernières ont leurs parties aériennes qui représentent seulement 1/3 de la biomasse sèche totale (root:shoot ratio = 1.86 pour « c+r », root:shoot ratio = 1.74 pour « c+r\_CA », root:shoot ratio = 2.22 pour « p+r » et root:shoot ratio = 2.92 pour « p+r\_CA »), ce constat étant moins prononcé avec une exposition au sureau (root:shoot ratio = 1.25 pour « s+r » et root:shoot ratio = 1.39 pour « s+r\_CA »).

La biomasse sèche par compartiment varie également selon les différents traitements (Figure 6B). La biomasse sèche des tiges est significativement réduite d'un facteur 3 (-64 % avec le sureau), voire 4 (-76 % avec la consoude et -83 % avec les poacées), selon les traitements ( $p=1.036.10^{-3}$ ). Cet effet est davantage prononcé avec « p+r\_CA » par rapport à « s+r\_CA » ( $p=0.020$ ). Une réduction significative de la biomasse sèche des feuilles est également observée en présence de plantes de restauration ( $p=1.273.10^{-4}$ ), celle-ci étant diminuée d'un facteur 3 (-68 % avec le sureau), voire 4 (-77 % avec la consoude et -68 % avec les poacées), selon les traitements. Concernant la biomasse sèche des racines, elle est diminuée avec les plantes de restauration ( $p=6.526.10^{-4}$ ), passant d'environ  $18.9 \pm 1.2 \text{ g}$  à moins de  $4.7 \pm 0.4 \text{ g}$  selon les traitements (soit -75 %).



**Figure 7.** Pigments photosynthétiques finaux des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans ( $n=10$ ). A) Contenu surfacique en chlorophylles, B) Teneur en flavonols épidermiques, C) Teneur en anthocyanes épidermiques. r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

De plus, des différences significatives sont constatées avec la présence de charbon actif entre les traitements « c+r » et « c+r\_CA » et entre « s+r » et « s+r\_CA » (respectivement,  $p=0.031$  et  $p=1.112.10^{-3}$ ). Avec du charbon actif, la biomasse sèche des racines de ces traitements est moins diminuée. La biomasse sèche du rhizome, quant à elle, est également altérée avec les plantes de restauration mais de façon moindre par rapport aux autres compartiments. En absence de charbon actif, seuls les traitements aux poacées et à la consoude ont un effet négatif significatif sur ce paramètre (respectivement, -41 % ( $p=0.031$ ) et -35 % ( $p=0.040$ )), tandis qu'en présence de charbon actif, les trois traitements entraînent une diminution significative de la biomasse sèche du rhizome de renouée. Aucune différence significative n'est à noter entre les modalités avec et sans charbon pour un même traitement.

### **3.1.4. Pigments photosynthétiques finaux**

#### **3.1.4.a. Chlorophylles**

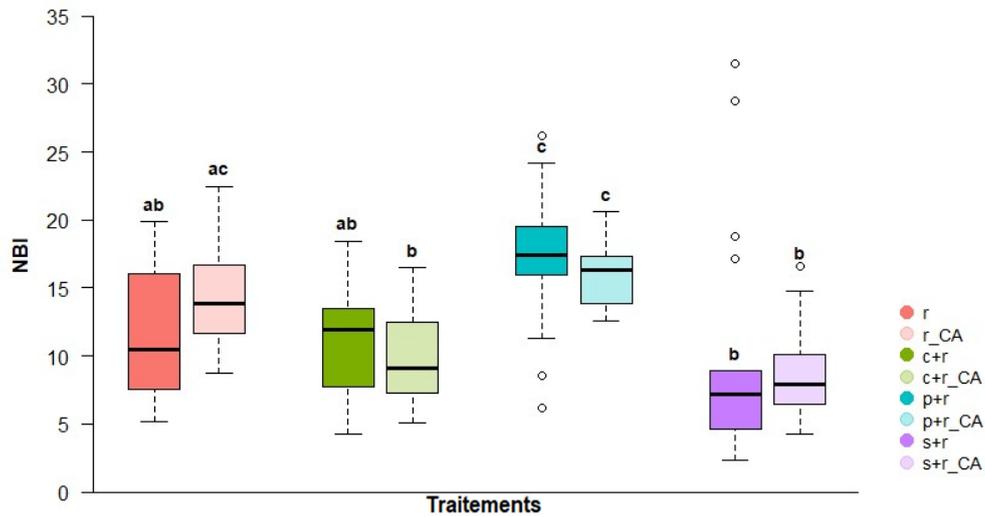
Le contenu surfacique en chlorophylles ne varie pas significativement entre les renouées témoins et les renouées exposées aux plantes de restauration de la modalité sans charbon actif (Figure 7A). De plus, une exposition au sureau entraîne une diminution significativement plus importante des chlorophylles par rapport à un traitement aux poacées (-36 %,  $p=4.720.10^{-3}$ ). Concernant la modalité avec charbon actif, des réductions significatives du contenu surfacique en chlorophylles des renouées sont observées avec les traitements « c+r\_CA » et « s+r\_CA » (respectivement, -24 % ( $p=4.720.10^{-3}$ ) et -30 % ( $p=1.129.10^{-3}$ )).

#### **3.1.4.b. Flavonols**

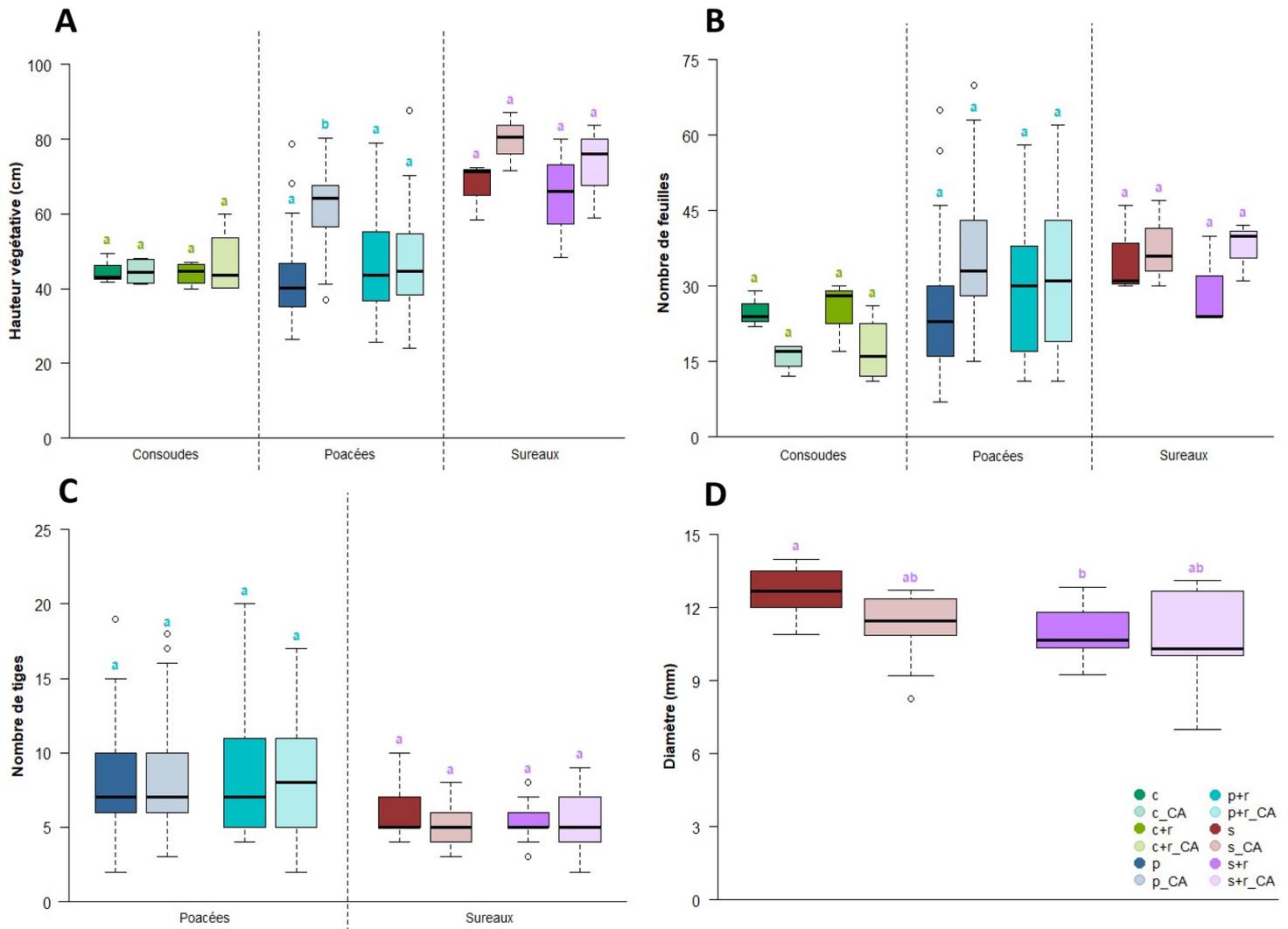
Pour la modalité sans charbon actif, il existe une différence significative entre « p+r » et les autres traitements (Figure 7B). En effet, les poacées permettent de réduire les flavonols de 0.36 RU, soit -21 % ( $p=3.794.10^{-3}$ ). À propos de la modalité avec charbon actif, les renouées témoins expriment significativement moins de flavonols que celles sans charbon actif (-11 %,  $p=0.035$ ). De plus, les poacées couplées à la présence de charbon actif (« p+r\_CA ») entraînent une baisse encore plus importante des flavonols (-12 %,  $p=9.680.10^{-3}$ ), tandis que les traitements « c+r\_CA » et « s+r\_CA » vont entraîner une augmentation de ce pigment photosynthétique (respectivement, +13 % ( $p=0.042$ ) et +16 % ( $p=3.835.10^{-3}$ )).

#### **3.1.4.c. Anthocyanes**

L'exposition des renouées au sureau engendre une augmentation significative des anthocyanes par rapport aux traitements « r » et « p+r » (respectivement,  $p=0.041$  et  $p=5.153.10^{-3}$ ) (Figure 7C). Ce même constat est retrouvé en présence de charbon actif. Par ailleurs, « c+r\_CA » se retrouve augmenté par rapport à « r\_CA » (+42 %,  $p=9.984.10^{-4}$ ).



**Figure 8.** Statut azoté final des renouées du Japon après une exposition de 55 à 77 jours à différentes plantes de restauration dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). r : renouées seules, c+r : renouées exposées à la consoude, p+r : renouées exposées aux poacées, s+r : renouées exposées au sureau. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.



**Figure 9.** Traits végétatifs finaux des plantes de restauration après une exposition de 54 à 76 jours à la renouée du Japon dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). A) Hauteur végétative, B) Nombre de feuilles, C) Nombre de tiges, D) Diamètre des tiges. c : consoude seules, c+r : consoude exposées à la renouée, p : poacées seules, p+r : poacées exposées à la renouée, s : sureaux seuls, s+r : sureaux exposés à la renouée. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

#### **3.1.4.d. Statut azoté (NBI)**

En absence de charbon actif, le NBI est très significativement augmenté lors d'une exposition aux poacées par rapport aux autres traitements (en moyenne +59 %,  $p=3.943.10^{-3}$ ) (Figure 8). Par ailleurs, en présence de charbon actif, ce résultat n'est pas retrouvé avec les poacées. En effet, ce sont les traitements « c+r\_CA » et « s+r\_CA » qui impactent de manière significative et négative le NBI (respectivement, -31 % ( $p=1.840.10^{-3}$ ) et -39 % ( $p=3.175.10^{-4}$ )). Aucune différence n'est constatée entre les deux modalités étudiées.

