Allélochimie et compétition de la renouée du Japon (Reynoutria japonica) vis-à-vis de plantes candidates à des stratégies de lutte écologique contre des plantes invasives

Hélène Carletti, Hélène Lirot

▶ **To cite this version:**

Hélène Carletti, Hélène Lirot. Allélochimie et compétition de la renouée du Japon (Reynoutria japonica) vis-à-vis de plantes candidates à des stratégies de lutte écologique contre des plantes invasives. Biodiversité et Ecologie. 2021. hal-03800958

HAL Id: hal-03800958
https://hal.inrae.fr/hal-03800958

Submitted on 6 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.

Mémoire de projet tuteuré

Du 01/02/2021 au 31/07/2021 (Hélène Carletti

Du 06/04/2021 au 11/06/2021 (Hélène Lirot)

Allélochimie et compétition de la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) vis-à-vis de plantes candidates à des stratégies de lutte écologique contre des plantes invasives

CARLETTI Hélène et LIROT Hélène

Encadrants : Kergunteuil Alan

Michelot-Antalik Alice

Robin Christophe

Structure d'accueil : Laboratoire Agronomie et Environnement (Nancy)

Hélène Carletti :

Parcours ingénieur AgroParisTech ENGREF // Spécialisation en gestion des milieux naturels

Hélène Lirot :

Master 1 Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage et Forêt // Parcours Ecosystème Agricole et Forestier

Année universitaire 2020 – 2021

Remerciements

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont participé à la bonne réalisation de nos stages au sein du Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE)

Nous aimerions d'abord remercier nos deux encadrants de stage : Alice Michelot-Antalik et Alan Kergunteuil pour leurs conseils et leur aide notamment dans la rédaction de ce mémoire. Egalement nous souhaiterions remercier Christophe Robin, directeur de recherche au sein du LAE, pour son encadrement du projet.

Nous remercions également toutes les équipes du laboratoire, en particulier David Marcolet et Claude Gallois, pour leur accueil, leur gentillesse, leur aide et leurs conseils.

Sommaire

Abréviations 4

Liste des figures 5

Résumé 7

1. Introduction 1

2. Matériels et méthodes 3

2.1. Site d'étude et modèles biologiques 3

2.2. Dispositif expérimental 5

2.3. Mesure des paramètres 8

2.4. Analyse statistique 9

3. Résultats et Discussion 12

3.1. Germination et levée 12

3.2. Croissance aérienne 14

..... 19

3.3. Productivité végétale 24

4. Conclusions 33

4.1. Potentiel de restauration des trois espèces candidates contre *R. japonica* 33

4.2. Résistance des plantes de restauration face à la présence de *R. japonica* 34

5. Perspectives 35

Bibliographie 36

Annexes 38

1. Analyse du sol du site d'étude 38

2. Influence du dispositif inhibiteur d'allélochimie sur la croissance des espèces 39

3. Croissance aérienne de *R.japonica*: Nombre de tige et Surface foliaire 40

4. Croissance radiale de *B.vulgaris* 41

5. NBI des espèces restauratrices 42

6. Masse des rhizomes de *R.japonica* en fonction des différentes modalités 43

Abréviations

NBI® : Nitrogen Balance Index. Il correspond au ratio de la concentration en chlorophylle d'une structure sur sa teneur en flavonols.

REEVES : Recherche sur les Espèces Exotiques Végétales EnvahissanteS

SLA: Specific Leaf Area ($m^2.kg^{-1}$). C'est le rapport de la surface foliaire d'une feuille sur la masse de la même feuille.

SLR: Specific Root Length ($m.g^{-1}$). C'est le ratio d'une unité d'acquisition (longueur racinaire) sur une unité d'investissement (masse). Le SRL est l'équivalent du SLA mais en souterrain (Pérez-Harguindeguy et al. 2013).

Liste des figures

Tableau 1: Conditions environnementales des phytotrons 5

Tableau 2: Synthese de l'objectif sur l'impact des especes restauratrices sur (la croissance aerienne) Reynoutria japonica 18

Tableau 3: Synthese de l'objectif sur l'impact de Reynoutria japonica sur (la croissance aerienne) des especes restauratrices 24

Tableau 4: Synthese de l'objectif sur l'impact des especes restauratrices sur (la productivite aerienne) Reynoutria japonica 27

Tableau 5: Synthese de l'objectif sur l'impact de Reynoutria japonica sur (la productivite aerienne) des especes restauratrices 30

Tableau 7:SRL de Trifolium pratense et Dactylis gloemrata seuls (temoin) et en presence de Reynoutria japonica. Une lettre differente symbolise des resultats significativement differents. 31

Tableau 8: Proportion de racines fines de Trifolium pratense et Dactylis gloemrata seuls (temoin) et en presence de Reynoutria japonica. Une lettre differente symbolise des resultats significativement differents. 32

Tableau 9: Synthese de l'objectif sur l'impact des especes restauratrices sur (la productivite souterraine) Reynoutria japonica 33

Figure 1: Schema des differentes modalites de l'experimentation (n est le nombre de replicas par modalite. Le cadre en pointille rouge correspond a la competition et allelochimie des plantes de restauration envers Reynoutria japonica et inversement pour le cadre en pointilles bleu)..... 6

Figure 2: Dispositif inhibiteur d'allelopathie: vue en perspective (a), du dessus (b), et une fois mis en place (c)..... 7

Figure 3: Taux de levee de Reynoutria japonica seule (temoin) et en presence de trois plantes de restauration 12

Figure 4: Taux de germination du Dactylis glomerata (en vert) et Trifolium pratense (en bleu) seuls (temoin) ou en presence de Reynoutria japonica 13

Figure 5: Evolution de la hauteur vegetative de Reynoutria japonica (cm) seule (temoin) et en presence de trois plantes de restauration 14

Figure 6: Evolution du diametre (mm) de Reynoutria japonica seule (temoin) et en presence de trois plantes de restauration 15

Figure 7: Evolution du nombre de feuille de Reynoutria japonica seule (temoin) et en presence des trois plantes restauratrices 16

Figure 8: NBI de Reynoutria japonica seule (temoin) et en presence des trois plantes restauratricesau dernier releve de croissance 17

Figure 9: Evolution de la hauteur vegetative (cm) des especes restauratrices seules (temoin) ou en presence de Reynoutria japonica..... 19

Figure 10: Evolution du nombre de feuilles des especes restauratrices seules (temoin) et accompagnee de Reynoutria japonica 21

FIGURE 11: EVOLUTION DE LA SURFACE FOLIAIRE (CM2) DES ESPECES RESTAURATRICES SEULES (TEMOIN) OU EN PRESENCE DE REYNOUTRIA JAPONICA 22

FIGURE 12: SPECIFIC LEAF AREA (SLA) DE REYNOUTRIA JAPONICA SEULE (TEMOIN) ET EN PRESENCE DES ESPECES RESTAURATRICES . 25

FIGURE 13: COEFFICIENT D'ALLOCATIONS AERIEN DE REYNOUTRIA JAPONICA SEULE (TEMOIN) ET EN PRESENCE DES ESPECES RESTAURATRICES 26

FIGURE 14: SPECIFIC LEAF AREA (SLA) DES PLANTES RESTAURATRICES SEULES (TEMOIN) OU EN PRESENCE DE REYNOUTRIA JAPONICA 27

FIGURE 15: COEFFICIENTS D'ALLOCATION DES PLANTES COMPETITRICES SEULES (TEMOIN) OU EN PRESENCE DE REYNOUTRIA JAPONICA 29

Résumé

La renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) est une plante invasive. Sa capacité colonisatrice s'explique à la fois par des mécanismes de compétition mais aussi d'allélochimie. Le contrôle de l'expansion de cette plante est très couteux. C'est pour cela que SNCF réseau a mis en place le projet Recherche sur les Espèces Exotiques Végétales EnvahissanteS (REEVES). En parallèle d'essais de terrain, ce rapport s'intéresse aux essais en laboratoire visant à étudier les interactions compétitives et allélochimiques entre plantes. Pour cela, trois plantes de restauration ont été mise en présence de la renouée : le dactyle (*Dactylis glomerata*), l'épine-vinette (*Berberis vulgaris*) et le trèfle (*Trifolium pratense*). Un dispositif original a été développé pour piéger les composés allélochimiques régulant dans les interactions entre plantes.

Ces expérimentations ont deux objectifs. Le premier est d'évaluer la résistance des plantes de restauration face à la présence de la renouée du Japon. Nos résultats montrent que le choix des trois espèces a été judicieux. Alors que la présence de la renouée n'influence pas la germination du dactyle et du trèfle, elle a même tendance à augmenter leur croissance, certainement via des composés allélochimiques. Cependant, la renouée réduit l'accumulation de biomasse chez le trèfle. Le deuxième objectif est d'évaluer le potentiel de restauration des trois espèces contre la renouée. Bien que la renouée soit une plante avec un fort potentiel d'invasion, nos travaux permettent d'identifier quelques pistes encourageantes pour mettre en place une méthode de restauration. Deux des trois espèces que nous avons retenues réduisent différentes étapes du développement de la renouée. L'épine-vinette est sans aucun doute la plante la plus à même de lutter contre la renouée, notamment grâce à l'émission de composés allélochimiques, en réduisant directement son taux de germination, sa croissance en diamètre ou encore son nombre de feuilles. A l'exception du taux de germination, le dactyle présente des effets similaires bien que parfois non significatifs. De plus, en fin de croissance, le dactyle réduit significativement la balance azotée de la renouée indiquant ainsi l'induction d'un stress. Nous émettons l'hypothèse que le dactyle agit principalement via des processus de compétition.

Ces deux objectifs et les résultats associés permettent d'ores et déjà de réfléchir à des plantes adaptées à la mise en place d'une méthode de restauration. Prochainement, les analyses des profils allélochimqiues et les analyses pédologiques permettront de tester les modes d'actions par allélochimie et par compétition de l'épine-vinette et du dactyle, respectivement. Afin de développer des méthodes de restauration efficace, des recherches sont maintenant nécessaires pour tester des combinaisons entre plusieurs espèces de restauration agissant pas différents modes d'actions et permettant de réduire le développement de la renouée à différentes étapes de son cycle.

1. Introduction

De nos jours, à l'échelle mondiale, les invasions biologiques sont considérées comme la deuxième cause de perte de biodiversité (Clavero, García-Berthou 2005). Les espèces exotiques envahissantes, aussi appelées espèces invasives, sont définies par la convention sur la diversité biologique comme des espèces allochtones qui sont introduites, s'implantent et prolifèrent dans un écosystème. En France, un nouvel indicateur de l'observatoire national de la biodiversité, a permis de montrer que chaque département voit s'installer, cinq nouvelles espèces exotiques envahissantes tous les dix ans (Touroult et al. 2016). Parmi les taxons invasifs, plus de 189 espèces de plantes terrestres ont été répertoriées en France (Inventaire national du patrimoine naturel 2021). La convention sur la diversité biologique demande aux pays signataires de maîtriser les introductions, de contrôler ou d'éradiquer les espèces envahissantes pour répondre aux enjeux de préservation du patrimoine naturel, mais aussi pour limiter les dommages environnementaux et économiques considérables que font peser ces invasions biologiques sur le fonctionnement des écosystèmes.

Dans la lutte contre les plantes envahissantes, la restauration écologique est un processus qui vise à revenir à l'état initial ou de référence avant perturbations d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit. Ce processus doit respecter « l'intégrité de l'écosystème, son fonctionnement et sa gestion durable » (Balensiefer et al. 2004). De nombreux exemples de restauration écologique se concentrent sur des plantes invasives (telles que les ambroisies *Ambrosia* sp.) ou la berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*). Néanmoins, elle ne permet pas entièrement d'empêcher l'invasion, et les sites restaurés doivent alors être fréquemment surveillés (Hess 2020). La réussite des restaurations écologiques dépend du fonctionnement des écosystèmes mais aussi des possibilités techniques (McDonald et al. 2016), c'est pour cela qu'il est important de coordonner les recherches en écologie des plantes avec les travaux de gestion. Le pilotage des méthodes de restauration écologique nécessite une bonne connaissance des mécanismes écologiques (McDonald et al. 2016) impliqués dans les interactions entre les plantes invasives et les plantes de restauration.

En écologie des communautés, de nombreuses études se sont intéressées aux mécanismes de compétition directe ou indirecte pour mieux comprendre les interactions entre plantes invasives et espèces locales (Gallardo et al. 2016). L'étude de ces mécanismes de compétition se concentre sur l'utilisation ou la défense d'une ressource par un organisme qui en réduit la disponibilité pour un autre organisme (MacArthur, Levins 1964). De façon plus restreinte, d'autres champs disciplinaires comme l'écologie chimique s'intéressent à des mécanismes complémentaires tels que l'allélochimie. Ce cadre scientifique permet d'étudier le rôle des composés chimiques sécrétés par une plante dans les interactions avec une plante voisine (Chiapusio 2000). Des composés allélochimiques peuvent ainsi modifier la germination, le développement ou la survie de plantes alentour.

Suite à l'expansion d'espèces invasives sur les talus ferroviaires, SNCF Réseau a mis en place le projet Recherche sur les Espèces Exotiques Végétales EnvahissanteS (REEVES). Lancé en 2019, pour une durée de 4 ans, ce programme a pour but de réduire les coûts liés au contrôle de l'expansion des espèces invasives. De fait, la végétation pose de nombreuses contraintes aux abords des voies : diminution de la visibilité, ralentissement des trains voir arrêt dans le cas d'une atteinte à l'arc électrique. Les coûts d'entretien pour réduire l'expansion de ces plantes peuvent être très élevés. En Allemagne, il a été estimé que le coût des dommages directs, des méthodes de lutte et de la maintenance des milieux restaurés s'élève à environ 32 millions d'euros pour 2200 ha (Reinhardt et al. 2003). Les méthodes de lutte mises en place actuellement peuvent être mécaniques (extraction des rhizomes, fauches répétées, bâchage), chimiques (utilisation de glyphosate) (Bailey et al. 2009) ou écologique (éco-pâturage). Cependant, la méthode chimique est de moins en moins utilisée et bientôt interdite légalement à cause des risques environnementaux. La méthode mécanique reste quant à elle très coûteuse et souvent inadaptée aux milieux ferroviaires. Enfin l'éco-pâturage pose de nombreuses contraintes : entretien des animaux, suivi quotidien de ces derniers et reste difficile à mettre en place sur des talus ferroviaires. Les gestionnaires recherchent alors des solutions de contrôle plus durables et plus esthétiques pour lutter contre les espèces invasives. SNCF Réseau a centré son projet sur 5 espèces invasives : la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*), l'ailanthe (*Ailanthus altissima*), le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*), le mimosa (*Acacia dealbata*) et la canne de Provence (*Arundo donax*). Au sein du programme REEVES, le Laboratoire Agronomie et Environnement (Université de Lorraine, INRAE) s'est focalisé pour cette première année sur l'étude de *R. japonica* (famille des *Polygonaceae*) (Thiébaut et al. 2020).

Plusieurs caractéristiques biologiques expliquent le potentiel invasif de cette plante, notamment sur les berges des rivières, sur les bords de routes mais aussi sur les friches. En effet les tiges de *R. japonica* peuvent atteindre une hauteur maximale de quatre mètres de haut. Le développement de cette plante est très rapide jusqu'à cinq centimètres par jour (Muller 2004). De plus, *R. japonica* a une forte production de biomasse qui forme une litière sélective, ce qui freine le développement d'autres plantes. La plante possède également des racines et des rhizomes (organe souterrain de réserve et de multiplication) formant un réseau souterrain mesurant jusqu'à vingt mètres de long et jusqu'à trois mètres de profondeur. Cette plante, très consommatrice en azote, séquestre ce dernier dans le sol grâce à ses organes souterrains puis le remobilise au printemps lors de sa croissance. Elle est également capable de transférer les nutriments le long de ses rhizomes. Elle dispose en plus de la reproduction sexuée avec ses fleurs, d'une reproduction végétative facilitant sa colonisation. De fait un petit bout de rhizomes de moins d'un gramme peut aboutir à un nouveau clone (Bailey et al. 2009). Ces rhizomes sont très résistants notamment au gel et peuvent rester en dormance pendant dix ans. Bien que *R. japonica* présente des propriétés allélochimiques suspectées d'expliquer son potentiel invasif, très peu d'études ont caractérisé les substances biochimiques impliquées. L'une

d'entre elles a montré que les effets allélochimiques pourraient être différents en fonction des conditions biotiques et abiotiques du milieu (Rouifed et al. 2018). Par ailleurs, les études des composés allélochimiques restent trop souvent purement descriptives. Des approches expérimentales sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact des composés allélochimiques sur les plantes voisines.

Nous avons formé un groupe de travail composé de trois encadrants et de deux stagiaires pour mener à bien une expérimentation en conditions contrôlées. Nous avons étudié les interactions compétitives et alléochimiques dans les méthodes de restauration écologique contre la renouée du Japon. Nous nous sommes ainsi intéressés à trois plantes de restauration candidates : deux plantes herbacée, le dactyle (*Dactylis glomerata*) et le trèfle (*Trifolium pratense*), ainsi qu'un arbuste, l'épine-vinette (*Berberis vulgaris*)

Le projet de recherche se concentre sur deux objectifs. Le premier est d'évaluer la résistance des plantes de restauration face à la présence de la renouée du Japon. Ainsi nous nous demandons quel est l'effet de *R. japonica* sur la germination des deux espèces herbacées et sur la croissance aérienne et racinaire des trois plantes candidates. Nous faisons alors l'hypothèse qu'il y aura un impact négatif de *R. japonica* sur la germination et sur la croissance des espèces candidates due à des phénomènes d'allélochimie et de compétition. Le deuxième objectif est d'évaluer le potentiel de restauration des trois espèces candidates contre *R. japonica*. Ainsi nous nous demandons quel est l'effet des plantes candidates sur la levée et sur la croissance aérienne et racinaire de *R. japonica.* Ainsi, nous faisons l'hypothèse d'une diminution de la levée et de la croissance de *R. japonica* due à l'émission de composés alléopathiques de *B. vulgaris* et à la compétition des trois espèces candidates. Ces deux objectifs et les résultats associés permettront alors d'améliorer le choix des espèces de restauration contre la renouée et de mieux comprendre les processus déterminant le succès des méthodes de restauration écologique.

2. Matériels et méthodes

2.1. Site d'étude et modèles biologiques

2.1.1. Site et Sol

Le site d'étude est un talus ferroviaire SNCF aux bords de la Meuse, situé à Deville (49.88340°N, 4.70503°E) dans le département des Ardennes (08). Le sol de 0 à 40 cm de profondeur a été prélevé sur ce site les 4 mars 2020 et 18 mars 2021 puis tamisé à 2 cm sur place et ensuite tamisé à l'ENSAIA au STEVAL à 1,68 mm. Le premier prélèvement a permis d'obtenir 486 L de sol et le deuxième 600 L. Il est sableux avec un pH de 8, plutôt pauvre en substance nutritive et très drainant (très sec en surface). Il possède un faible taux de matière organique (15%), et un taux de carbonates assez élevé (26,4%). De plus, le rapport C/N est de 22 donc la minéralisation du carbone

est lente car il y a peu d'azote dans le sol pour les microorganismes, ainsi l'humus est épais (Annexe 1). Enfin le calcul au laboratoire du point de flétrissement du sol nous permet de déterminer le pourcentage d'eau liée dans le sol qui est de 16.4%.

2.1.2. R. japonica

Les rhizomes de *R. japonica* utilisés pour cette expérimentation sont issus du site de Deville, où la renouée y avait été fauchée 2 fois en 2020. Les rhizomes ont été prélevés le 18 mars 2021, sur une profondeur de 20 cm. Ils ont ensuite été sélectionnés et coupés à 7 cm de longueur sur place, stockés dans de la terre au frais (4°C) en attendant le début de l'expérimentation. La longueur des rhizomes a été standardisée à 7 cm et le diamètre entre 1,2 et 2 cm pour essayer d'avoir des potentiels de croissance proches. Les rhizomes non abîmés ont ensuite été nettoyés et mis en pot.

2.1.3. Espèces de restauration

Trois espèces de restauration ont été sélectionnées en fonction de plusieurs critères tels que le critère écologique pour savoir si les espèces sont adaptées au site de l'étude (sol, climat, type de milieu), le critère économique c'est-à-dire si les plants sont facilement implantables et si les coûts de gestion sont faibles mais aussi le critère de la praticité pour savoir si les plants sont disponibles en pépinière et si l'étude en laboratoire est possible. En plus de ces critères, les espèces ont été choisies en fonction de différents mécanismes pouvant limiter le développement de *R. japonica* et suite à de nombreux essais sur le terrain mais aussi en laboratoire menés précédemment par le LAE. Ainsi, l'épine-vinette (*B. vulgaris)* a été choisie car elle possède des propriétés aléllochimiques (composés méthanoliques) susceptibles d'altérer le développement de la renouée (Turker et al. 2008). Elle possède également un statut ligneux donc elle pourra mieux résister à l'aléllochimie de *R. japonica.* Enfin, puisqu'elle sera utilisée en tant qu'arbuste et non de semis, elle sera bien développée avant que la renouée ne commence à débourrer et pourra échapper à la compétition pour la lumière. Le trèfle violet (*T.pratense)* a également été sélectionné car il possède la capacité de fixer l'azote atmosphérique et pourra potentiellement mieux résister à la compétition en azote. La troisième espèce choisie est *D.glomerata* car cette herbacée forme rapidement un couvert végétal dense et développe un réseau racinaire fournit et pourra ainsi échapper à la compétition pour la lumière et pour l'eau.

Les plants de *B.vulgaris* utilisés dans l'expérimentation étaient sous forme d'arbuste, taillés à 40 cm de hauteur et les racines à 10 cm de longueur. Pour les deux herbacées, 8 graines ont été semées par pot et après germination 4 plants ont été repiqués et identifiés par pot. Les taux de germination de *D.glomerata* ayant été trop faibles pour assurer cette densité, 8 graines ont été ajoutées le 12 avril 2021 par pot.

2.2. Dispositif expérimental

2.2.1. Conditions

L'expérimentation se déroule dans 2 phytotrons, des enceintes fermées qui permettent de contrôler les conditions environnementales (Tableau 1).

***Tableau 1**: Conditions environnementales des phytotrons*

Température le jour (°C)	**Température la nuit (°C)**	**Hygrométrie (%)**	**Durée du jour / durée nuit (heure)**	**Luminosité ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)**
23	18	70 (standard)	16/8	300

La mise en pot a été effectuée le 2 avril 2021 et le suivi de croissance a été effectué jusqu'au 28 mai inclus[1]. Le dépotage des pots et les mesures de fin de croissance ont été échelonnés du 26 mai au 17 juin. La durée de croissance est basée sur le maximum de croissance en hauteur du dactyle, déterminé en amont par une étude menée au sein du laboratoire en interne dans les mêmes conditions. Les pots de culture et les modalités ont été répartis uniformément entre les 2 phytotrons. Dans chaque phytotron la place de chaque pot a été choisie aléatoirement grâce à un programme R, de plus, il y a une rotation de tous les pots après l'arrosage, soit 2 à 3 fois par semaine au sein de chaque phytotron afin d'uniformiser entre les pots l'environnement de croissance.