### **3.2. Effets de la renouée du Japon sur les plantes de restauration**

#### **3.2.1. Traits végétatifs finaux**

##### **3.2.1.a. Hauteur végétative**

En présence de renouée, la hauteur végétative des consoudes ( $45.08 \pm 9.06$  cm) et des sureaux ( $71.23 \pm 27.43$  cm) n'est pas significativement impactée, quelle que soit la modalité étudiée (Figure 9A). Concernant les poacées, une différence significative est constatée entre « p » et « p\_CA », mais également entre « p\_CA » et « p+r\_CA » (respectivement,  $p=1.986.10^{-3}$  et  $p=1.734.10^{-3}$ ). En effet, la hauteur des poacées seules (« p ») augmente d'un facteur 1.5 avec la présence de charbon actif (« p\_CA »). De plus, ce paramètre est réduit de 24 % entre « p\_CA » et « p+r\_CA ».

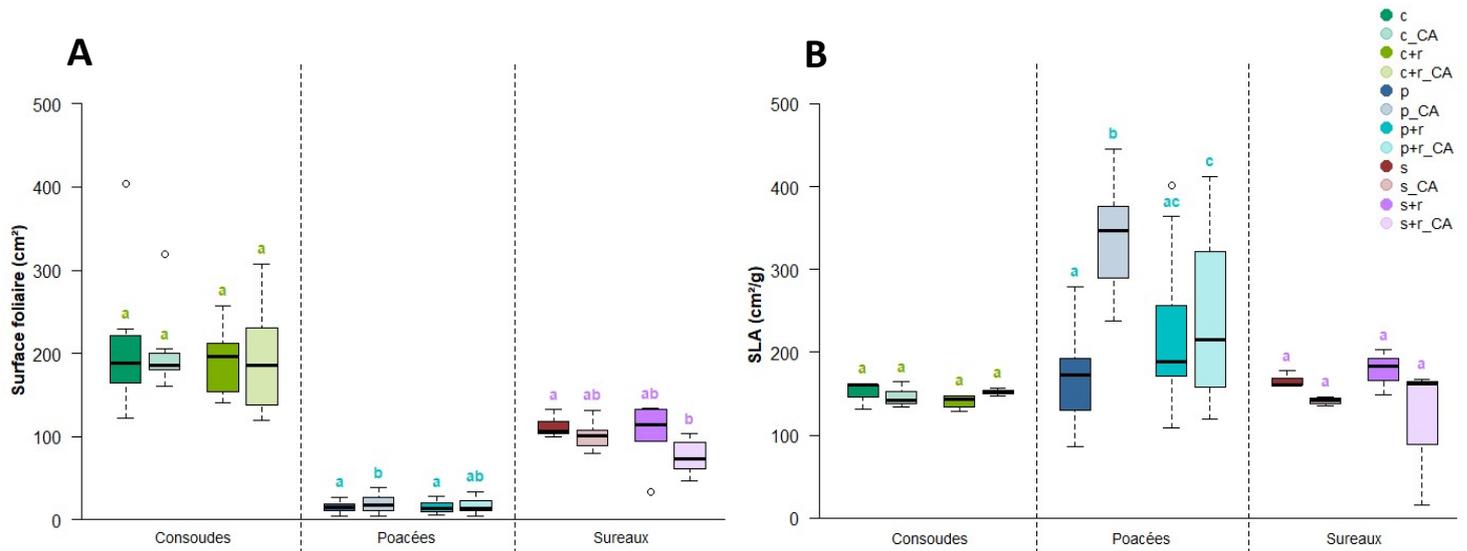
##### **3.2.1.b. Nombre de feuilles**

Le nombre de feuilles des consoudes et des sureaux ne diffère pas entre les traitements (Figure 9B). De même, aucune différence significative n'est mise en évidence concernant le nombre de feuilles des poacées. Toutefois, une tendance à la hausse est à noter entre « p » et « p\_CA » ( $p=0.059$ ), le nombre de feuilles augmentant de 11 entre ces deux traitements (soit +44 %).

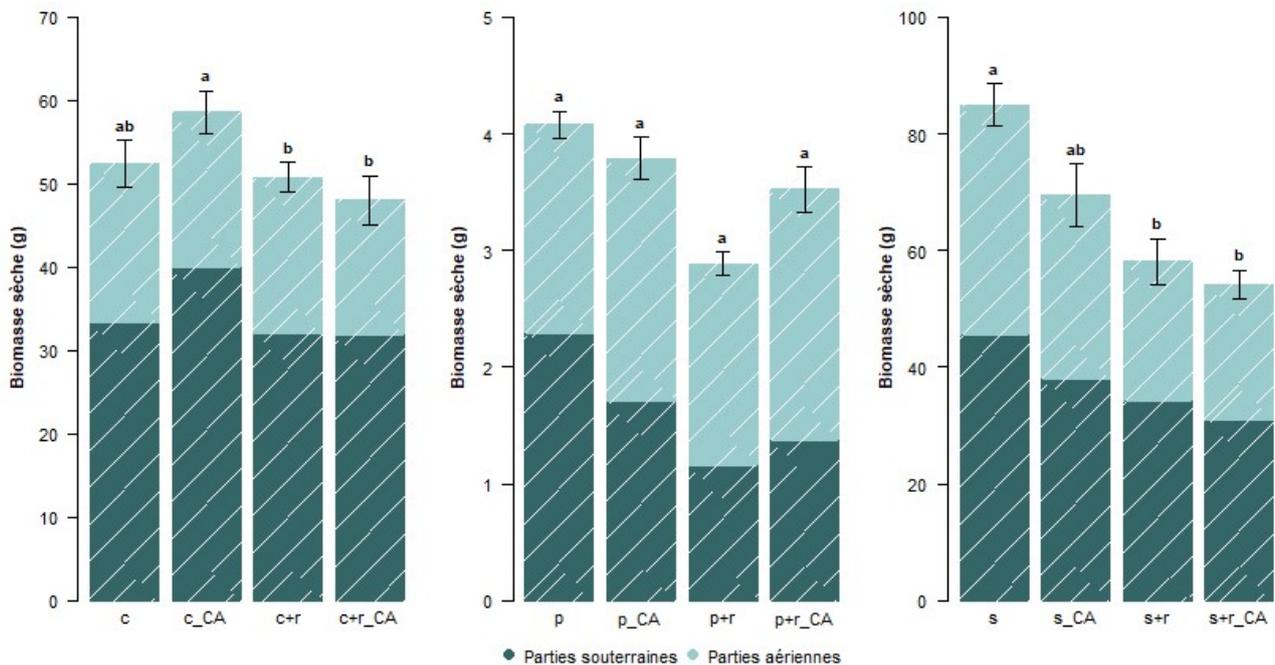
##### **3.2.1.c. Nombre de tiges et diamètre**

La présence de renouée n'a pas d'effet significatif sur le nombre de tiges des poacées et des sureaux, quelle que soit le traitement étudié, la moyenne restant identique (respectivement de 8 et 6 tiges) (Figure 9C).

Le diamètre des tiges de sureau seul n'est pas significativement différent avec la présence de charbon actif (Figure 9D). Cependant, une tendance à la baisse est observée entre « s » et « s\_CA » ( $p=0.057$ ), le diamètre passant de  $12.61 \pm 0.72$  mm à  $11.19 \pm 1.03$  mm (soit -11 %). De plus, il existe une diminution significative du diamètre entre « s » et « s+r » ( $p=0.048$ ), celui-ci est réduit de 1.65 mm avec la présence de renouée.



**Figure 10.** Traits végétatifs finaux des plantes de restauration après une exposition de 54 à 76 jours à la renouée du Japon dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). A) Surface foliaire, B) Surface foliaire spécifique. c : consoudes seules, c+r : consoudes exposées à la renouée, p : poacées seules, p+r : poacées exposées à la renouée, s : sureaux seuls, s+r : sureaux exposés à la renouée. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.



**Figure 11.** Moyenne de la biomasse sèche totale des plantes de restauration après une exposition de 54 à 76 jours à la renouée du Japon dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). c : consoudes seules, c+r : consoudes exposées à la renouée, p : poacées seules, p+r : poacées exposées à la renouée, s : sureaux seuls, s+r : sureaux exposés à la renouée. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

### 3.2.1.d. Surface foliaire

La surface foliaire des consoudes n'est modifiée ni par l'exposition à la renouée, ni par la présence de charbon actif (Figure 10A). Ce même constat est retrouvé avec la surface foliaire des sureaux, malgré une tendance à la baisse entre « s\_CA » et « s+r\_CA » ( $p=0.057$ ). En effet, elle passe de  $101.49 \pm 18.96 \text{ cm}^2$  à  $74.55 \pm 21.72 \text{ cm}^2$  entre ces deux traitements (soit -27 %). Concernant la surface foliaire des poacées, elle augmente significativement de  $4.19 \text{ cm}^2$ , soit +30 %, entre « p » et « p\_CA » ( $p=0.030$ ). Aucune différence significative des valeurs de surface foliaire n'est observée avec l'exposition à la renouée, malgré une tendance à la baisse entre « p\_CA » et « p+r\_CA » ( $p=0.095$ ).

### 3.2.1.e. Surface foliaire spécifique (SLA)

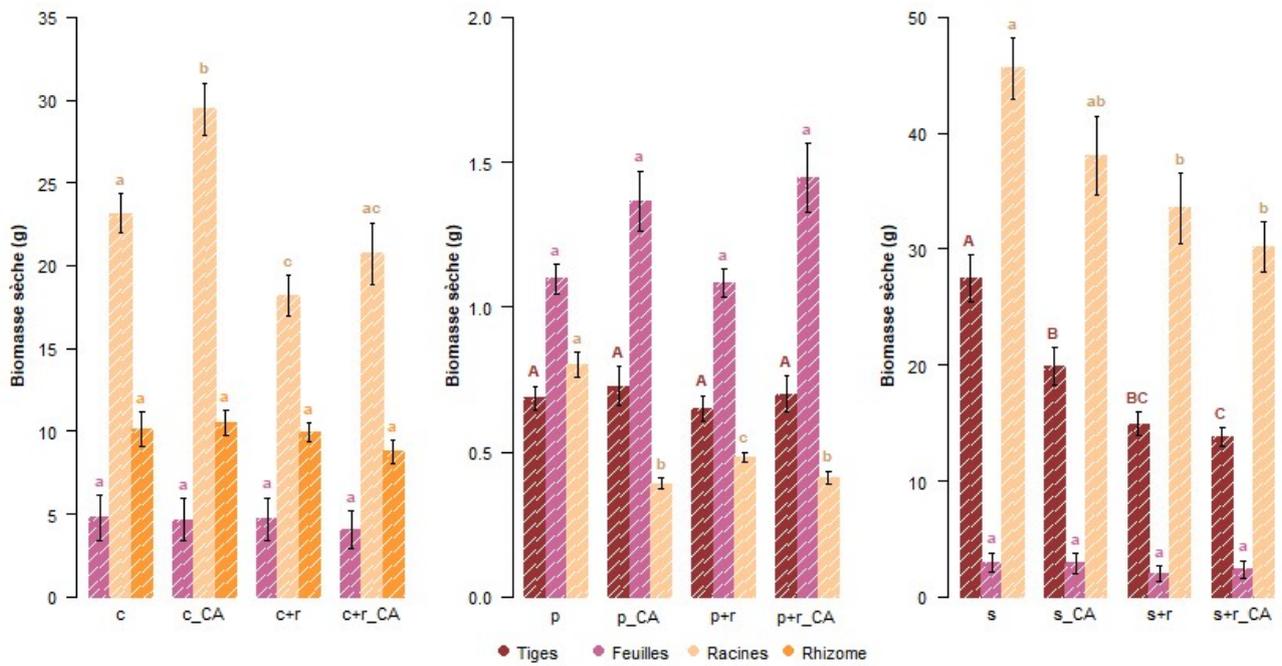
Aucune différence de la SLA des consoudes et des sureaux n'est observable entre les traitements étudiés (Figure 10B). En revanche, des variations significatives sont remarquées chez les poacées. En effet, une augmentation significative existe entre « p » et « p\_CA » ( $p=4.369 \cdot 10^{-9}$ ). La SLA est doublée entre ces deux traitements, passant de  $166.03 \pm 18.16 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  à  $342.19 \pm 19.79 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . De plus, la présence de renouée tend à augmenter la SLA des poacées ( $p=0.090$ ). Par ailleurs, la présence de renouée couplée au charbon actif entraîne une diminution non négligeable de la SLA des poacées ( $p=6.911 \cdot 10^{-4}$ ). Cette dernière passe de  $342.19 \pm 19.79 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  à  $237.35 \pm 33.13 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  entre « p\_CA » et « p+r\_CA », ce qui correspond à une perte de 31 % de la SLA des poacées.