L'arrosage des pots se fait tous les 2 à 4 jours à 80% de la capacité au champ du sol. Pour calculer cette dernière, du sol a été saturé en eau pendant 24 h, puis soumis à une pression de 0.1 bar (pF=2 capacité au champ) pendant 24 h. Enfin une mesure de la teneur en eau a été réalisée avec la méthode de dessiccation à l'étuve (24 h à 105°C). La capacité au champ de ce sol est de 48,5%. A partir de cette dernière, les poids optimaux des pots, lorsqu'ils sont à 80% de la capacité au champ, ont été calculés en tenant compte des autres poids initiaux (pot, dispositif, poids initial des arbustes…).

[1] Le suivi de croissance des plants récoltés la semaine du 26 mai s'est arrêtée ce jour-là.

2.2.2. Modalités

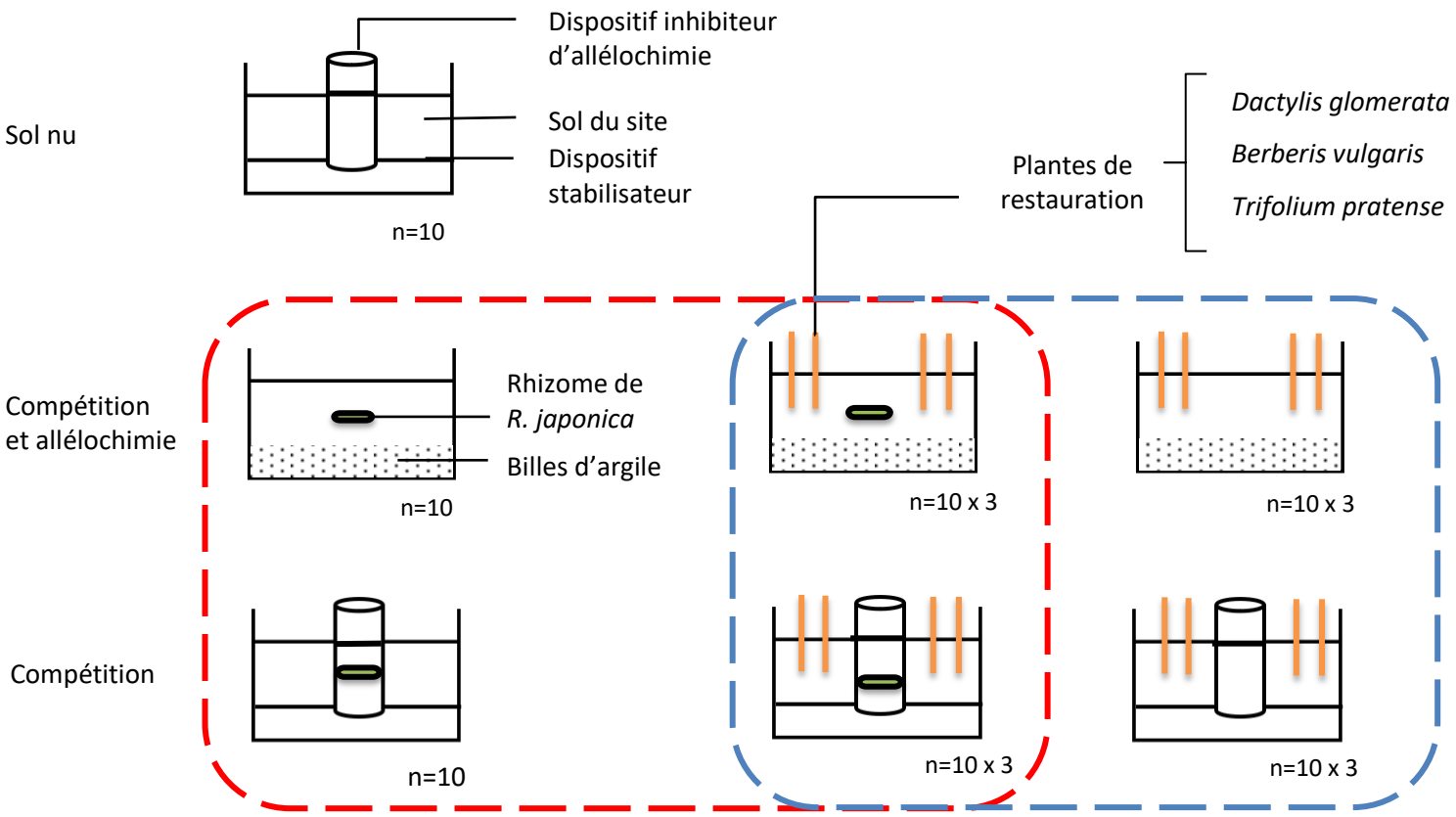


***Figure 1**: Schéma des différentes modalités de l'expérimentation (n est le nombre de réplicas par modalité. Le cadre en pointillé rouge correspond à la compétition et allélochimie des plantes de restauration envers Reynoutria japonica et inversement pour le cadre en pointillés bleu).*

L'expérimentation permet de tester les effets de l'allélochimie et de la compétition de *R. japonica* sur trois plantes de restauration, et inversement. Pour cela, différentes modalités ont été utilisées (Figure 1). Pour chaque modalité, dix réplicas sont utilisés. Une seule espèce de plante de restauration est présente par pot. Pour l'étude de la compétition uniquement, un dispositif inhibiteur d'allélochimie a été mis en place dans les pots. Nous allons décrire ce dernier dans la partie suivante.

2.2.3. Dispositif inhibiteur d'allélochimie

Pour étudier l'allélochimie, il peut être intéressant d'arriver à piéger les composés allélochimiques. Or le charbon actif possède une grande affinité pour les composés organiques (métabolites secondaires) et une faible affinité pour les électrolytes inorganiques tels que ceux trouvés dans la solution nutritive du sol (Weißhuhn, Prati 2009). Ainsi, il est intéressant de l'utiliser pour piéger les composés allélochimiques. Le charbon actif doit être séparé de la terre pour éviter un effet sur les communautés microbiennes du sol (Weißhuhn, Prati 2009) et être récupérable à la fin de l'expérimentation. C'est pour cela qu'un dispositif inhibiteur d'allélochimie a été créé pour cette étude (Figure 2). Ce dispositif a été fabriqué à partir de deux tubes concentriques en PVC maintenus

en position par de la colle PVC et emboîtés dans un dispositif stabilisateur en PVC déposé au fond du pot. Les deux tubes sont percés afin d'obtenir une porosité de 0,17 trous par cm². Un géotextile vient obturer l'orifice du tube intérieur.

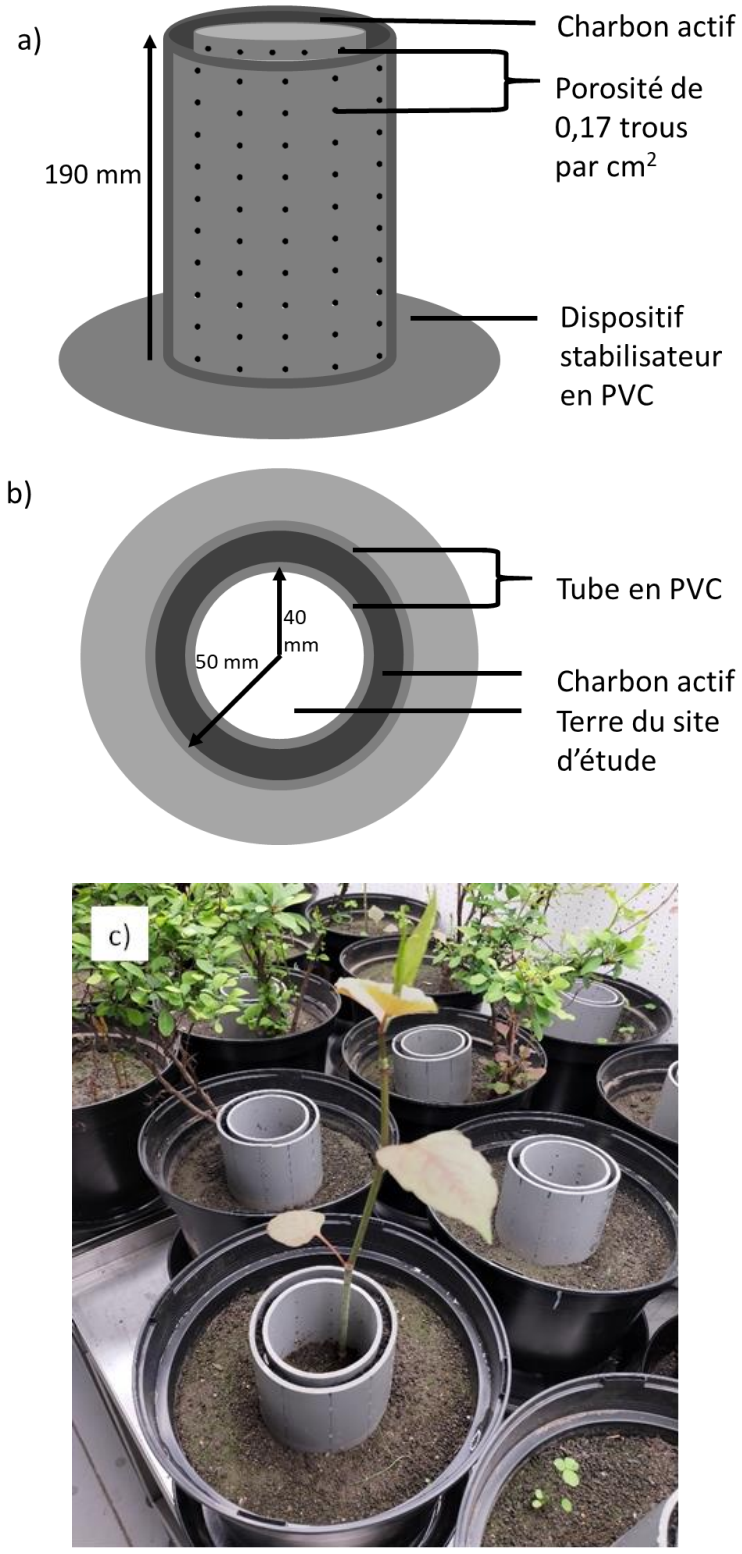


***Figure 2**: Dispositif inhibiteur d'allélopathie: vue en perspective (a), du dessus (b), et une fois mis en place (c)*

L'ensemble est placé dans les pots et, de la terre du site étudié est positionnée autour et à l'intérieur des tubes. Le charbon actif est introduit dans l'espace entre les deux tubes PVC. Les plantes de restauration sont placées à l'extérieur du dispositif tandis que *R. japonica* est à l'intérieur. L'influence de la présence du dispositif sur la croissance des herbacés est résumé dans l'annexe 2.

2.3. Mesure des paramètres

2.3.1. Mesure de germination

Lors des trois premières semaines après la mise en pot, le nombre de pousses pour les herbacées et la présence de tige pour *R. japonica* est relevé environ tous les deux jours afin d'estimer le taux de germination des herbacées et le taux de levée de *R.japonica*.

2.3.2. Mesure de croissance

Pendant toute la durée de l'expérimentation, des mesures de croissances non destructives sont effectuées hebdomadairement sur chaque individu. Les mesures des différents traits suivent les recommandations du protocole international pour les mesures de traits végétatifs (Pérez-Harguindeguy et al. 2013). La hauteur végétative maximale est mesurée à l'aide d'un mètre, sur chaque plant étiré, en partant du collet jusqu'au sommet. Le diamètre est mesuré avec un pied à coulisse à 8 cm de hauteur depuis le collet pour *R. japonica* et sur le même emplacement signalé au marqueur (situé entre 5 et 8 cm de hauteur) pour *B. vulgaris*. Le nombre de feuilles sur le rameau principal pour *B. vulgaris* et le nombre total de feuilles pour les autres espèces, ainsi que le nombre de tiges de *R. japonica* est compté manuellement. La mesure non destructive de la surface foliaire qui est réalisée grâce à un planimètre, (un instrument de mesure de surface par capteur) est faite sur une feuille mature représentative par individu, espèce et par pot. Les concentrations en chlorophylle, l'indice de flavonols et d'anthocyanes, et le NBI® (nitrogen balance index) sont déterminées avec un Dualex. Ces mesures sont faites sur 4 feuilles matures, représentatives, intactes et hors de la nervure centrale par espèce, par pot et par modalité.