## 3.2.2. Biomasse sèche

### 3.2.2.a. Biomasse sèche totale

La biomasse totale des consoudes n'est pas impactée par la présence de renouée lorsqu'il n'y a pas de charbon actif dans le milieu, elle reste en moyenne à  $49.64 \pm 2.27 \text{ g}$  (Figure 11). De plus, sa répartition entre les parties aériennes et souterraines est similaire entre « c » et « c+r ». En effet, les parties souterraines représentent  $2/3$  de la biomasse totale, contre  $1/3$  pour les parties aériennes. Au contraire, la biomasse totale des consoudes est diminuée de manière significative ( $p=0.027$ ) entre « c\_CA » et « c+r\_CA », elle passe de  $58.62 \pm 5.70 \text{ g}$  à  $45.74 \pm 6.63 \text{ g}$  (soit -22 %). La proportion entre les parties aériennes et souterraines reste quant à elle de  $1/3 - 2/3$ .

Concernant la biomasse totale des poacées, elle n'est pas affectée significativement par l'exposition à la renouée (Figure 11). Elle est en moyenne égale à  $2.46 \pm 0.15 \text{ g}$ . Toutefois, des tendances sont constatées entre certains traitements.



**Figure 12.** Moyenne de la biomasse sèche par compartiment des plantes de restauration après une exposition de 54 à 76 jours à la renouée du Japon dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans ( $n=10$ ). c : consoude seules, c+r : consoude exposées à la renouée, p : poacées seules, p+r : poacées exposées à la renouée, s : sureaux seuls, s+r : sureaux exposés à la renouée. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis et Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

Une légère diminution de 0.11 g, soit -4 %, est à noter entre « p » et « p\_CA » ( $p=0.052$ ) et de 0.38 g (-15 %) entre « p » et « p+r » ( $p=0.060$ ) (Figure 11). De plus, la répartition entre les parties aériennes et souterraines semble être modifiée. En effet, celle-ci respecte une proportion approximative de 50% - 50% en l'absence de renouée, contre 60% - 40% pour les traitements « p+r » et « p+r\_CA ».

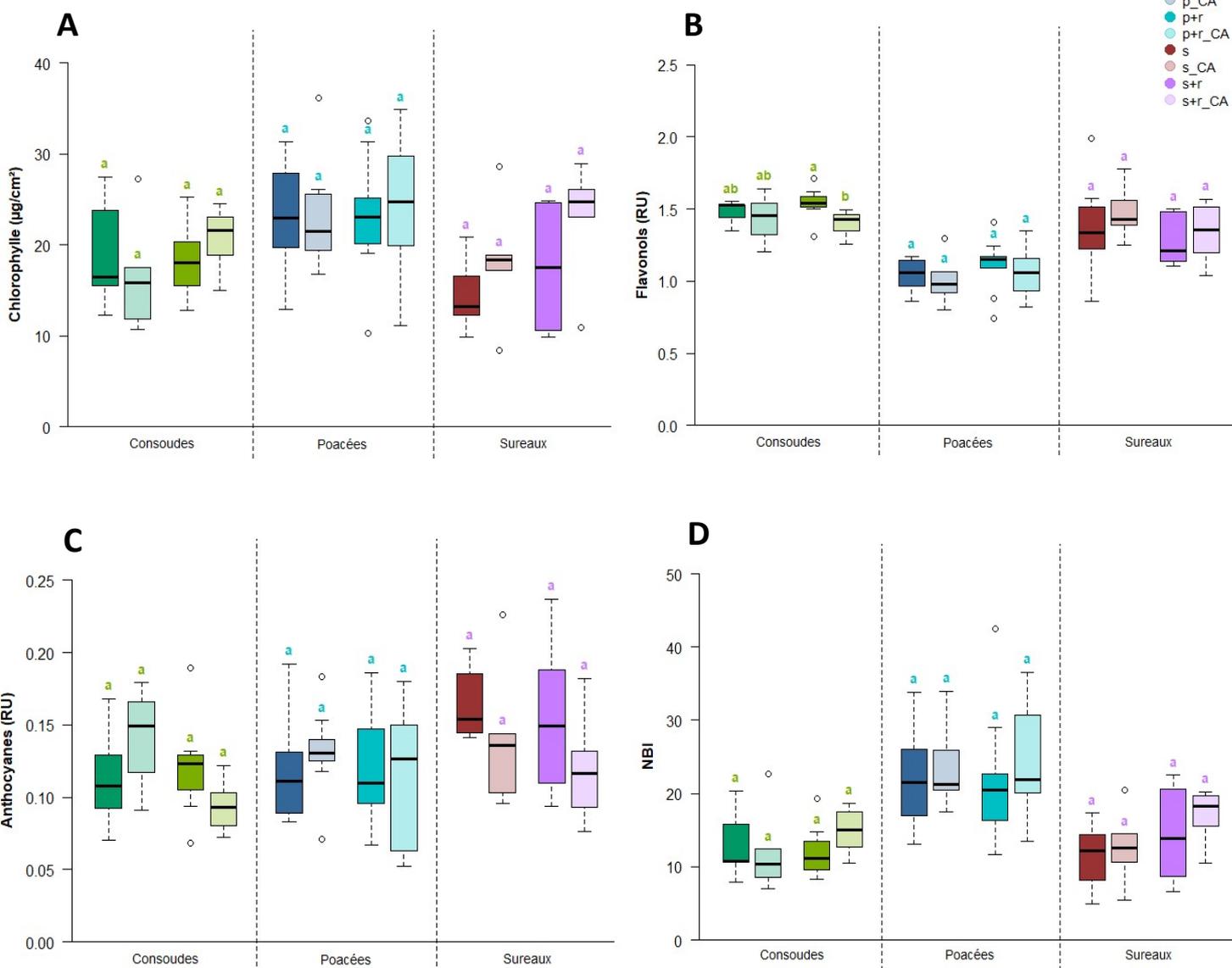
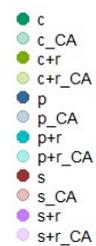
La biomasse totale des sureaux est réduite significativement avec la présence de renouée ( $p=2.831.10^{-3}$ ), elle baisse de 84.98 à 57.38 g (soit -32 %) entre « s » et « s+r » (Figure 11). Des tendances à la baisse sont également remarquées avec la présence de charbon actif entre « s » et « s\_CA » ( $p=0.056$ ) mais aussi avec la présence de renouée entre « s\_CA » et « s+r\_CA » ( $p=0.056$ ). De plus, avec l'exposition à la renouée, la proportion des parties souterraines augmente, passant d'environ 1/2 à 2/3.

### **3.2.2.b. Biomasse sèche par compartiment**

La biomasse sèche foliaire des consoudes n'est pas modifiée quelle que soit le traitement observé, elle reste environ égale  $4.54 \pm 1.28$  g (Figure 12). En revanche, la biomasse sèche des racines varie selon les traitements. Elle augmente significativement entre « c » et « c\_CA » (+27 %,  $p=0.017$ ) et diminue de manière non négligeable entre « c » et « c+r » (-21 %,  $p=0.026$ ). De plus, la présence de renouée couplée au charbon actif entraîne une réduction significative de la biomasse sèche racinaire, celle-ci passant de  $29.44 \pm 1.60$  g à  $20.73 \pm 1.88$  g (-30 %) entre « c\_CA » et « c+r\_CA » ( $p=0.018$ ). La biomasse du rhizome, elle, reste similaire entre les traitements, soit en moyenne  $9.85 \pm 0.75$  g.

Concernant les poacées, aucune différence de la biomasse sèche des tiges n'est à noter entre les différents traitements, celle-ci restant égale à  $0.69 \pm 0.05$  g (Figure 12). Ce même constat est retrouvé avec la biomasse foliaire qui est en moyenne de  $1.25 \pm 0.08$  g. Par ailleurs, des différences sont remarquées concernant la biomasse sèche racinaire. En effet, cette dernière s'avère diminuée significativement aussi bien avec la présence de charbon actif, qu'avec la présence de renouée. Elle est réduite de moitié entre « p » et « p\_CA » ( $p=5.89.10^{-15}$ ) mais également entre « p » et « p+r » ( $p=4.77.10^{-11}$ ). De plus, une diminution de 14 % est aussi constatée entre « p+r » et « p+r\_CA » ( $p=2.528.10^{-3}$ ).

Une baisse significative de la biomasse sèche des tiges de sureau est constatée entre « s » et « s\_CA » ( $p=0.039$ ), elle est réduite de 28 % (Figure 12). De plus, la présence de renouée affecte négativement la biomasse des tiges qui diminue de 46 % entre « s » et « s+r » ( $p=1.561.10^{-3}$ ) et de 31 % entre « s\_CA » et « s+r\_CA » ( $p=0.020$ ).



**Figure 13.** Pigments photosynthétiques finaux des plantes de restauration après une exposition de 54 à 76 jours à la renouée du Japon dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10). A) Contenu surfacique en chlorophylles, B) Teneur en flavonoïds épidermiques, C) Teneur en anthocyanes épidermiques, D) Statut azoté. c : consoudes seules, c+r : consoudes exposées à la renouée, p : poacées seules, p+r : poacées exposées à la renouée, s : sureaux seuls, s+r : sureaux exposés à la renouée. Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis, Wilcoxon) entre les moyennes selon les traitements.

Concernant la biomasse sèche foliaire, aucune différence significative n'est constatée quel que soit le traitement, elle oscille entre 2.01 et 2.99 g. Enfin, la biomasse sèche racinaire est réduite significativement en présence de renouée entre « s » et « s+r » ( $p=0.030$ ), passant de  $45.58 \pm 2.65$  g à  $33.54 \pm 3.04$  g (soit -26 %). Aucune différence n'est constatée avec la présence de charbon actif.