2.3.3. Mesure de productivité végétale

A l'issue de la période de croissance, des récoltes destructives ont été mise en place pour estimer la productivité végétale dans chaque pot. Par soucis technique et afin de limiter le temps de récolte par pot afin d'optimiser la conservation des parties aériennes et souterraines, il fût décider d'échelonner ces mesures sur 1 mois (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Dates de récolte des différents pots par modalité et espèce

Périodes de récolte	Espèce(s) concernée(s)	Modalité(s) concernée(s)
26/05 au 27/05	*R.japonica* seule	-Competition (Témoin) -Competition x Allelopathie (Témoin)
28/05	Aucune	-Sol nu
31/05 au 03/06	*R.japonica* *D.glomerata*	-Competition (Témoin et association) -Competition x Allelopathie (Témoin et association)
07/06 au 10/06	*R.japonica* *T.pratense*	-Competition (Témoin et association) -Competition x Allelopathie (Témoin et association)
14/06 au 17/06	*R.japonica* *B.vulgaris*	-Competition (Témoin et association) -Competition x Allelopathie (Témoin et association)

A chaque date, divers relevés de productivité ont été réalisés. Pour la partie aérienne, la surface foliaire de deux feuilles de lumière d'un même individu par espèce et par pot fût mesurée à l'aide d'un planimètre puis ces dernières furent pesées ainsi que les divers compartiments (feuille, tige, pétiole, fleurs, rameau) du même individu jugé représentatif. Quant à la partie souterraine, plusieurs relevés furent menés. Tout d'abord nous avons individualisé le système racinaire d'un individu par pot (identique à celui individualisé sur les relevés aériens) pour analyse sous le logiciel Winrhizo de ses caractéristiques morphométriques. Puis nous avons également nettoyé, séparément si possible, les systèmes racinaires restants du pot pour les peser par la suite. Enfin nous avons récolté des échantillons de terre dans tous les pots et à l'intérieur et extérieur des dispositifs pour des analyses élémentaires et d'azote minéral ainsi que le charbon actif pour analyse ultérieure des composés allélochimiques.

2.4. Analyse statistique

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (Version 4.0.3 (2020-10-10)).

2.4.1. Germination et levée

Le taux de germination correspond au nombre de graines totales qui ont germées jusqu'au 19 avril pour *T. pratense* et jusqu'au 12 avril pour *D. glomerata*, date à laquelle de nouvelles graines

furent plantées faute d'un nombre suffisant pour l'expérimentation. Les données de germination pour *T. pratense* et *D. glomerata* ont été testées grâce à un test binomial exact. Le même test a été utilisé pour les données de levée de *R.japonica,* évaluées le 23 avril 2021.

2.4.2. Croissance aérienne

Les données de suivi de croissance ont été analysées par variable. L'ensemble des variables, à l'exception du NBI, ont été représentées et analysées en prenant en compte l'ensemble de la dynamique de croissance par individu en fonction du jour de leur plantation pour les plantes restauratrices ou de levée pour la Renouée. Ainsi pour la hauteur végétative et le diamètre, l'ensemble des données ont été collectées du 06 avril 2021 au 25 mai 2021. Le nombre de feuilles pris en compte pour les analyses correspond à toutes les mesures de suivi de croissance pour *T. pratense*, *D. glomerata* et *R. japonica*, c'est-à-dire du 14 avril 2021 au 26 mai 2021. Pour *B. vulgaris*, les valeurs s'arrêtent aux mesures du 5 mai 2021. En effet, après cette date un phytotron a subi des épisodes d'augmentation de température et le nombre de feuilles de *B. vulgaris* a fortement été impacté. Les données utilisées pour la surface foliaire correspondent à toutes les mesures réalisées pendant la croissance pour les herbacées et *R.japonica* (c'est-à-dire du 16 avril 2021 au 28 mai 2021). Pour *B.vulgaris* les données sont celles allant du 16 avril 2021 au 7 mai 2021 dû à la surchauffe d'un phytotron. Enfin les données de NBI présentées et analysées ici pour les herbacées et la Renouée sont celles du dernier relevé, le 19 mai 2021 afin de s'assurer d'une mise en présence la plus longue possible des espèces restauratrices avec la Renouée et vice-versa. Pour *B.vulgaris*, les données présentées sont celles du 04 mai 2021. Pour les représentations de dynamique, les modèles de régression choisis furent la régression logistique (voir Annexe 3) et logarithmique lorsque cela s'y prêtait. L'ensemble des données a été testé pour la normalité avec le test de Shapiro-Wilk et pour l'homoscédasticité avec le test de Bartlett. Des tests non paramétriques ont été effectués aux vues des résultats de ces tests. Nous avons réalisés des tests de Kruskal-Wallis suivi de comparaisons deux à deux de Dunn avec correction des probabilités critique par la méthode de Bonferroni.

2.4.3 Productivité végétale

Les données de productivité ont été mesurées sur la partie aérienne et la partie souterraine. Le jour de leur récolte a été pris en compte dans l'analyse. En ne faisant que des comparaisons intra-spécifiques pour les plantes de restauration, le décalage de croissance observée à la récolte n'est pas gênant. Pour la renouée, cette dernière a été sacrifié sur toute la période de récolte, c'est-à-dire du 26 mai au 14 juin. Or, suite à l'analyse de ses courbes de croissance, il apparaît que *R. japonica* ait atteint son plateau de croissance depuis déjà plus d'une dizaine de jours depuis le début des récoltes. Ainsi avons-nous considéré que la croissance de la Renouée entre les différentes dates de récolte étant

quasiment nulle, des comparaisons de cette espèce entre ses différentes modalités était possible en gardant les données de récolte telles quelles.

Concernant les traits fonctionnels étudiés, ces derniers sont multiples. Pour la partie aérienne, on adoptera une approche par individu en étudiant par modalité et espèces le SLA et les différents coefficients d'allocations. Pour la partie souterraine, nous nous intéresserons aux traits fonctionnels suivants : masses des rhizomes, SRL et proportion de racines fines. Cependant notre approche ne sera pas identique à tous les traits étudiés. En effet, le SRL et la proportion de racines fines étant issus des mesures sous Winrhizo, ces variables ne seront étudiés que pour le *T. pratense* et *D. glomerata.* Pour les poids des rhizomes, cela ne concernera que *R. japonica* et pourrait montrer une mobilisation des réserves différente en fonction des modalités. Les restrictions apportées sur l'étude des deux derniers traits fonctionnels est dû à la traversée du dispositif inhibiteur d'allélopathie par les racines de Renouée avec une moyenne des proportions de racines hors dispositif de 17.93% et un écart-type de 16.27% [2]. On étudiera alors non pas l'effet de la compétition seule dans les modalités avec dispositif mais l'effet de la compétition et de l'allélopathie atténuée.

Pour les représentations graphiques, des histogrammes furent choisis ainsi que des tableaux et des boîtes à moustaches. L'ensemble des données a été testé pour la normalité avec le test de Shapiro-Wilk et pour l'homoscédasticité avec le test de Bartlett. Des tests paramétriques ou non paramétriques ont été effectués en fonction des résultats de ces tests. Le test paramétrique de Student et l'ANOVA ont été utilisé lorsque la normalité des données et l'égalité des variances ont été validées. Lorsque la normalité n'était pas respectée, nous avons réalisés des tests de Kruskal-Wallis suivi de comparaisons deux à deux de Wilcoxon avec correction des probabilités critiques par la méthode de Bonferroni. Une ANOVA à un facteur avec correction de Welch et des tests de Welch ont été utilisés lorsque la normalité a été respectée mais pas l'homoscédasticité des variances. Ces tests ont été utilisés pour rechercher des différences significatives de stratégie d'allocation de la ressource en fonction des modalités.

[2] Résultats obtenus en étudiant les proportions racinaire (hors rhizomes) hors et dans les dispositifs dans la modalité témoin de « Competition » contenant seulement la Renouée.

3. Résultats et Discussion

3.1. Germination et levée

3.1.1. R. japonica

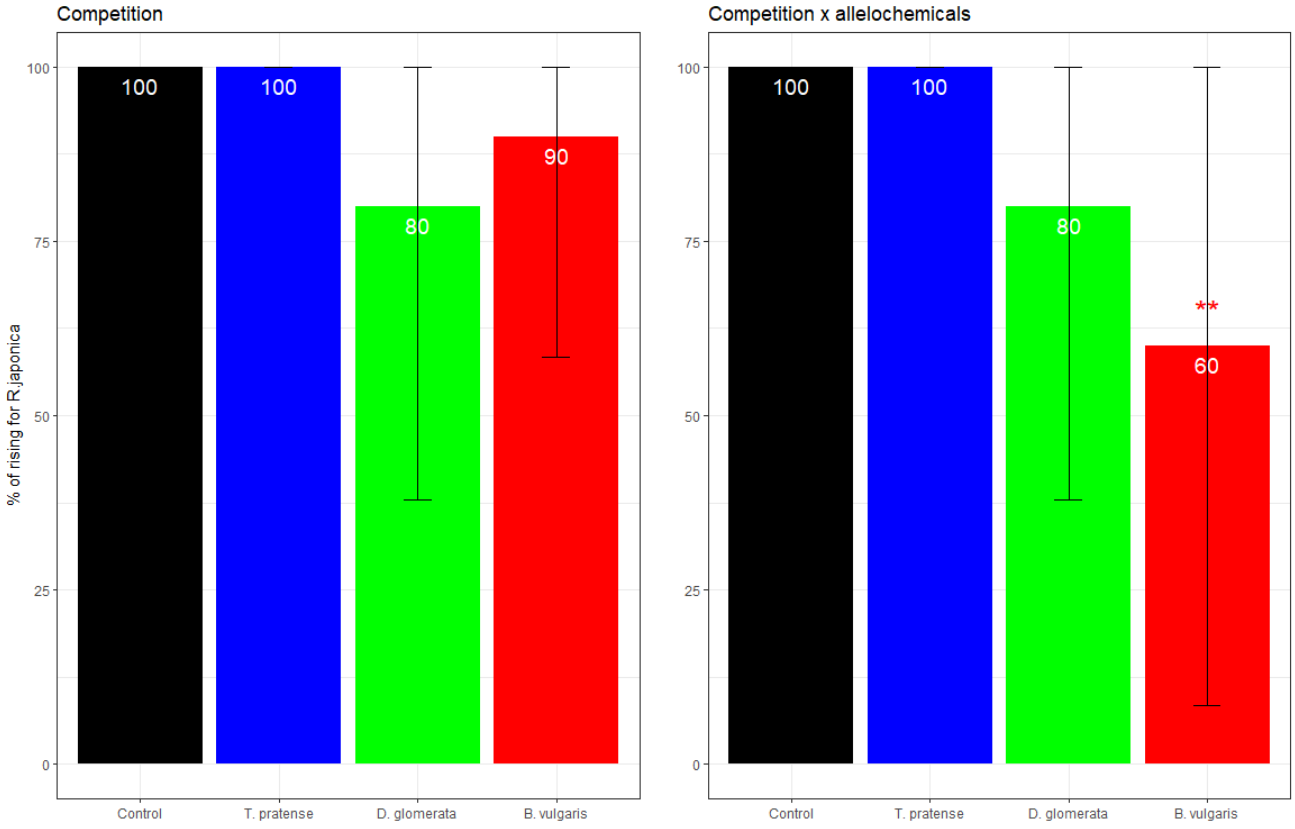


Figure 3: *Taux de levée de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence de trois plantes de restauration*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test binomial exact testant une différence avec le témoin)

La figure 3 montre que *R. japonica* a levé dans tous les pots sauf dans les modalités avec *B. vulgaris* et *D. glomerata*. Pour les deux modalités présentant *D. glomerata* le pourcentage de levée est de 80 %. Tandis que pour *B. vulgaris*, il est de 90% pour la modalité de compétition et de 60 % pour la compétition et allélochimie. Seul le traitement où la renouée est exposée aux composés allélochimiques de *B. vulgaris* présente un taux de germination significativement plus faible que les différents témoins (test binomial exact ; P=0.008). Ainsi on peut postuler que les composés allélochimiques sécrétés par *B.vulgaris* ont potentiellement inhibé la levée de la Renouée. Cette hypothèse pourra être exploitée dans l'analyse ultérieure du charbon actif.