### **3.2.3. Pigments photosynthétiques finaux**

#### **3.2.3.a. Chlorophylles**

Le contenu surfacique en chlorophylles chez les plantes de restauration testées ne varie pas quel que soit le traitement, il est en moyenne égal à  $18.72 \pm 4.69$   $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,  $23.39 \pm 4.68$   $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  et  $18.37 \pm 5.98$   $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ , respectivement pour les consoudes, les poacées et les sureaux (Figure 13A).

#### **3.2.3.b. Flavonols**

La teneur en flavonols épidermiques des consoudes diminue significativement de 9 % entre « c+r » et « c+r\_CA » ( $p=0.049$ ) (Figure 13B). Concernant les poacées et les sureaux, aucune différence ni tendance n'est à noter entre les traitements, la moyenne étant respectivement de  $1.05 \pm 0.11$  RU et  $1.36 \pm 0.23$  RU.

#### **3.2.3.c. Anthocyanes**

La teneur en anthocyanes épidermiques des plantes de restauration n'est pas modifiée par la présence de charbon actif ou par la renouée (Figure 13C). La moyenne oscille entre  $0.09 \pm 0.01$  RU et  $0.14 \pm 0.03$  RU pour les consoudes, entre  $0.11 \pm 0.03$  RU et  $0.13 \pm 0.02$  RU pour les poacées, et entre  $0.12 \pm 0.04$  RU et  $0.17 \pm 0.03$  RU pour les sureaux.

#### **3.2.3.d. Statut azoté (NBI)**

Le statut azoté des consoudes, des poacées et des sureaux n'est pas impacté par l'exposition à la renouée ou bien par la présence de charbon actif dans le milieu (Figure 13D). Il reste en moyenne à  $13.03 \pm 4.11$  pour les consoudes,  $22.80 \pm 5.41$  pour les poacées et  $13.90 \pm 5.10$  pour les sureaux.

### **3.3. Composés allélochimiques**

Les résultats obtenus suite aux collectes de lessivats pour quantifier et identifier les composés allélochimiques émis par les renouées et les plantes de restauration n'ont pas encore été analysés. Toutefois, les premières observations démontrent une sécrétion de composés allélochimiques plus importante chez les consoudes et les sureaux ( $10^6$  composés pour 250 mL de lessivats) par rapport aux poacées ( $10^5$  composés pour 250 mL de lessivats).

**Tableau 3.** Récapitulatif de l'effet des plantes de restauration sur la renouée du Japon et de la renouée du Japon sur les plantes de restauration après une exposition de 54 à 77 jours dans un milieu avec charbon actif (\_CA) ou sans (n=10).

Traitements	Espèces	Vitesse de croissance	Hauteur végétative	Nombre de feuilles	Nombre de tiges	Diamètre des tiges	Surface foliaire	SLA	Chlorophylles	Flavonoïds	Anthocyanes	NBI	Biomasse sèche totale	Biomasse sèche des tiges	Biomasse sèche foliaire	Biomasse sèche racinaire	Biomasse sèche du rhizome
r	renouée																
r_CA	renouée	=	=	=	=	=	=	+	=	-	=	=	=	=	=	=	=
c+r	renouée	-	-	-	-	-	-	+	=	=	=	=	-	-	-	-	-
c+r_CA	renouée	-	-	-	-	-	-	+	=	=	=	=	-	-	-	-	-
p+r	renouée	-	-	-	-	-	-	+	=	-	=	+	-	-	-	-	-
p+r_CA	renouée	-	-	-	-	-	-	+	=	-	=	+	-	-	-	-	-
s+r	renouée	-	=	-	-	-	-	+	=	=	+	=	-	-	-	-	=
s+r_CA	renouée	=	=	-	-	-	-	+	=	=	+	=	-	-	-	-	-
c	consoude																
c_CA	consoude		=	=			=	=	=	=	=	=	=		=	+	=
c+r	consoude		=	=			=	=	=	=	=	=	=		=	-	=
c+r_CA	consoude		=	=			=	=	=	=	=	=	=		=	=	=
p	poacées																
p_CA	poacées		+	=	=		+	+	=	=	=	=	=	=	=	-	
p+r	poacées		=	=	=		=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	
p+r_CA	poacées		=	=	=		=	+	=	=	=	=	=	=	=	-	
s	sureau																
s_CA	sureau		=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	=	=	
s+r	sureau		=	=	=	-	=	=	=	=	=	=	-	-	=	-	
s+r_CA	sureau		=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	-	=	-	

= : pas de différence significative, + : augmentation significative, - : diminution significative

(comparé au traitement non exposé et sans charbon actif)

L'ensemble des résultats de cette étude ont été compilés dans un tableau récapitulatif (Tableau 3).

## 4. DISCUSSION

Dans cette étude, les hypothèses émises étaient que les plantes de restauration ayant la meilleure compétition pour la lumière seraient les plus efficaces et que la renouée du Japon aurait probablement des effets sur les plantes de restauration. Suite aux expériences menées, la première hypothèse s'est trouvée exacte, tandis que la deuxième hypothèse s'est avérée généralement fautive selon les modalités et les traitements.

### 4.1. Impacts des plantes de restauration sur la renouée du Japon

#### 4.1.1. Interactions compétitives

De nombreuses études comme celle d'Abgrall *et al.* (2018) ont mis en avant l'importance des caractéristiques compétitives des EEVE dans leur succès d'invasion, elles sont basées sur une amélioration de leur morphologie impactant positivement leur fitness (Van Kleunen *et al.*, 2010). La fitness correspond à la capacité d'un organisme vivant à transmettre son patrimoine génétique afin que sa descendance puisse à son tour se reproduire et ainsi perpétuer l'espèce. Le pouvoir invasif de la renouée est donc favorisé par cette amélioration de sa fitness, faisant d'elle une EEVE majeure. La sélection des plantes de restauration s'est appuyée sur leur potentiel de lutte contre la renouée *via* des phénomènes de compétition pour les ressources, affectant ainsi la fitness de la renouée. Ces interactions compétitives ont été étudiées grâce à la présence de charbon actif dans le milieu, permettant d'absorber les composés allélochimiques émis et ainsi isoler le processus de compétition.

##### 4.1.1.a. Traits végétatifs

La hauteur végétative et le nombre de tiges des renouées sont des paramètres intéressants qui traduisent l'état de croissance, ce sont des indicateurs utilisés dans le projet REEVES pour suivre le développement des renouées du Japon sur les talus ferroviaires. Des études ont montré que la hauteur végétative de la renouée est réduite lors de processus de lutte biologique, notamment par éco-pâturage où elle peut être diminuée jusqu'à 85% (Bozec *et al.*, 2019; Haury *et al.*, 2012) ou par compétition végétale où elle peut être réduite jusqu'à 50% (Dommanget, 2014). Autrement dit, la hauteur des renouées est très influencée par le moyen de gestion employé. De plus, la hauteur est considérée comme un trait d'effet montrant la capacité compétitive en réponse à la lumière (Violle *et al.*, 2007).



Dans cette étude, ce trait végétatif diminue d'un quart en présence de consoude et d'un tiers avec les poacées, montrant leur efficacité sur ce paramètre. Ces plantes de restauration inhibent ainsi la capacité compétitive de la renouée.

Le bon développement des renouées est aussi associé à un nombre de tiges et de feuilles important, signe d'une capacité photosynthétique accrue permettant à cette EEVE de s'appropriier le milieu. L'impact des plantes de restauration sur le nombre de tiges et de feuilles est conséquent, elles permettent de réduire ces traits d'un facteur 3-4, signe d'une intense compétition (Dommanget, 2014). De plus, les renouées exposées ont un diamètre de tige plus faible ce qui est en accord avec la littérature. En effet, Dommanget (2014) a montré que les ramets de renouée sont plus petits et plus frêles lors d'un stress. Par conséquent, une réduction de ces paramètres chez les renouées du Japon démontre une altération de leur caractère compétitif et donc potentiellement pourrait limiter leur prolifération.

Par ailleurs, la surface foliaire des renouées est également affectée négativement par les plantes de restauration ce qui est probablement lié au stress engendré par celles-ci. Dans le handbook de Cornelissen *et al.* (2003), il a été défini que la surface foliaire est liée aux différentes variations de l'environnement qui tendent à sélectionner des feuilles plus petites. Dans l'étude menée ici, les plantes de restauration modifient la disponibilité en lumière et en nutriments.

Il a été démontré que la lumière est un paramètre environnemental clé pour le développement des renouées (Dommanget *et al.*, 2013), dès lors qu'elles se retrouvent en situation ombragée, leur croissance est limitée (Beerling *et al.*, 1994). Les plantes de restauration sélectionnées ont permis de créer un ombrage plus ou moins défavorable à la renouée ce qui s'est répercuté sur ses traits végétatifs. Ce constat amène ainsi aux résultats obtenus pour la SLA. Elle traduit une corrélation avec le taux de croissance ou avec la capacité photosynthétique. Ainsi, une SLA qui augmente peut refléter un taux de croissance plus élevé et/ou une meilleure capacité photosynthétique (Cornelissen *et al.*, 2003). Dans cette expérience, seules les poacées ont entraîné une augmentation de la SLA. Lors de son étude, Dommanget (2014) a mis en évidence une augmentation de la SLA lorsque que les renouées sont en situation de compétition, celles-ci réagissent au stress en adaptant leur SLA qui est un trait très plastique selon la disponibilité de lumière (Cornelissen *et al.*, 2003; Evans et Poorter, 2001). Cette stratégie d'acclimatation face au manque de lumière permet d'assurer une acquisition correcte de photons. Toutefois, ce phénomène compensatoire ne semble pas suffire pour empêcher l'impact des plantes de restauration, ici des poacées, sur les traits végétatifs de la renouée.



En effet, en plus de la réduction des traits végétatifs de la renouée, les plantes de restauration impactent aussi la biomasse sèche. La répartition de la biomasse sèche selon les compartiments de la plante reflète les schémas d'allocation en carbone. La biomasse sèche totale représente plus généralement la production de carbone par le végétal. Les plantes de restauration permettent de réduire de 2/3 la biomasse sèche totale, c'est-à-dire qu'elles limitent la production de carbone par la renouée. Dans des conditions favorables de croissance, cette EEVE répartit équitablement le carbone entre ses parties aériennes et souterraines, tandis qu'en présence d'un stress tel que celui engendré par les plantes de restauration, la quantité de carbone est nettement réduite et il est envoyé préférentiellement aux parties souterraines possiblement dans le but de constituer des réserves de carbone. La biomasse sèche s'en trouve ainsi altérée. Ce constat a déjà été rencontré dans diverses études sur les phénomènes de lutte biologique. Dommanget (2014) a découvert que les biomasses aériennes et souterraines de la renouée sont plus importantes lorsque celle-ci est seule plutôt qu'en situation de compétition avec le saule des vanniers. De plus, la biomasse aérienne est réduite d'un tiers en situation d'ombrage (Dommanget, 2014). Ceci confirme les résultats obtenus dans la présente étude. La compétition spatiale couplée à la compétition pour la lumière affecte de manière significative et négative la biomasse aérienne des renouées. De plus, dans de telles conditions, la renouée semble privilégier ses parties souterraines, leur biomasse sèche étant plus élevée que celle des parties aériennes. Ceci peut s'expliquer par le fait que les parties souterraines peuvent représenter jusqu'à 2/3 de la biomasse totale (Evette *et al.*, 2018). Par ailleurs, la renouée est une espèce qui se développe beaucoup *via* le réseau souterrain, pouvant s'étendre latéralement jusqu'à 20 m (Beerling *et al.*, 1994). Cette caractéristique lui permet de croître de nouveau après une fauche ou un broutage par exemple. En accumulant préférentiellement son carbone au niveau racinaire, la renouée du Japon mise sur une stratégie implacable lui permettant d'envahir une large zone et de survivre sur de longues durées grâce à ses réserves de carbone, malgré les différents stress qu'elle peut rencontrer.

En s'intéressant plus en détails à l'allocation de carbone dans les différents compartiments végétaux, il est constaté que les plantes de restauration diminuent la biomasse sèche des tiges et des feuilles, fait cohérent aux résultats précédents qui s'intéressaient à la biomasse aérienne totale. De plus, la distribution de carbone au niveau souterrain est fortement altérée entre les témoins et les traitements. En effet, les renouées allouent du carbone pour la croissance des racines dans le but de se propager et d'envahir le milieu, tandis que celles exposées à une plante de restauration, quelle qu'elle soit, ne développent que très peu leur système racinaire, la majorité du carbone étant conservé pour le maintien du rhizome qui est l'organe de réserve (Aguilera *et al.*, 2010). En allouant son carbone préférentiellement dans le rhizome, la renouée du Japon s'adapte au stress à court terme, espérant garder suffisamment de réserves pour repartir à la fin des conditions défavorables.



Certes, il permet sa survie mais *a priori* pas son expansion massive. En effet, même sous une pression de compétition élevée, la renouée du Japon est capable de survivre et de croître mais ses performances, sa biomasse et sa capacité de colonisation sont significativement réduites (Dommanget, 2014). Néanmoins, ce genre de stratégie ne fonctionne pas si le stress se prolonge, la renouée devra puiser dans les réserves de son rhizome et finira par l'épuiser. L'évaluation des réserves rhizomiales est un très bon indicateur pour constater l'efficacité des plantes de restauration (Le Roux, 2017). C'est sur ce fait qu'une bonne lutte biologique doit s'appuyer pour limiter l'expansion de la renouée, les plantes de restauration doivent se succéder sur le long terme avec des stratégies variées pour maximiser les chances de succès.

#### 4.1.1.b. Pigments photosynthétiques

Certains des pigments photosynthétiques mesurés sont impactés par la présence des plantes de restauration.

Les flavonols et les anthocyanes font parties de la famille des flavonoïdes, ils jouent un rôle dans les interactions plante-environnement, notamment l'attraction des pollinisateurs *via* la pigmentation de la plante (Mathesius, 2018). Ils sont également impliqués dans la photoprotection contre les UV, les agents pathogènes et l'herbivorie (Nix *et al.*, 2017; Pollastri et Tattini, 2011).

Des études ont montré que les flavonols sont des régulateurs de la croissance et du développement chez les plantes en stimulant des protéines spécifiques impliquées dans les cascades de signalisation associées à ces fonctions (DeLong *et al.*, 2002; Peer et Murphy, 2006; Pollastri et Tattini, 2011; Taylor et Grotewold, 2005). La réduction des flavonols en présence de poacées peut expliquer que ce traitement ait engendré des renouées d'encore plus petite taille par rapport aux deux autres traitements. Si les renouées exposées aux poacées n'ont pas été régulées par les flavonols avec la même intensité que celles des autres traitements, ceci a pu se traduire par une diminution du développement et par conséquent par des individus de taille réduite. En revanche, en présence de consoude ou de sureau, les flavonols épidermiques ont augmenté. Stewart *et al.* (2001) ont démontré l'existence d'une relation entre la disponibilité en nutriments et l'accumulation de flavonols. Selon leur étude, une diminution de l'azote dans le milieu entraîne une augmentation des flavonols dans les feuilles des plantes. L'azote est le nutriment le plus essentiel à la croissance et au développement des végétaux (Leghari *et al.*, 2016). Si celui-ci vient à manquer, la plante va tout mettre en œuvre pour limiter ce déficit, comme par exemple augmenter les flavonols.



Dans l'étude menée ici, la consoude et le sureau ont probablement entraîné un manque d'azote dans le milieu *via* une concurrence directe pour cette ressource grâce à leurs systèmes racinaires profonds. Ce déficit en azote pourrait également expliquer les résultats obtenus sur les traits végétatifs.

Hatier et Gould (2008) ont émis l'hypothèse selon laquelle les anthocyanes joueraient un rôle de modulateur face au stress, entre autres grâce à leur capacité à stocker le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) qui participe au stress oxydatif. Ainsi, les anthocyanes apparaissent comme des antioxydants. De plus, de nombreuses études ont montré que l'accumulation d'anthocyanes peut retarder la sénescence foliaire causée par une carence nutritive (Landi *et al.*, 2015; M. Peng, Bi, *et al.*, 2007; M. Peng *et al.*, 2008; M. Peng, Hannam, *et al.*, 2007). En présence de consoude ou de sureau, la renouée du Japon possède une teneur en anthocyanes épidermiques plus élevée que lorsqu'elle est présente seule ou exposée aux poacées. Grâce à la littérature, il peut être supposé que ce phénomène est un mécanisme adaptatif de la renouée face au stress engendré par la consoude ou le sureau. Ces deux plantes de restauration nécessitant un apport nutritif considérable, principalement en azote, elles peuvent entraîner un déficit dans le milieu ce qui se répercute par une carence azotée chez la renouée. Cette dernière répondrait alors par la mise en place de mécanismes de compensation en libérant une quantité élevée d'anthocyanes qui va permettre de limiter le vieillissement cellulaire causée par la carence. Ainsi, la renouée du Japon assure sa survie et augmente son succès reproductif malgré les conditions défavorables (Landi *et al.*, 2015).

Les chlorophylles sont des pigments majeurs impliqués dans la photosynthèse chez les végétaux, ils absorbent la lumière et la transforment en énergie chimique nécessaire au développement des plantes. Leur concentration peut varier lors d'un stress selon son intensité. Elle augmente en réponse à un stress de faible intensité, alors qu'elle va diminuer lors d'un stress de forte intensité (Agathokleous *et al.*, 2020). Les renouées exposées à la consoude ou au sureau voient leur contenu surfacique en chlorophylles diminuer, ceci signifie que le stress provoqué par la carence nutritive est suffisamment important pour impacter négativement la physiologie de la renouée en diminuant sa capacité photosynthétique.

Les chlorophylles et les flavonols étant affectés en présence de plantes de restauration, le NBI des renouées se voit inévitablement modifié. Le statut azoté, ou NBI, est un indicateur quantitatif important qui traduit l'état de croissance des plantes en matière de gestion de l'azote.



Plus celui-ci est élevé, plus cela signifie que la teneur en azote dans les feuilles et la capacité d'utilisation de l'azote sont importantes (K. Fan *et al.*, 2022). A l'inverse, il reflète les carences azotées (Cartelat *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2015). La consoude et le sureau ont provoqué une réduction du NBI des renouées ce qui coïncide avec les résultats obtenus pour les flavonols et les chlorophylles. Ces espèces de restauration entraînent effectivement une carence azotée.

#### **4.1.2. Interactions compétitives et allélochimiques**

Durant cette étude, les interactions compétitives couplées aux interactions allélochimiques ont été analysées dans le but de déterminer l'importance de l'allélochimie dans le développement des renouées.

##### **4.1.2.a. Traits végétatifs et biomasses sèches**

La plupart des paramètres étudiés chez la renouée n'est pas modifiée pour un même traitement entre les modalités « compétition » et « compétition x allélochimie », c'est le cas pour la hauteur végétative, le nombre de feuilles et de tiges, le diamètre des tiges et la biomasse totale.

Avec l'allélochimie et la compétition, la surface foliaire des renouées exposées aux poacées est augmentée. L'hypothèse peut être faite selon laquelle les composés allélochimiques excrétés par la renouée lui permettent de compenser l'important stress provoqué par la compétition avec les poacées qui sont les plantes de restauration les plus efficaces vis-à-vis de la réduction des traits végétatifs de la renouée. Ceci se traduit par une augmentation de la surface foliaire du fait que ce paramètre est très sensible aux variations environnementales (Cornelissen *et al.*, 2003). Cette hypothèse semble s'avérer correcte. En effet, d'après Inderjit *et al.* (2011), les caractéristiques compétitives des plantes invasives peuvent leur permettre d'améliorer leur physiologie par l'intermédiaire des métabolites secondaires.

Par ailleurs, la présence de charbon actif peut potentiellement modifier la composition du milieu puisque qu'il absorbe les composés organiques du sol (Inderjit et Callaway, 2003) ce qui peut également se répercuter sur la surface foliaire mais cette fois-ci par une baisse de celle-ci.

Les résultats obtenus pour la SLA sont aussi modifiés lorsque les interactions allélochimiques sont possibles. En effet, ce paramètre est plus faible chez les renouées témoins (« r ») par rapport à celles en présence de charbon actif (« r\_CA »). Cornelissen *et al.* (2003) ont montré qu'une SLA faible traduit un système de défense efficace qui permet une bonne longévité foliaire.



La renouée est connue pour son caractère allélochimique, elle sécrète de nombreux composés allélochimiques, tels que des stilbènes, des flavonoïdes, des quinones ou des coumarines (Kato-Noguchi, 2022; W. Peng *et al.*, 2013), qui lui permettent d'envahir aisément son environnement. Grâce aux interactions allélochimiques, la renouée se trouve dans des conditions extrêmement favorables, tous ces mécanismes de développement, de défense et de reproduction sont fonctionnels, d'où sa SLA plus élevée entre « r » et « r\_CA ».

#### **4.1.2.b. Pigments photosynthétiques**

Les pigments photosynthétiques que sont les chlorophylles, les flavonols et les anthocyanes sont bien moins impactés par les traitements lorsque les interactions allélochimiques entrent en jeu. Ces résultats traduisent l'importance de l'allélochimie dans le développement de la renouée. Les composés allélochimiques ont un rôle de défense, notamment contre les pathogènes et l'herbivorie (Cappuccino et Carpenter, 2005; Keane et Crawley, 2002; Lankau et Kliebenstein, 2009; Mitchell et Power, 2003; Williams et Sahli, 2016), mais il semble qu'ils aient aussi un rôle de lutte contre les stress nutritifs. En effet, leur présence permet de limiter les variations de la teneur en flavonols et en anthocyanes et par conséquent, freine la carence nutritive provoquée par les plantes de restauration.

### **4.2. Impacts de la renouée du Japon sur les plantes de restauration**

L'impact de la renouée sur les plantes de restauration n'est que très peu étudiée, en l'occurrence peu de références bibliographiques existent sur ces processus. Cependant, des hypothèses ont pu être émises pour discuter des résultats obtenus dans cette étude.

#### **4.2.1. Interactions compétitives**

La renouée du Japon semble avoir peu d'effets sur les plantes de restauration utilisées, seuls quelques paramètres se sont vus affectés. En résumé, deux traits végétatifs chez les consoudes ont été diminués en présence de renouée, contre deux chez les poacées et un chez les sureaux.