3.1.2. Plantes de restauration

Les données de germination du *D. glomerata* qui prennent en compte la première plantation de graines, onze jours après le semis et les données de germination de *T. pratense*, 17 jours après le semis ont été représentées graphiquement en fonction des différentes modalités (Figure 4).

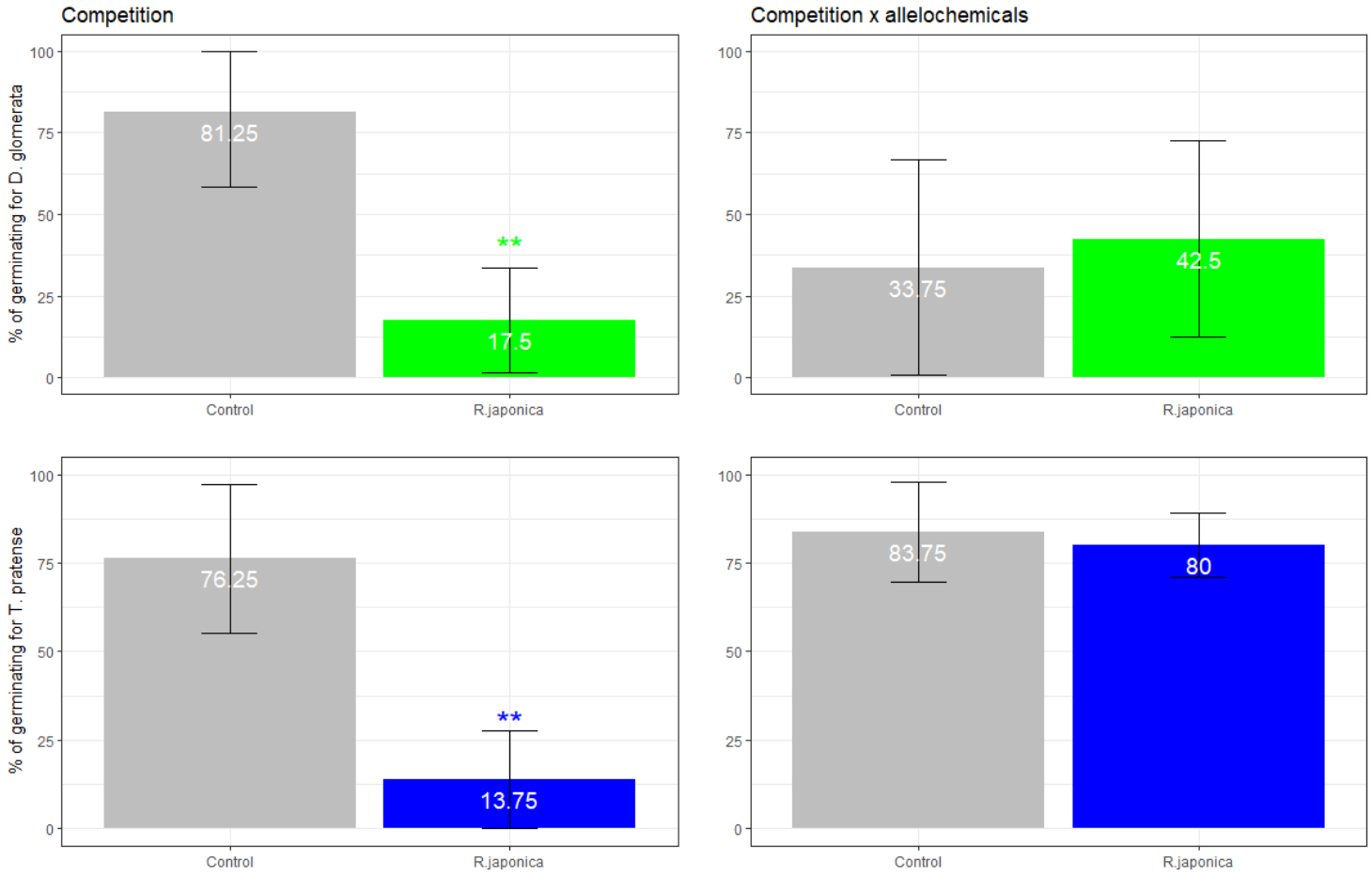


Figure 4: *Taux de germination du Dactylis glomerata (en vert) et Trifolium pratense (en bleu) seuls (témoin) ou en présence de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test binomial exact testant une différence avec le témoin)

Le graphique ci-dessus semble montrer un effet négatif significatif de la compétition exercée par *R.japonica* sur la germination du dactyle (test binomial exact ; P<0.001) et du trèfle (test binomial exact ; p.value<0.001). Cependant au vue du stade de développement jeune des herbacés ici présents, on peut postuler un effet possible de la compétition mais non exclure d'autres facteurs explicatifs comme le pH ou des facteurs biologiques comme des changements de communautés microbiennes.

3.2. Croissance aérienne

3.2.1. R. japonica

Dans cette partie, nous étudierons successivement toutes les données de croissance relatifs à *R.japonica* à savoir, dans l'ordre ; la hauteur végétative, le diamètre, le nombre de feuille et le NBI.

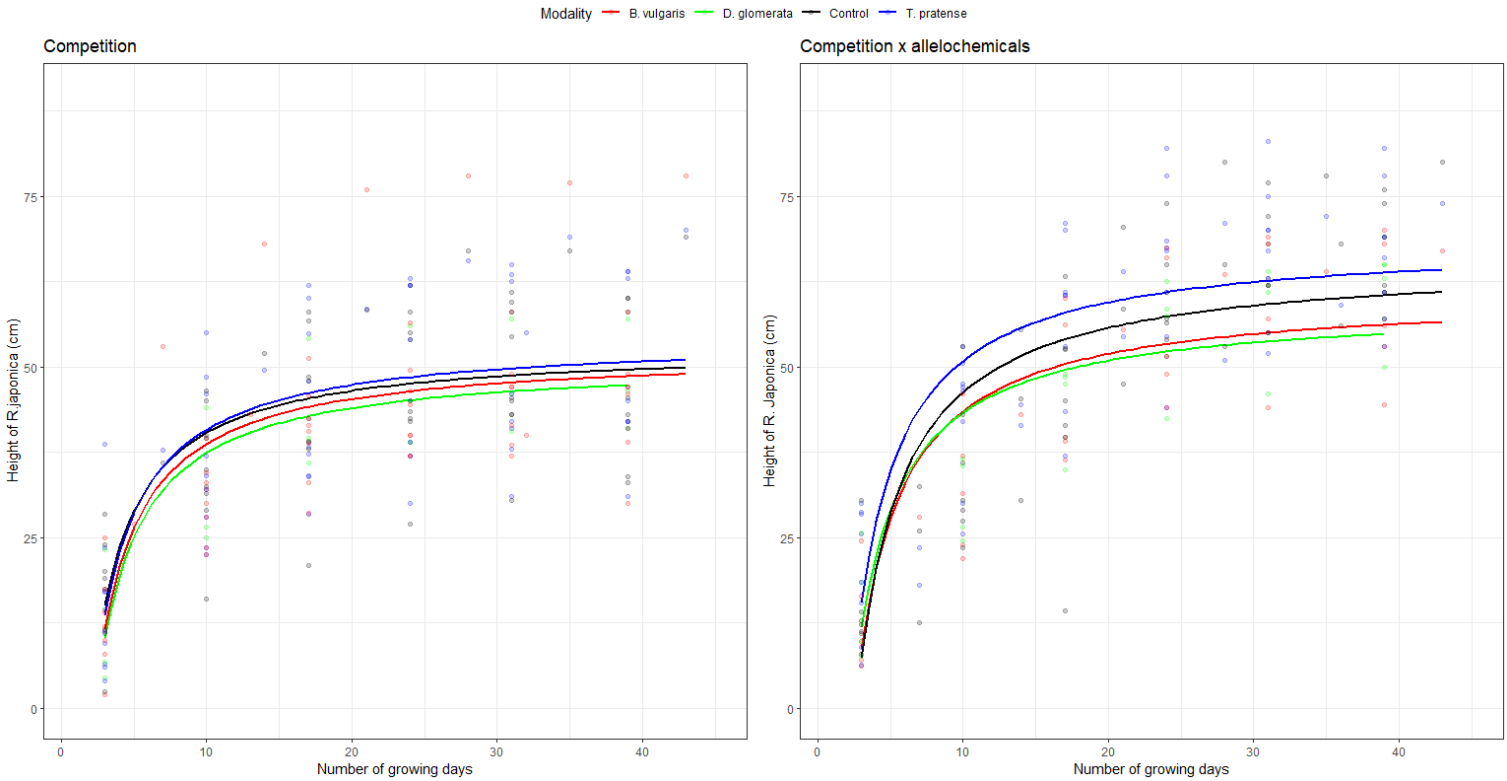


***Figure 5**: Evolution de la hauteur végétative de Reynoutria japonica (cm) seule (témoin) et en présence des trois plantes de restauration*

Régression logarithmique

La hauteur de *R. japonica* a été relevée jusqu'à sept fois, en fonction du jour de la levée. On remarque que pour toutes les modalités, la hauteur de cette plante atteint un plateau après 15 jours de croissance (Figure 5). Cependant la hauteur végétative atteint un maximum plus grand pour les modalités de « Competition » sans le dispositif inhibiteur d'allélochimie. En effet, il existe une différence significative sur l'ensemble de la croissance entre les deux témoins ($W=17.2$; $df=1$; $P<0.001$), révélant un impact négatif du dispositif inhibiteur d'allélopathie. On remarque que dans les modalités de « Competition x allelochemicals » le plateau de croissance, considéré à partir de 23 jours de croissance, de la renouée en présence du dactyle semble se positionner plus bas que le témoin mais sans significativité ($Z=1.87$; $P=0.371$). Au vue du peu de relevés dans la phase linéaire de croissance, nous ne calculerons pas les accroissements journaliers sur cette période.

Le diamètre de *R.japonica* a lui aussi été relevé jusqu'à sept fois, en fonction du jour de la levée. Son évolution temporelle au cours de la croissance est représenté figure suivante.