Par exemple, la SLA chez les poacées est réduite en présence de renouée. Ce trait, en plus d'avoir une plasticité accrue (Cornelissen *et al.*, 2003; Evans et Poorter, 2001), est influencé négativement par la compétition interspécifique avec la renouée (Dommanget, 2014; Poorter *et al.*, 2012; Violle *et al.*, 2009). Malgré tout, la majorité des traits végétatifs étudiés ne sont pas impactés ou juste légèrement diminués par les renouées.



Les consoudes en présence de renouée ont une biomasse sèche totale plus faible. À cause de la compétition avec la renouée, les ressources sont moins disponibles, notamment pour la production de carbone. La diminution de la production de carbone se traduit par une biomasse sèche diminuée.

Les sureaux, quant à eux, allouent moins de carbone vers leurs tiges lorsqu'ils sont exposés à la renouée. Il peut être supposé que cette espèce modifie l'allocation de carbone entre les compartiments en le réallouer vers les feuilles et son système racinaire, c'est-à-dire à son métabolisme photosynthétique et à la recherche de nutriments dans le sol. Des résultats similaires ont également été observés chez le saule des vanniers dans l'étude de Dommanget (2014).

Les effets végétatifs observés restent ponctuels et aucune de ces espèces ne voit ses pigments photosynthétiques impactés. Ceci met en avant l'inexistence de symptômes physiologiques graves qui mettraient en péril la croissance et le développement des végétaux. De nombreuses études ont montré les effets néfastes des renouées sur les plantes autochtones (Haury *et al.*, 2012; Kato-Noguchi, 2022), seules quelques-unes ont obtenu des résultats similaires à ceux de cette étude (Dommanget *et al.*, 2015). Ces observations sont encourageantes pour une éventuelle application *in situ*. Les plantes de restauration sélectionnées dans l'étude menée semblent pertinentes car elles ne souffrent pas de la présence de renouée, aucun stress nutritif n'est apparent. Elles arrivent à compenser l'effet de l'EEVE en adoptant des stratégies d'adaptation diverses grâce à leurs caractéristiques compétitives pour lesquelles elles ont été sélectionnées, telles que leur compétition pour la lumière, les nutriments du sol ou bien encore leur couverture végétale importante. Ces résultats mettent en avant leur fort potentiel d'utilisation pour la restauration écologique des talus ferroviaires.

#### **4.2.2. Interactions compétitives et allélochimiques**

Lorsque les interactions allélochimiques entrent en jeu, davantage de paramètres morphologiques et physiologiques sont impactés chez les plantes de restauration : deux chez les consoudes, quatre chez les poacées et quatre chez les sureaux.

Les interactions allélochimiques avec la renouée du Japon entraînent une diminution de la biomasse sèche racinaire des consoudes. Les composés allélochimiques étant essentiellement excrétés au niveau racinaire (Belz, 2007; Kato-Noguchi, 2022), la compétition allélochimique y est forte.



Comme vu précédemment, la consoude dégage également des composés allélochimiques. Pour lutter contre la renouée, cette espèce de restauration doit accroître sa défense allélochimique et synthétiser davantage de molécules ce qui pourrait diminuer le carbone alloué aux racines, expliquant la biomasse sèche plus faible de ce compartiment végétal lors d'une exposition à la renouée.

Par ailleurs, les interactions compétitives et allélochimiques semblent être synergiques. En effet, en présence de renouée, les consoudes ont des niveaux de flavonols plus élevés que lorsque seules les interactions compétitives sont possibles. Les flavonols étant corrélés négativement à la disponibilité de nutriments, notamment d'azote, l'interaction de la compétition et de l'allélochimie semble entraîner un épuisement des ressources du milieu plus rapide, engendrant un stress nutritif qui se traduit par cette augmentation des flavonols. La compétition allélochimique venant s'ajouter à la compétition physique provoque un stress plus important chez les consoudes. Ces quelques effets négatifs de l'allélochimie chez la consoude s'avèrent malgré tout indispensables pour assurer la survie et le bon développement des individus face à la renouée.

La hauteur végétative des poacées témoins, de même que leur surface foliaire, semblent être diminuées par la présence de composés allélochimiques. Toutefois, ceci ne se répercute pas sur leur métabolisme photosynthétique. De plus, les phénomènes allélochimiques semblent stimuler l'allocation de carbone dans les racines et donc leur développement. Ceci apparaît utile pour la compétition édaphique face à la renouée, les poacées ayant été sélectionnées pour leur compétition pour les nutriments du sol.

La biomasse sèche des tiges et leur diamètre sont diminués chez les sureaux exposés à la renouée. Une hypothèse peut être émise : lors d'un stress provoqué par une compétition végétale intense, les sureaux économisent le carbone alloué aux tiges, pour leur croissance, pour le relocaliser vers d'autres fonctions, telles que la défense face aux attaques allélochimiques menées par la renouée. Les tiges de sureau étant ligneuses et représentant une proportion importante, toute diminution de celles-ci se répercute inévitablement sur la biomasse totale. La biomasse sèche des racines est également affectée par la renouée, soit à cause de la compétition spatiale, soit à cause de la compétition allélochimique. Par ailleurs, le sureau est une espèce ayant un potentiel allélochimique. Les interactions allélochimiques semblent jouer un rôle important dans son développement, ce qui est sous-entendu par la diminution de la biomasse sèche des tiges chez les sureaux témoins lorsque l'allélochimie est neutralisée par le charbon actif. Les individus doivent alors puiser davantage de carbone pour croître correctement, effort non nécessaire lorsque les composés allélochimiques sont présents. Par conséquent, il semble que ces composés aient de multiples fonctions, comme la défense et la croissance.



## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a pour but d'évaluer l'efficacité de la consoude, d'une communauté de poacées et du sureau pour lutter contre la renouée du Japon. Les résultats se sont montrés très concluants. Les poacées entraînant l'effet le plus important (diminution de 48 % des performances de la renouée), suivies de la consoude (43 %) et enfin du sureau (34 %).

Pour optimiser les chances de succès, l'idée est d'utiliser toutes ces espèces de restauration pour jouer sur leurs complémentarités fonctionnelles. Pour évaluer la pertinence de cette hypothèse, il faudrait réaliser une étude complémentaire durant laquelle ces mêmes plantes de restauration seraient testées en mélange deux à deux, puis les trois ensemble, afin de mettre en avant tout effet synergique, additif ou antagoniste.

D'après les résultats de l'étude menée ici, il a été constaté que les poacées sont plus efficaces pour limiter la croissance des renouées grâce à leurs caractéristiques compétitives mais ce sont la consoude et le sureau qui entraînent le stress physiologique le plus notable *via* leurs capacités allélochimiques. De plus, Mossé *et al.* (2017) ont démontré qu'une restauration écologique basée sur une unique espèce végétale ne permettait pas de rétablir une hétérogénéité du paysage. Par conséquent, cela laisse suggérer que ces plantes de restauration auraient toutes leurs chances d'être complémentaires, permettant le maintien d'une végétation autochtone et une régulation de cette espèce invasive sur les talus ferroviaires (Biaunier *et al.*, 2019).

Pour maximiser les chances de réussite face à cette EEVE, il faut associer différents modes de gestion (Evette *et al.*, 2018), jouer sur différentes strates végétales (Michelot-Antalik et Tehranchi, 2017) et procéder à une fauche sélective régulière dans le but d'affaiblir la renouée et limiter sa reprise (Biaunier *et al.*, 2019; Chanudet-Buttet *et al.*, 2017; Dommanget *et al.*, 2015), le temps que les plantes de restauration s'acclimatent et s'approprient le milieu.

De plus en plus, des études cherchent à valoriser la biomasse de la renouée du Japon. Ceci peut être par méthanisation (Le Roux *et al.*, 2017) ou bien encore par éco-pâturage (Bozec *et al.*, 2019; Haury *et al.*, 2012). La renouée trouve aussi un intérêt en médecine et en cosmétologie de par les caractéristiques d'un de ses composés allélochimiques, le resvératrol (W. Peng *et al.*, 2013).



# BIBLIOGRAPHIE

- Abgrall, C., Forey, E., Mignot, L., & Chauvat, M. (2018). Invasion by *Fallopia japonica* alters soil food webs through secondary metabolites. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.016>
- Agathokleous, E., Feng, Z., & Peñuelas, J. (2020). Chlorophyll hormesis : Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants? *Science of The Total Environment*, 726, 138637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637>
- Aguilera, A. G., Alpert, P., Dukes, J. S., & Harrington, R. (2010). Impacts of the invasive plant *Fallopia japonica* (Houtt.) on plant communities and ecosystem processes. *Biological Invasions*, 12(5), 1243-1252. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9543-z>
- Anses. (2020). *Les plantes invasives*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/content/les-plantes-invasives>
- Bailey, J. P., & Conolly, A. P. (2000). Prize-winners to pariahs—A history of Japanese knotweed s.l. (Polygonaceae) in the British Isles. *Watsonia*, 23(1), 93-110.
- Beerling, D. J., Bailey, J. P., & Conolly, A. P. (1994). Biological Flora of the British Isles—*Fallopia Japonica* (Houtt.) Ronse Decraene. *The Journal of Ecology*, 82(4), 959-979. <https://doi.org/10.2307/2261459>
- Belz, R. G. (2007). Allelopathy in crop/weed interactions—An update. *Pest Management Science*, 63(4), 308-326. <https://doi.org/10.1002/ps.1320>
- Biaunier, J., Billon, V., Breton, V., Petit, A., & Dechaume-Moncharmont, C. (2019). Renouées asiatiques et infrastructures de transport. *Sciences Eaux & Territoires*, 27, 44-49. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2019.1.08>
- Bossdorf, O., Richards, C. L., & Pigliucci, M. (2008). Epigenetics for ecologists. *Ecology Letters*, 11(2), 106-115. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01130.x>
- Bourchier, R. S., & Hezewijk, B. H. V. (2010). Distribution and Potential Spread of Japanese Knotweed (*Polygonum cuspidatum*) in Canada Relative to Climatic Thresholds. *Invasive Plant Science and Management*, 3(1), 32-39. <https://doi.org/10.1614/IPSM-09-007.1>
- Bozec, M. M., Coudreuse, J., Haury, J. J., & Foret, S. (2019). Retour d'expérience—Éco-pâturage caprin de la renouée du Japon sur zone humide en Mayenne. *Sciences Eaux & Territoires*, 27, 92-95. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2019.1.16>
- Bradley, B. A., Blumenthal, D. M., Wilcove, D. S., & Ziska, L. H. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(5), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.12.003>