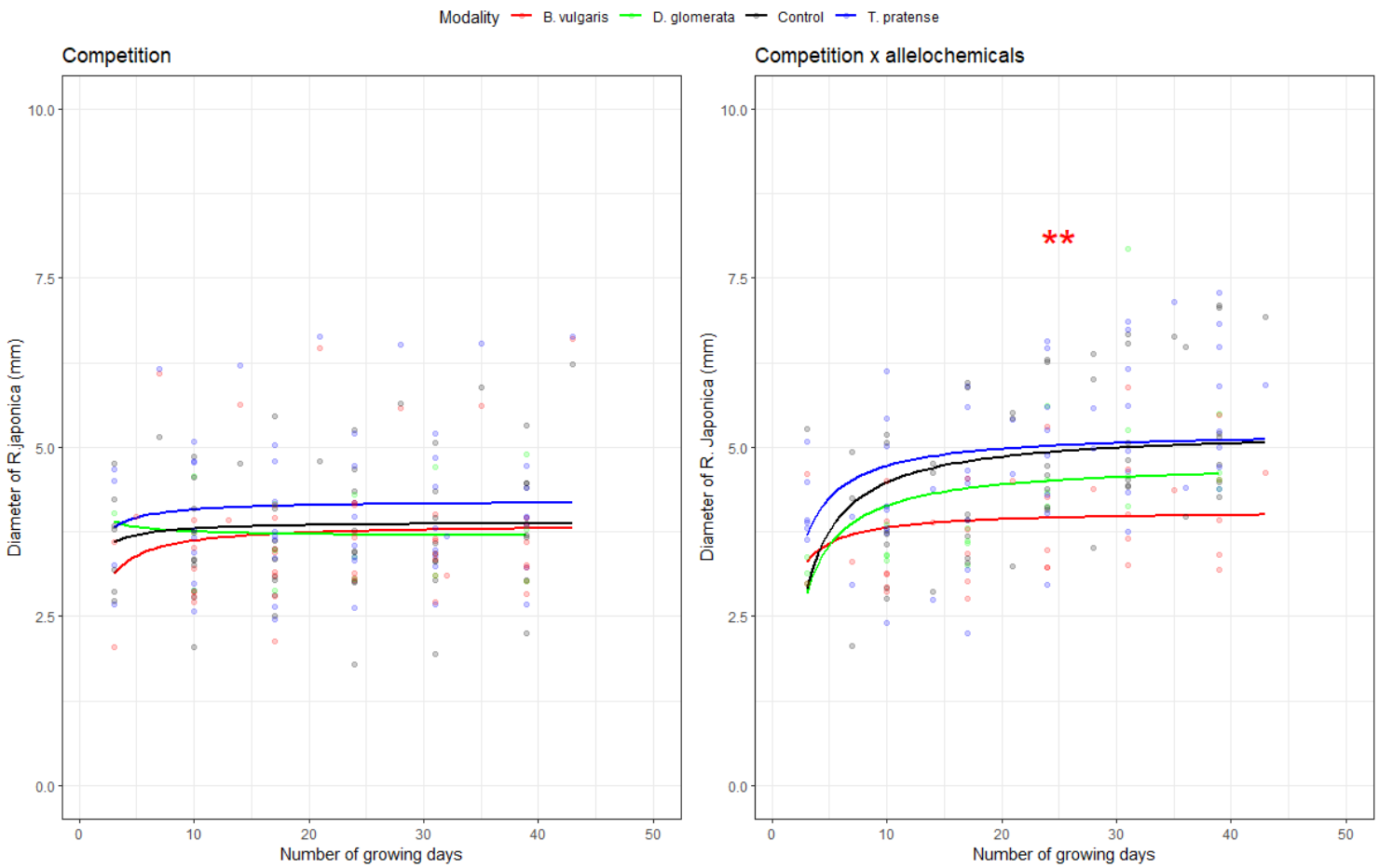


Figure 6: *Evolution du diamètre (mm) de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence des trois plantes de restauration*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

Régression logarithmique

Les deux dynamiques de croissance ne sont pas semblables. En effet l'évolution du diamètre de *R.japonica* dans les modalités de « Competition » ne semble nullement impactée par la présence des espèces restauratrices et reste constante contrairement à celle des modalités de « Competition x Allelochemicals ». De plus, il existe une différence d'évolution significative entre les deux témoins (W=17.3 ; df=1 ; P<0.001) révélant un impact négatif significatif du dispositif sur la croissance du diamètre de la Renouée. On remarque que dans les modalités de "Competition x allelochemicals", la croissance de *R.japonica* en présence de *B.vulgaris* se différencie significativement du témoin (Z=3.65 ; P<0.001). Ainsi on peut postuler que l'effet de l'allélochimie combiné à la compétition de *B.vulgaris* impacte négativement la croissance en diamètre de *R.japonica*. Au vu du peu de points dans la phase linéaire de croissance voir à son absence pour les modalités de « Competition », nous ne calculerons pas l'accroissement journalier en diamètre.

Le nombre de feuille de *R.japonica* a lui aussi été relevé jusqu'à sept fois, en fonction du jour de la levée. Son évolution temporelle au cours de la croissance est représenté Figure 7.

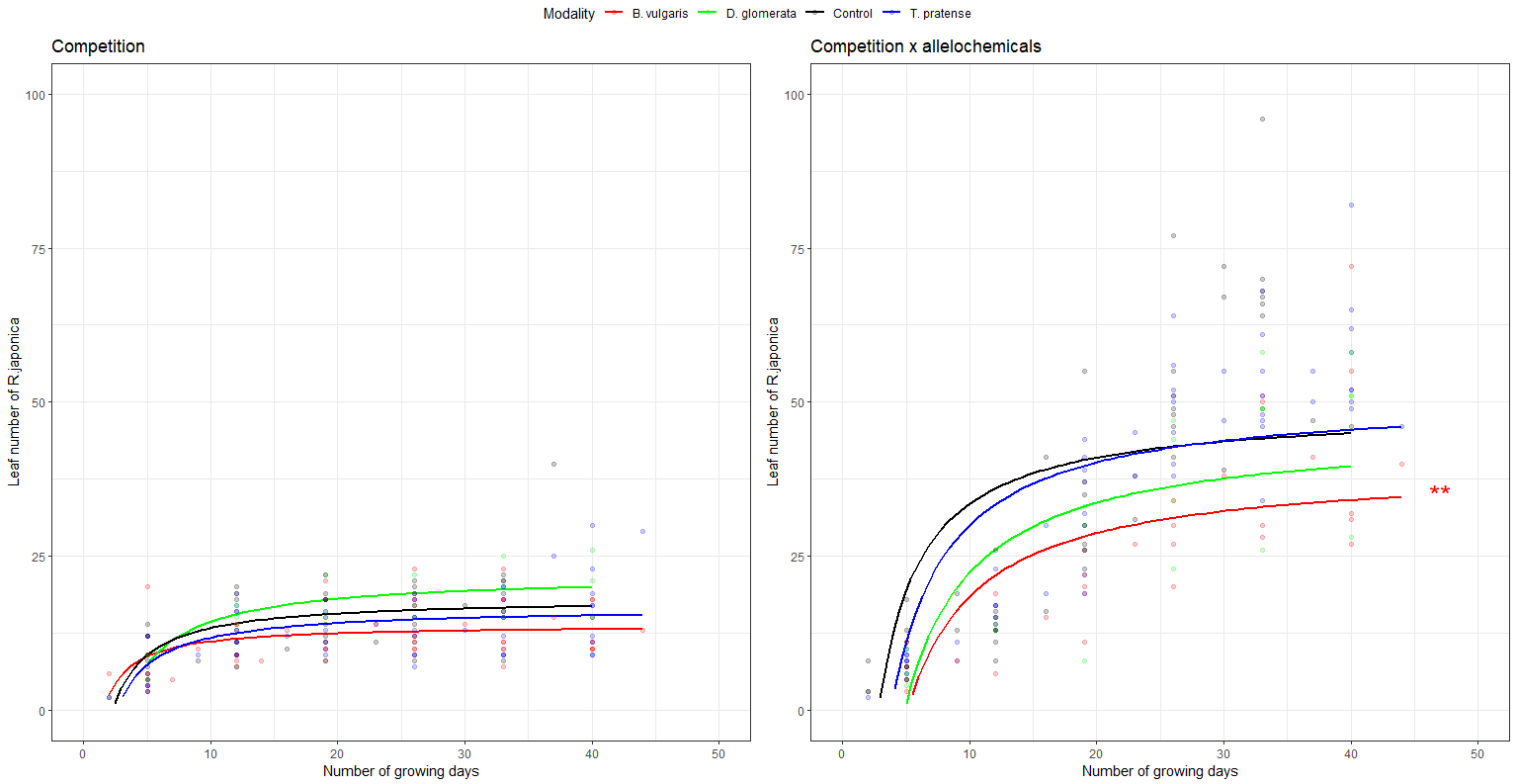


Figure 7: *Evolution du nombre de feuille de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence des trois plantes restauratrices*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

Régression logarithmique

Les deux dynamiques de croissance sont assez peu semblables. En effet il semble que la croissance en nombre de feuilles dans les modalités de « Competition » est bien moindre à celle observée dans les modalités de « Competition x allelochemicals ». En effet la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie inhibe significativement le développement de *R.japonica* (W=30.0 ; df=1; P<0.001). Dans les modalités de « Competition x allelochemicals » on remarque que les données de croissance de *R.japonica* en présence de *B.vulgaris* sur le plateau de croissance, c'est-à-dire passé 20 jours, sont significativement plus faibles que le témoin (Z=3.74 ; P=0.00108). Ainsi on peut postuler que les composés allélochimiques sécrétés par *B.vulgaris* impactent significativement la croissance de *R.japonica* en termes d'effectif de feuille. Ce résultat sera à approfondir par l'analyse du charbon actif.

Les relevés du nombre de tige et de surface foliaire ne révèlent aucune différence de développement de la Renouée et sont présentés en Annexe 3.

Le dernier relevé présenté dans cette section est le NBI (Figure 8). Lorsqu'une plante fonctionne de façon optimale, elle favorise et synthétise des protéines (molécules azotées) contenant la chlorophylle, et peu de flavonols (composés carbonés). En revanche, lorsque la plante se retrouve en situation de stress elle oriente alors son métabolisme vers la production de flavonols. Ainsi l'augmentation de la production de ce dernier est un marqueur de stress.

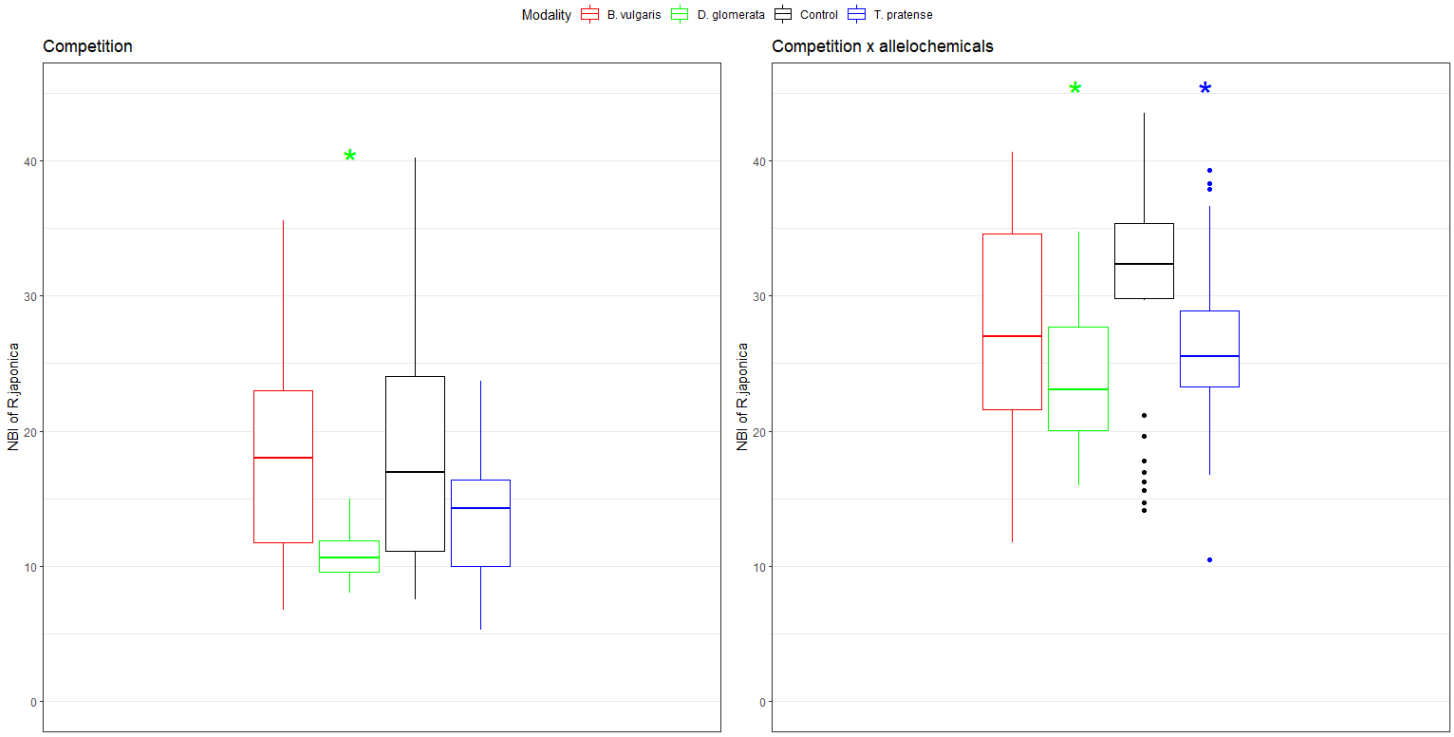


Figure 8: *NBI de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence des trois plantes restauratrices au dernier relevé de croissance*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

On remarque que les données de NBI des modalités « Competition » semblent inférieures à celles des modalités « Competition x allelochemicals ». En effet la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie influence négativement le NBI (W=21.3 ; 1 ; 3.96^{e}-6). Cet effet peut être expliqué par le fait que la Renouée dans les modalités de « Competition x allelochemicals » produit plus de composés allélopathiques, composés carbonés que dans les modalités de « Competition » ce qui déséquilibre alors le NBI.