- Callaway, R. M., Cipollini, D., Barto, K., Thelen, G. C., Hallett, S. G., Prati, D., Stinson, K., & Klironomos, J. (2008). Novel Weapons : Invasive Plant Suppresses Fungal Mutualists in America but Not in Its Native Europe. *Ecology*, *89*(4), 1043-1055. <https://doi.org/10.1890/07-0370.1>
- Callaway, R. M., & Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons : Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*(8), 436-443. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0436:NWISAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0436:NWISAT]2.0.CO;2)
- Cappuccino, N., & Carpenter, D. (2005). Invasive exotic plants suffer less herbivory than non-invasive exotic plants. *Biology Letters*, *1*(4), 435-438. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0341>
- Cartelat, A., Cerovic, Z. G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.-L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Agati, G., & Moya, I. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, *91*(1), 35-49. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.002>
- Chanudet-Buttet, B., Amiaud, B., Bayer, N., Casciola, E., Gérant, D., Jurjanz, S., Labidi, M., Lerch, S., Le Roux, Y., Michelot-Antalik, A., Montagne, P., Morin-Larochette, N., & Tehranchi, M. (2017). Epuisement des renouées asiatiques : La fauche répétée. *Colloque SPIGEST*. [https://spigestinvasives.files.wordpress.com/2017/10/epuisement\\_fauchage-rc3a9pc3a9tc3a9-b-chanudet.pdf](https://spigestinvasives.files.wordpress.com/2017/10/epuisement_fauchage-rc3a9pc3a9tc3a9-b-chanudet.pdf)
- Christina, M., Rouifed, S., Puijalon, S., Vallier, F., Meiffren, G., Bellvert, F., & Piola, F. (2015). Allelopathic effect of a native species on a major plant invader in Europe. *The Science of Nature*, *102*(3), 12. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1263-x>
- Collard, J., Mossé, N., & Kenens, M. (2018). Guide pratique pour une gestion raisonnée des renouées asiatiques. *SPIGEST*. *Convention on Biological Diversity*, (1992). <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Steege, H. ter, Morgan, H. D., Heijden, M. G. A. van der, Pausas, J. G., & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, *51*(4), 335-380. <https://doi.org/10.1071/bt02124>
- D'Abrosca, B., DellaGreca, M., Fiorentino, A., Monaco, P., Previtera, L., Simonet, A. M., & Zarrelli, A. (2001). Potential allelochemicals from *Sambucus nigra*. *Phytochemistry*, *58*(7), 1073-1081. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00401-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00401-0)
- De Waal, L. C. (2001). A viability study of *Fallopia japonica* stem tissue. *Weed Research*, *41*(5), 447-460. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00249.x>



- Del Moral, R., & Cates, R. G. (1971). Allelopathic Potential of the Dominant Vegetation of Western Washington. *Ecology*, 52(6), 1030-1037. <https://doi.org/10.2307/1933809>
- Delbart, E., Mahy, G., Weickmans, B., Henriët, F., Crémer, S., Pieret, N., Vanderhoeven, S., & Monty, A. (2012). Can Land Managers Control Japanese Knotweed? Lessons from Control Tests in Belgium. *Environmental Management*, 50(6), 1089-1097. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9945-z>
- DeLong, A., Mockaitis, K., & Christensen, S. (2002). Protein phosphorylation in the delivery of and response to auxin signals. *Plant Molecular Biology*, 49(3), 285-303. <https://doi.org/10.1023/A:1015246828230>
- Djeddour, D. H., & Shaw, R. H. (2010). The Biological Control of Fallopia Japonica in Great Britain : Review and Current Status. *Outlooks on Pest Management*, 21(1), 15-18. <https://doi.org/10.1564/21feb04>
- Dommanget, F. (2014). *Interactions entre espèces invasives et communautés végétales des berges de cours d'eau : Vers l'utilisation du génie écologique dans le contrôle des renouées asiatiques.*
- Dommanget, F., Breton, V., Forestier, O., Poupart, P., Daumergue, N., & Evette, A. (2015). Contrôler des Renouées invasives par les techniques de génie écologique : Retours d'expérience sur la restauration de berges envahies. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 70, 215-228.
- Dommanget, F., Evette, A., Spiegelberger, T., Gallet, C., Pacé, M., Imbert, M., & Navas, M.-L. (2014). Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques. *Journal of Environmental Management*, 132, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.024>
- Dommanget, F., Spiegelberger, T., Cavallé, P., & Evette, A. (2013). Light Availability Prevails Over Soil Fertility and Structure in the Performance of Asian Knotweeds on Riverbanks : New Management Perspectives. *Environmental Management*, 52(6), 1453-1462. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0160-3>
- Douhovnikoff, V., & Dodd, R. S. (2015). Epigenetics : A potential mechanism for clonal plant success. *Plant Ecology*, 216(2), 227-233. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0430-z>
- Dutartre, A. (2021). Premiers essais de contrôle biologique des renouées asiatiques au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. *Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes.* <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/premiers-essais-de-contrôle-biologique-des-renouees-asiatiques/>
- Engler, J., Abt, K., & Buhk, C. (2011). Seed characteristics and germination limitations in the highly invasive Fallopia japonica s.l. (Polygonaceae). *Ecological Research*, 26(3), 555-562. <https://doi.org/10.1007/s11284-011-0813-8>



- Evans, J. R., & Poorter, H. (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance : The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell & Environment*, 24(8), 755-767. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00724.x>
- Evette, A., Biaunier, J., Cottet, M., Dommaget, F., Breton, V., Borgniet, L., Martin, F.-M., Billon, V., Honegger, A., & Jaymond, D. (2018). Dynarp : Dynamique paysagère des renouées sur les infrastructures de transport—Rapport final. *Programme ITTECOP*.
- Fan, K., Li, F., Chen, X., Li, Z., & Mulla, D. J. (2022). Nitrogen Balance Index Prediction of Winter Wheat by Canopy Hyperspectral Transformation and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(14), 3504. <https://doi.org/10.3390/rs14143504>
- Fan, P., Hostettmann, K., & Lou, H. (2010). Allelochemicals of the invasive neophyte *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc. (Polygonaceae). *Chemoecology*, 20(3), 223-227. <https://doi.org/10.1007/s00049-010-0052-4>
- Gerber, E., Krebs, C., Murrell, C., Moretti, M., Rocklin, R., & Schaffner, U. (2008). Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biological Conservation*, 141(3), 646-654. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.009>
- Hatier, J.-H. B., & Gould, K. S. (2008). Foliar anthocyanins as modulators of stress signals. *Journal of Theoretical Biology*, 253, 625-627. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.04.018>
- Haury, J., Moreau, C., Bozec, Y. M., Arsène, D., Paulet, Y.-M., & Cabral, T. (2012). Expérimentation de gestion raisonnée de la Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*). Site du « Moulin à papier », à Saint Calais du Désert (53). Synthèse d'intervention 2011 et rappel des résultats 2010. *Agrocampus Ouest site de Rennes*.
- Hollingsworth, M. L., & Bailey, J. P. (2000). Evidence for massive clonal growth in the invasive weed *Fallopia japonica* (Japanese Knotweed). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 133(4), 463-472. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2000.tb01589.x>
- Inderjit, & Callaway, R. M. (2003). Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*, 256(1), 1-11. <https://doi.org/10.1023/A:1026242418333>
- Inderjit, Evans, H., Crocoll, C., Bajpai, D., Kaur, R., Feng, Y.-L., Silva, C., Carreón, J. T., Valiente-Banuet, A., Gershenson, J., & Callaway, R. M. (2011). Volatile chemicals from leaf litter are associated with invasiveness of a Neotropical weed in Asia. *Ecology*, 92(2), 316-324. <https://doi.org/10.1890/10-0400.1>



- IPBES. (2019). *Communiqué de presse: Le dangereux déclin de la nature: Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. <https://ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr>
- Kappes, H., Lay, R., & Topp, W. (2007). Changes in Different Trophic Levels of Litter-dwelling Macrofauna Associated with Giant Knotweed Invasion. *Ecosystems*, 10(5), 734-744. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9052-9>
- Kato-Noguchi, H. (2022). Allelopathy of Knotweeds as Invasive Plants. *Plants*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.3390/plants11010003>
- Keane, R. M., & Crawley, M. J. (2002). Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(4), 164-170. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02499-0](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02499-0)
- Lamberti-Raverot, B., Piola, F., Thiébaud, M., Guillard, L., Vallier, F., & Puijalon, S. (2017). Water dispersal of the invasive complex Fallopia: The role of achene morphology. *Flora*, 234, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.07.009>
- Landi, M., Tattini, M., & Gould, K. S. (2015). Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.012>
- Lankau, R. A., & Kliebenstein, D. J. (2009). Competition, Herbivory and Genetics Interact to Determine the Accumulation and Fitness Consequences of a Defence Metabolite. *Journal of Ecology*, 97(1), 78-88.
- Laviolette, F. (2017). Renouées du Japon: Lutte biologique par plantes grimpantes—Restauration. *Colloque SPIGEST*. <https://spigestinvasives.files.wordpress.com/2017/10/presentation-franc3a7ois-laviolette.pdf>
- Lavoie, C. (2017). The impact of invasive knotweed species (*Reynoutria* spp.) on the environment: Review and research perspectives. *Biological Invasions*, 19(8), 2319-2337. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1444-y>
- Le Roux, Y. (2017). Gestion de la renouée par bâchage. *Colloque SPIGEST*, 37.
- Le Roux, Y., Pacaud, S., & Chanudet-Buttet, B. (2017). Sécurisation de la valorisation des herbes de bord de route par méthanisation: Quelle faisabilité de l'intégration des renouées asiatiques. *Colloque SPIGEST*. <https://spigestinvasives.files.wordpress.com/2017/10/mc3a9thanisation-des-renouc3a9es-y-le-roux.pdf>
- Lee, C.-S., Cho, Y.-C., Shin, H.-C., Kim, G.-S., & Pi, J.-H. (2010). Control of an invasive alien species, *Ambrosia trifida* with restoration by introducing willows as a typical riparian vegetation. *Journal of Ecology and Environment*, 33(2), 157-164. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2010.33.2.157>



- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development : A review. *Advances in Environmental Biology*, *10*(9), 209-219.
- Lekberg, Y., Bever, J. D., Bunn, R. A., Callaway, R. M., Hart, M. M., Kivlin, S. N., Klironomos, J., Larkin, B. G., Maron, J. L., Reinhart, K. O., Remke, M., & van der Putten, W. H. (2018). Relative importance of competition and plant–soil feedback, their synergy, context dependency and implications for coexistence. *Ecology Letters*, *21*(8), 1268-1281. <https://doi.org/10.1111/ele.13093>
- Lerch, S., Michelot-Antalik, A., Guillier, M., Kenens, M., Marion, A., Morellato, R., Janser, D., & Wieser, L. (2016). L'écopâturage caprin, une méthode de lutte efficiente face à l'invasion des Renouées asiatiques en milieu urbain. *3R - Rencontres Recherches Ruminants*.
- Li, J., Zhang, F., Qian, X., Zhu, Y., & Shen, G. (2015). Quantification of rice canopy nitrogen balance index with digital imagery from unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing Letters*, *6*(3), 183-189. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2015.1021934>
- Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning : Recent theoretical advances. *Oikos*, *91*(1), 3-17. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.910101.x>
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. (2007). 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. *IUCN Species Survival Commission (SSC), Invasive Species Specialist Group*.
- MacArthur, R., & Levins, R. (1967). The Limiting Similarity, Convergence, and Divergence of Coexisting Species. *The American Naturalist*, *101*(921), 377-385. <https://doi.org/10.1086/282505>
- Mathesius, U. (2018). Flavonoid Functions in Plants and Their Interactions with Other Organisms. *Plants*, *7*(2), 30. <https://doi.org/10.3390/plants7020030>
- Michelot-Antalik, A., & Tehranchi, M. (2017). Bases scientifiques de la restauration écologique terrestre. *Colloque SPIGEST*.
- Mitchell, C. E., & Power, A. G. (2003). Release of invasive plants from fungal and viral pathogens. *Nature*, *421*(6923), 625-627. <https://doi.org/10.1038/nature01317>
- Mossé, N., Collard, J., & Montagne, P. (2017). Mise en œuvre de plans de lutte et de gestion face à l'invasion des renouées asiatiques. *Colloque SPIGEST*.
- Murrell, C., Gerber, E., Krebs, C., Parepa, M., Schaffner, U., & Bossdorf, O. (2011). Invasive knotweed affects native plants through allelopathy. *American Journal of Botany*, *98*(1), 38-43. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000135>