On remarque que dans les modalités de « Competition », les mesures de NBI en fin de croissance en présence du Dactyle sont inférieures à celle du témoin (Z=3.13 ; P=0.0105). Ainsi la Renouée du Japon semble se trouver en stress et souffrir de la compétition du Dactyle.

Dans les modalités de « Competition x Allelochemicals », on retrouve le même résultat que précédemment (Z=3.03 ; P=0.0145) mais plus prononcé et également sur la modalité où la renouée est accompagnée du trèfle violet (Z=2.74 ; P=0.0373). Ainsi peut-on postuler ici que les composés allélopathiques sécrétés par la Renouée du Japon accentuent le stress dans lequel elle se trouve en présence d'espèces restauratrices.

Ainsi peut-on résumer dans le tableau suivant l'objectif premier du projet d'étude, qui est d'étudier l'impact des espèces restauratrices sur la Renouée, sur la croissance aérienne.

Tableau 2: *Synthèse de l'objectif sur l'impact des espèces restauratrices sur (la croissance aérienne) Reynoutria japonica*

C : modalités de « Competition » et C x A : modalités de « Competition x allelochemicals ».

Un effet négatif est indiqué par un '-', un effet neutre par '0'

Espèce restauratrice// Trait fonctionnel	*Trifolium pratense*	*Dactylis glomerata*	*Berberis vulgaris*
Hauteur végétative (C)	0	0	0
Hauteur végétative (C x A)	0	0	0
Diamètre (C)	0	0	0
Diamètre (C x A)	0	0	-
Nombre de feuille (C)	0	0	0
Nombre de feuille (C x A)	0	0	-
Surface foliaire (C)	0	0	0
Surface foliaire (C x A)	0	0	0
NBI (C)	0	-	0
NBI (C x A)	-	-	0

3.2.2. Plantes de restaurations

Dans cette partie nous étudierons les relevés de croissance relatifs aux trois espèces restauratrices dans l'ordre suivant : la hauteur végétative, le nombre de feuille et la surface foliaire.

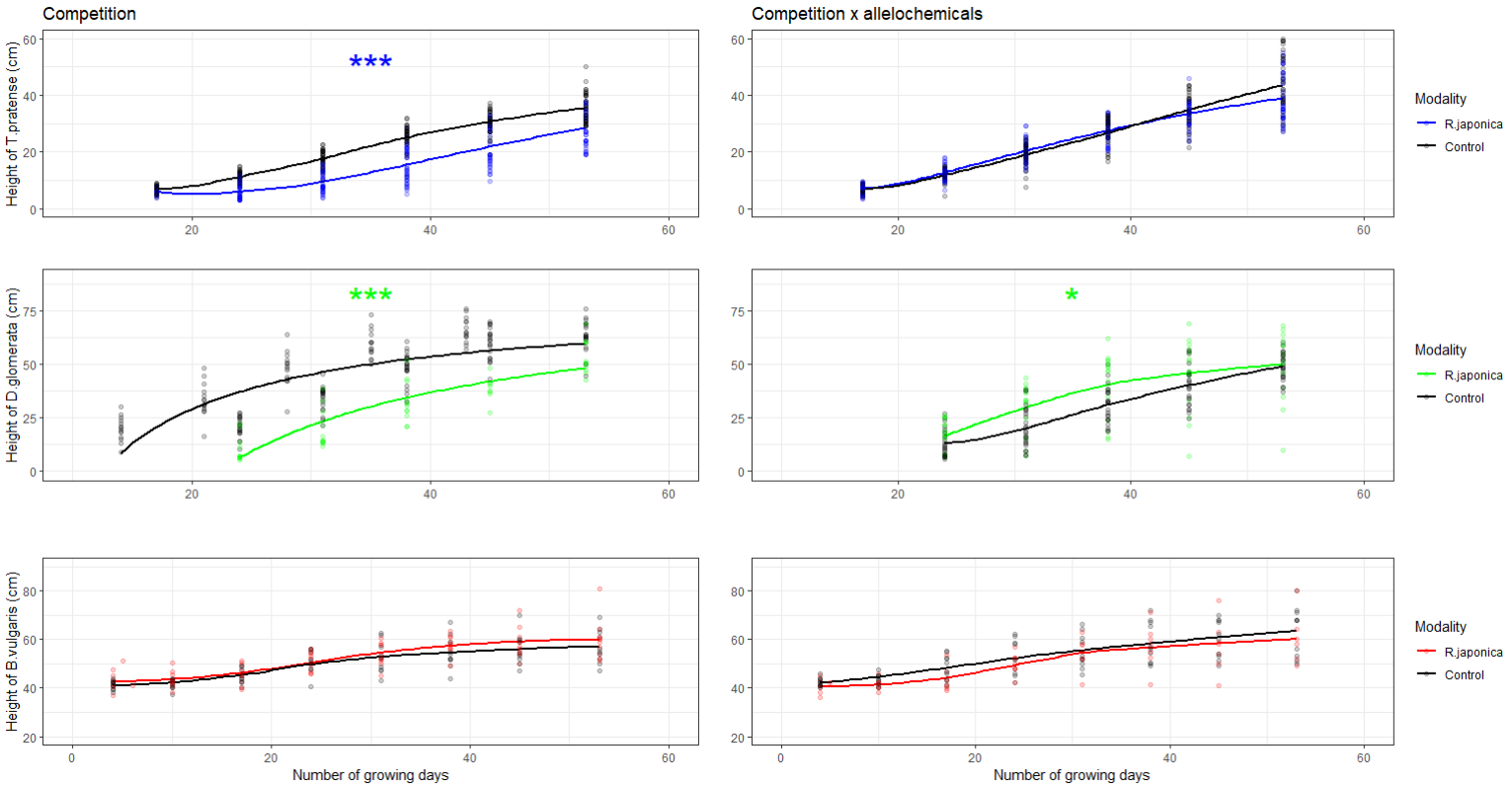


Figure 9: *Evolution de la hauteur végétative (cm) des espèces restauratrices seules (témoin) ou en présence de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

Régression logistique

On remarque, concernant les données de croissance de *T.pratense*, que les dynamiques de croissance sont similaires dans les deux grandes modalités. De fait, en comparant les croissances de deux témoins, il apparaît que la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie n'impacte pas la croissance du Trèfle violet (W=2.96 ; 1 ; 0.0856). Au sein des modalités « Competition », on observe que la croissance de *T.pratense* est négativement impactée par la présence de la Renouée (W=34.4 ;1 ; 4.39^{e}-9). Ainsi le Trèfle violet semble souffrir de la compétition exercée par *R.japonica*. Or ce résultat n'est pas retrouvé dans les modalités de « Competition x allelochemicals » ce qui pourrait montrer un impact bénéfique de l'allélochimie de la Renouée sur la croissance aérienne du Trèfle.

En ce qui concerne la croissance en hauteur de *D.glomerata*, on observe deux dynamiques de croissance bien distinctes. Tandis que dans les modalités de « Competition », les croissances semblent

atteindre un plateau, dans les modalités « Competition x allelochemicals » nous sommes toujours dans la phase de croissance linéaire. De fait, en comparant les croissances des deux témoins, on remarque que la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie impacte significativement la croissance en hauteur du Dactyle (W=45.7 ;1 ; 1.35^{e}-11). De plus, dans les modalités « Competition », la croissance en hauteur globale de *D.glomerata* semble significativement impactée négativement par la présence de *R.japonica* (W=27.3 ; 1 ; 1.76^{e}-7) tandis que dans la modalité « Competition x Allelochemicals » la croissance en hauteur de *D.glomerata* semble, dans une moindre mesure, significativement impactée positivement par la présence de *R.japonica* (W=5.28 ; 1 ; 0.0216). Ces deux résultats pourront s'expliquer suite à l'analyse des composés allélochimiques contenus dans le charbon actif ainsi que les analyses en éléments nutritifs du sol des différentes modalités.

Enfin, on constate que les dynamiques de croissance de *B.vulgaris* sont approximativement les mêmes dans les différentes modalités. La présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie n'impacte pas significativement la croissance du *B. vulgaris* (W=3.65 ; 1 ; 0.0561). De plus, pour trois des modalités sur quatre (c'est-à-dire hormis le témoin de « Competition x Allelochemicals »), le plateau de croissance semble être atteint. Il n'y a pas d'influence significative de la présence de *R.japonica* dans les 2 modalités « Competition » et « Competition x Allelochemicals » sur l'ensemble de la croissance en hauteur de *B.vulgaris* (respectivement W=2.12 ; 1 ; 0.145 et W=3.04 ; 1 ;0.081). Cela semble être aussi le cas concernant la croissance en diamètre de l'épine-vinette. De fait, aucune différence significative entre les modalités ne fût montrée (voir Annexe 4).