- Nix, A., Paull, C., & Colgrave, M. (2017). Flavonoid Profile of the Cotton Plant, *Gossypium hirsutum* : A Review. *Plants*, 6(4), 43. <https://doi.org/10.3390/plants6040043>
- Parepa, M., & Bossdorf, O. (2016). Testing for allelopathy in invasive plants : It all depends on the substrate! *Biological Invasions*, 18(10), 2975-2982. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1189-z>
- Parepa, M., Fischer, M., Krebs, C., & Bossdorf, O. (2014). Hybridization increases invasive knotweed success. *Evolutionary Applications*, 7(3), 413-420. <https://doi.org/10.1111/eva.12139>
- Peer, W. A., & Murphy, A. S. (2006). Flavonoids as Signal Molecules : Targets of Flavonoid Action. In E. Grotewold (Éd.), *The Science of Flavonoids* (p. 239-268). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-28822-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-28822-2_9)
- Peng, M., Bi, Y.-M., Zhu, T., & Rothstein, S. J. (2007). Genome-wide analysis of Arabidopsis responsive transcriptome to nitrogen limitation and its regulation by the ubiquitin ligase gene NLA. *Plant Molecular Biology*, 65(6), 775-797. <https://doi.org/10.1007/s11103-007-9241-0>
- Peng, M., Hannam, C., Gu, H., Bi, Y.-M., & Rothstein, S. J. (2007). A mutation in NLA, which encodes a RING-type ubiquitin ligase, disrupts the adaptability of Arabidopsis to nitrogen limitation. *The Plant Journal*, 50(2), 320-337. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03050.x>
- Peng, M., Hudson, D., Schofield, A., Tsao, R., Yang, R., Gu, H., Bi, Y.-M., & Rothstein, Steven. J. (2008). Adaptation of Arabidopsis to nitrogen limitation involves induction of anthocyanin synthesis which is controlled by the NLA gene. *Journal of Experimental Botany*, 59(11), 2933-2944. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern148>
- Peng, W., Qin, R., Li, X., & Zhou, H. (2013). Botany, phytochemistry, pharmacology, and potential application of *Polygonum cuspidatum* Sieb.et Zucc. : A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 148(3), 729-745. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.05.007>
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J., Gurvich, D., Urcelay, C., Veneklaas, E., Reich, P., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., Vos, A. C., & Cornelissen, J. (2013). New handbook for standardise measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167-234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Perry, L. G., & Galatowitsch, S. M. (2006). Light competition for invasive species control : A model of cover crop–weed competition and implications for *Phalaris arundinacea* control in sedge meadow wetlands. *Euphytica*, 148(1), 121-134. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-5946-4>
- Pigliucci, M. (2001). *Phenotypic Plasticity : Beyond Nature and Nurture*. JHU Press.



- Pollastri, S., & Tattini, M. (2011). Flavonols : Old compounds for old roles. *Annals of Botany*, 108(7), 1225-1233. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr234>
- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots : Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), 30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Rice, E. L. (1984). Allelopathy. *Experimental Agriculture*, 21(3). <https://doi.org/10.1017/S0014479700012692>
- Richards, C. L., Schrey, A. W., & Pigliucci, M. (2012). Invasion of diverse habitats by few Japanese knotweed genotypes is correlated with epigenetic differentiation. *Ecology Letters*, 15(9), 1016-1025. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01824.x>
- Rouifed, S. (2011). *Bases scientifiques pour un contrôle des renouées asiatiques : Performances du complexe hybride Fallopia en réponse aux contraintes environnementales* [These de doctorat, Lyon 1]. <https://www.theses.fr/2011LYO10006>
- Rouifed, S., Piola, F., & Spiegelberger, T. (2014). Invasion by Fallopia spp. In a French upland region is related to anthropogenic disturbances. *Basic and Applied Ecology*, 15(5), 435-443. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.07.005>
- Sásik, R., & Jnr, P. E. (2006). Rhizome regeneration of Fallopia japonica (Japanese knotweed) (Houtt.) Ronse Decr. I. Regeneration rate and size of regenerated plants. *Folia Oecologica*, 33(1), 57-63.
- Schnitzler, A., & Muller, S. (1998). Écologie et biogéographie de plantes hautement invasives en Europe : Les renouées géantes du Japon (Fallopia japonica et F. sachalinensis). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 53(1). <http://hdl.handle.net/2042/54881>
- Shea, K., & Chesson, P. (2002). Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(4), 170-176. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02495-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02495-3)
- Skubała, P., & Mierny, A. (2009). Invasive Reynoutria taxa as a contaminant of soil. Does it reduce abundance and diversity of microarthropods and damage soil habitat? *Pesticides*, 1-4, 57-62.
- SNCF. (2021). *Le programme REEVES | Présentation*. SNCF Réseau - Grand Est. <https://www.sncf-reseau.com/fr/reseau/grand-est/programme-reeves/presentation-0>
- Society for Ecological Restoration International, Science & Policy Working Group. (2004). L'ABCdaire sur l'écologie de la restauration. *SER & Tucson : Society for Ecological Restoration International*. <http://www.genieecologique.fr/reference-biblio/labcaire-sur-lecologie-de-la-restauration>



- Stewart, A. J., Chapman, W., Jenkins, G. I., Graham, I., Martin, T., & Crozier, A. (2001). The effect of nitrogen and phosphorus deficiency on flavonol accumulation in plant tissues. *Plant, Cell & Environment*, 24(11), 1189-1197. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00768.x>
- Sukopp, H., & Starfinger, U. (1995). *Reynoutria sachalinensis* in Europe and in the Far East : A comparison of the species ecology in its native and adventive distribution ranges. In *Plant invasions—General aspects and special problems* (p. 151-159).
- Taylor, L. P., & Grotewold, E. (2005). Flavonoids as developmental regulators. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(3), 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.03.005>
- Tehranchi, M., Montagne, P., Gérant, D., Jacquot, G., Lerch, S., Wieser, L., & Michelot-Antalik, A. (2017). Épuisement par fauches répétées et restauration par compétition végétale. *Colloque SPIGEST*. <https://spigestinvasives.files.wordpress.com/2017/10/epuisement-par-fauches-rc3a9pc3a9tc3a9es-et-restauration-par-comp3a9tition-vc3a9gc3a9tale.pdf>
- Thompson, J. D., McNEILLY, T., & Gay, A. J. (1991). Population variation in *Spartina anglica* C. E. Hubbard. *New Phytologist*, 117(1), 115-128. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00951.x>
- Tiébré, M.-S., Saad, L., & Mahy, G. (2008). Landscape dynamics and habitat selection by the alien invasive *Fallopia* (Polygonaceae) in Belgium. *Biodiversity and Conservation*, 17(10), 2357-2370. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9386-4>
- Topp, W., Kappes, H., & Rogers, F. (2008). Response of ground-dwelling beetle (Coleoptera) assemblages to giant knotweed (*Reynoutria* spp.) invasion. *Biological Invasions*, 10(4), 381-390. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9137-6>
- Urgenson, L. S., Reichard, S. H., & Halpern, C. B. (2009). Community and ecosystem consequences of giant knotweed (*Polygonum sachalinense*) invasion into riparian forests of western Washington, USA. *Biological Conservation*, 142(7), 1536-1541. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.023>
- Van Kleunen, M., Weber, E., & Fischer, M. (2010). A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters*, 13(2), 235-245. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01418.x>
- Violle, C., Garnier, E., Lecoœur, J., Roumet, C., Podgeur, C., Blanchard, A., & Navas, M.-L. (2009). Competition, traits and resource depletion in plant communities. *Oecologia*, 160(4), 747-755. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1333-x>
- Williams, V.-R. J., & Sahli, H. F. (2016). A Comparison of Herbivore Damage on Three Invasive Plants and Their Native Congeners : Implications for the Enemy Release Hypothesis. *Castanea*, 81(2), 128-137. <https://doi.org/10.2179/15-069>



Zhang, Z., Liu, Y., Yuan, L., Weber, E., & van Kleunen, M. (2021). Effect of allelopathy on plant performance: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 24(2), 348-362. <https://doi.org/10.1111/ele.13627>

## SITOGRAPHIE

Anses. (2020). Les plantes invasives. *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*. Consulté 26 décembre 2021, à l'adresse <https://www.anses.fr/fr/content/les-plantes-invasives>

Dutartre, A. (2021). Premiers essais de contrôle biologique des renouées asiatiques au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. *Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes*. Consulté le 18 février 2022, à l'adresse <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/premiers-essais-de-contrôle-biologique-des-renouees-asiatiques/>

IPBES. (2019). Communiqué de presse: Le dangereux déclin de la nature: Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Consulté le 16 février 2022, à l'adresse <https://ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr>

SNCF. (2021). Le programme REEVES | Présentation. *SNCF Réseau - Grand Est*. Consulté 7 février 2022, à l'adresse <https://www.sncf-reseau.com/fr/reseau/grand-est/programme-reeves/presentation-0>



# RÉSUMÉ

La renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) fait partie des espèces exotiques envahissantes majeures en France. Elle cause de nombreux problèmes au niveau des voies ferrées, c'est pourquoi la SNCF a lancé un projet pour lutter contre elle. La consoude Bocking 14 (*Symphytum x uplandicum*), le dactyle (*Dactylis glomerata*), la fétuque élevée (*Festuca arundinacea*), le fromental (*Arrhenatherum elatius*) et le sureau de montagne (*Sambucus racemosa*) ont été testés pour évaluer leur efficacité de lutte vis-à-vis de la renouée. Il s'est avéré que ces plantes de restauration ont un effet négatif très concluant sur la croissance et le développement de la renouée, notamment sur sa hauteur végétative, son nombre de feuilles et de tiges, le diamètre de ses tiges, sa surface foliaire, ses pigments photosynthétiques et son allocation de carbone. De plus, les plantes de restauration testées sont relativement peu impactées par cette espèce invasive. Elles apparaissent donc comme de bons candidats dans la lutte biologique contre la renouée du Japon et la restauration écologique des talus ferroviaires en permettant de réduire ses performances de 48 % pour les poacées, de 43 % pour la consoude et de 34 % pour le sureau.

Mots clés : renouée du Japon, espèce invasive, restauration écologique, compétition végétale, allélochimie

# ABSTRACT

Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*) is one of the major invasive alien species in France. It causes many problems at the level of railroads, that is why the SNCF has launched a project to limit its growth. Bocking 14 comfrey (*Symphytum x uplandicum*), cocksfoot (*Dactylis glomerata*), tall fescue (*Festuca arundinacea*), wheatgrass (*Arrhenatherum elatius*) and mountain elder (*Sambucus racemosa*) were tested to assess their effectiveness in controlling knotweed. These restoration plants were found to have a very conclusive negative effect on the growth and development of knotweed, including its vegetative height, number of leaves and stems, stem diameter, leaf area, photosynthetic pigments and carbon allocation. Moreover, the restoration plants tested are little impacted by this invasive species. They therefore appear to be good candidates for biological control of Japanese knotweed and ecological restoration of railway embankments by reducing its performance by 48% for poaceae, 43% for comfrey and 34% for elder.

Keywords : Japanese knotweed, invasive species, ecological restoration, plant competition, allelopathy