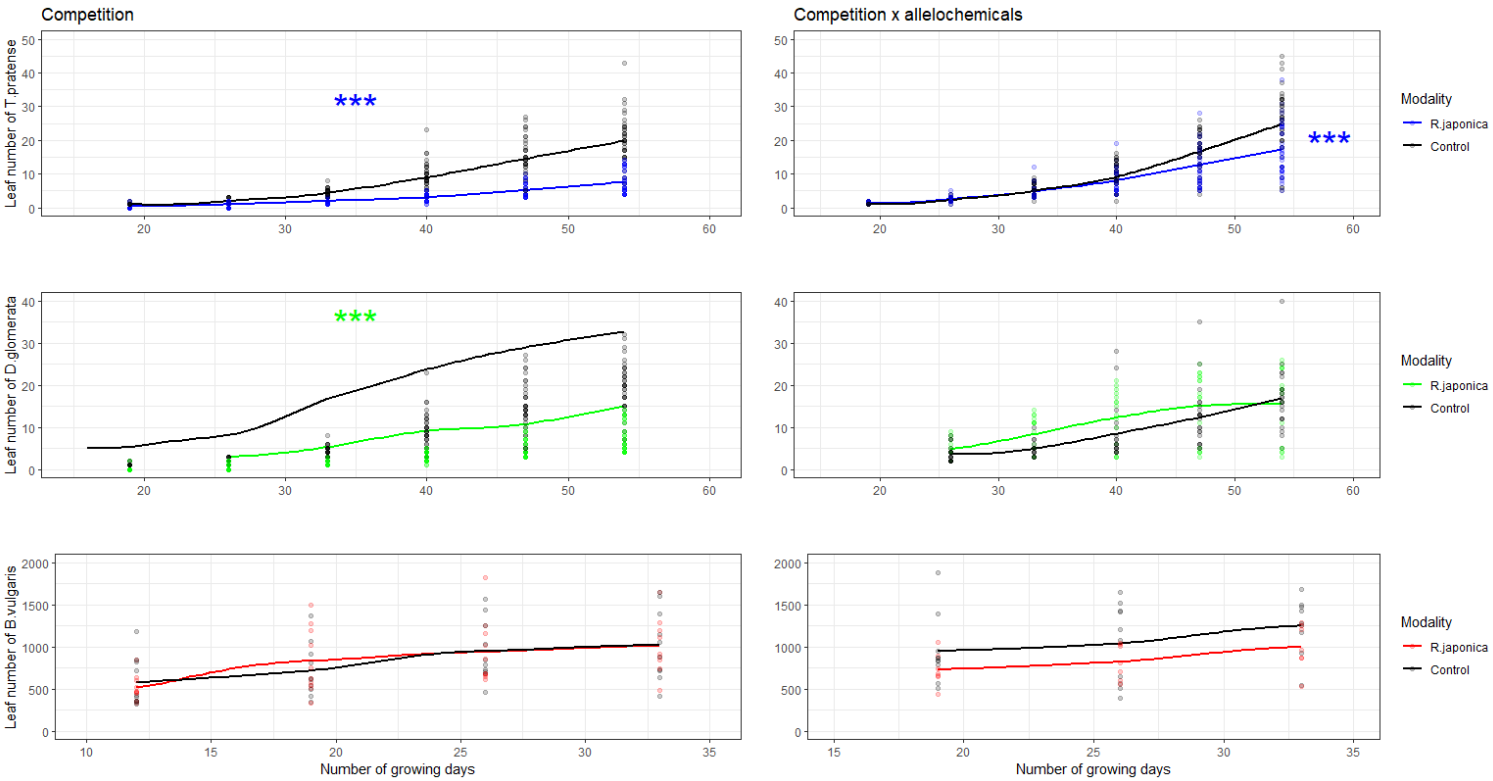


Figure 10: *Evolution du nombre de feuilles des espèces restauratrices seules (témoin) et accompagnée de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

Régression logistique

On constate, concernant les données de croissance de *T.pratense*, que les deux dynamiques de croissance sont sensiblement identiques. La présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie n'a pas d'influence significative sur le développement du Trèfle violet en nombre de feuille (W=1.35 ; 1 ; 0.245). On constate également que la présence de *R.japonica* dans les deux modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » impacte négativement le développement de *T.pratense (*respectivement W=60.3 ; 1 ; 8.19^{e}-15 sur toute la croissance et W=16.5 ; 1 ; 4.97^{e}-5 pour une fin de croissance à partir du 40éme jour).

Quant à l'évolution du nombre de feuille de *D.glomerata*, on remarque que les dynamiques de croissance sont similaires pour ce qui concerne les modalités en présence de *R.japonica* mais bien distinctes en ce qui concerne les modalités des deux témoins. De fait, il existe un effet significatif du dispositif inhibiteur d'allélopathie, cette fois-ci positif, sur la croissance du Dactyle en termes de nombre de feuille (W=61.3 ; df=1 ; P<0.001). De plus, alors que l'on aperçoit un début de plateau de croissance sur la courbe de témoin compétition, le témoin « Competition x allelochemicals » semble toujours être sur une croissance linéaire. Ainsi, au sein des deux grandes modalités, la seule différence significative entre les dynamiques de croissance est celle de l'ensemble de la croissance du

Dactyle dans la modalité « Competition » (W=42.1 ; df=1 ; P<0.001). La compétition exercée par *R.japonica* impacterait donc négativement le développement foliaire du Dactyle.

Enfin, l'évolution du nombre de feuille de *B.vulgaris* semble très faible sur le pas de temps considéré. Il existe une différence significative entre les évolutions des deux témoins révélant l'impact négatif du dispositif inhibiteur d'alléllopathie (W=5.31 ; df=1 ; P=0.0212). Cependant, au sein des deux grandes modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals », il n'y a aucune différence significative entre les deux croissances. Ainsi *B.vulgaris* ne semble pas impacté par la présence de *R.japonica* sur cet aspect de sa croissance.

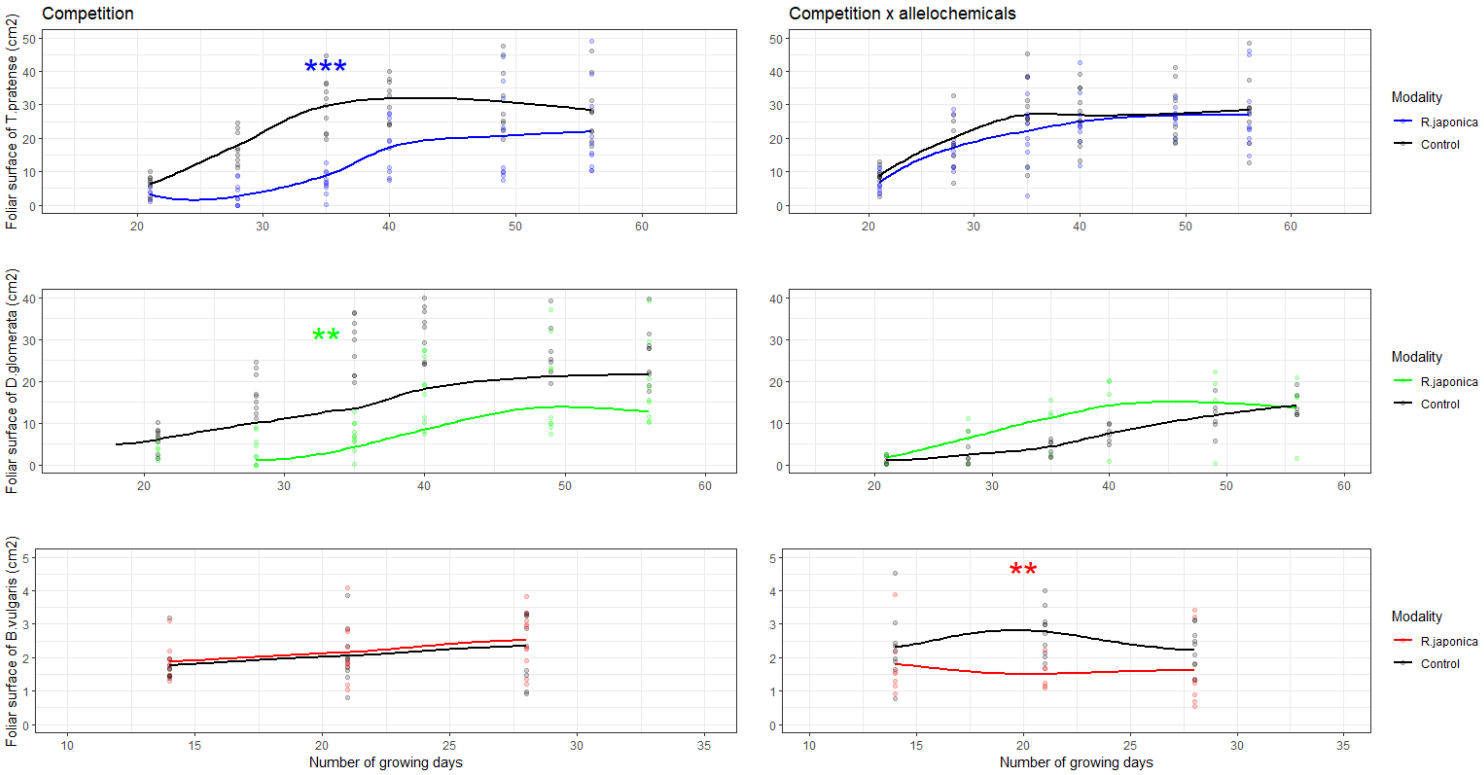


Figure 11:*Evolution de la surface foliaire (cm2) des espèces restauratrices seules (témoin) ou en présence de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

Régression logistique

Tout d'abord, concernant les données de *T.pratense*, on remarque que les deux dynamiques de croissance entre les deux grandes modalités sont assez similaires. L'impact de la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie sur la croissance des deux témoins est de fait nul (W=0.361 ; 1 ;0.548). Au sein des modalités « Competition », on remarque que la présence de la Renouée impacte négativement la croissance foliaire du trèfle violet (W=23.4 ; 1 ;1.31^{e}-6). Cependant cette différence de développement foliaire n'est pas retrouvée dans les modalités de « Competition x

allelochemicals ». Ainsi l'on peut postuler que l'allélopathie de la Renouée impacterait positivement la croissance foliaire du trèfle, venant masquer l'effet négatif de la compétition. Cette hypothèse pourra être rediscutée lors de l'analyse des éléments explicatifs tels que le charbon actif et le sol d'étude.

Si l'on s'intéresse maintenant aux données de croissance du Dactyle, on remarque que si les dynamiques de croissance du Dactyle des deux modalités de « Competition » et « Competition x allelochemicals » en présence de Renouée sont assez similaires, les deux témoins de ces grandes modalités différent sensiblement ($W=22.5$; $df=1$; $P<0.001$). De plus la modalité témoin de « Competition x allelochemicals », contrairement à toutes les autres ne semble pas avoir atteint son plateau de croissance. On observe également que dans les modalités « Competition » la croissance foliaire du Dactyle est sensiblement impactée négativement par la présence de la Renouée ($W=9.08$; $df=1$; $P=0.00259$). Ainsi la compétition de *R.japonica* semble impacter négativement le développement foliaire du Dactyle.

Enfin, intéressons-nous aux données de croissance de *B.vulgaris*. Les dynamiques de croissance entre les modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » ne sont pas similaires. En effet la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie impacte négativement la croissance foliaire de l'épine vinette ($W=238$; $df=5$; $P<0.001$). De plus, dans les modalités « Competition x allelochemicals », il semblerait que la croissance foliaire de *B.vulgaris* soit négativement impactée par la présence de la Renouée ($W=8.41$; $df=1$; $P=0.00374$). Ainsi la compétition de *R.japonica* semble impacter négativement le développement foliaire de l'épine vinette.

Les relevés de NBI ne révèlent aucune différence de développement des espèces restauratrices face à la Renouée et sont présentés en Annexe 5.

Nous pouvons résumer dans le tableau suivant l'objectif second du projet d'étude, qui est d'étudier l'impact de la Renouée sur les espèces restauratrices en termes de croissance aérienne.

Tableau 3: *Synthèse de l'objectif sur l'impact de Reynoutria japonica sur (la croissance aérienne) des espèces restauratrices*

C : modalités de « Competition » et C x A : modalités de « Competition x allelochemicals ».

Un effet négatif est indiqué par un '-', un effet neutre par '0', un effet positif par `+' et une absence de relevé par 'NA'

Espèce restauratrice // Trait fonctionnel	*Trifolium pratense*	*Dactylis glomerata*	*Berberis vulgaris*
Hauteur (C)	-	-	0
Hauteur (C x A)	0	+	0
Diamètre (C)	NA	NA	0
Diamètre (C x A)	NA	NA	0
Nombre de feuilles (C)	-	-	0
Nombre de feuilles (C x A)	0	+	0
Surface foliaire (C)	-	-	0
Surface foliaire (C x A)	0	0	-
NBI (C)	0	0	0
NBI (C x A)	0	0	0

3.3. Productivité végétale

3.3.1. Productivité aérienne

3.3.1.1. R.japonica

Nous nous intéresserons dans cette partie aux traits fonctionnels de productivité aérienne de la Renouée du Japon, à savoir le SLA et les coefficients d'allocations. Le SLA est corrélée positivement à la capacité photosynthétique (Pérez-Harguindeguy et al. 2013) tandis que les coefficients d'allocations permettent de rendre compte de l'investissement des individus dans les différentes structures et de dévoiler alors une certaine stratégie d'allocation de la ressource.

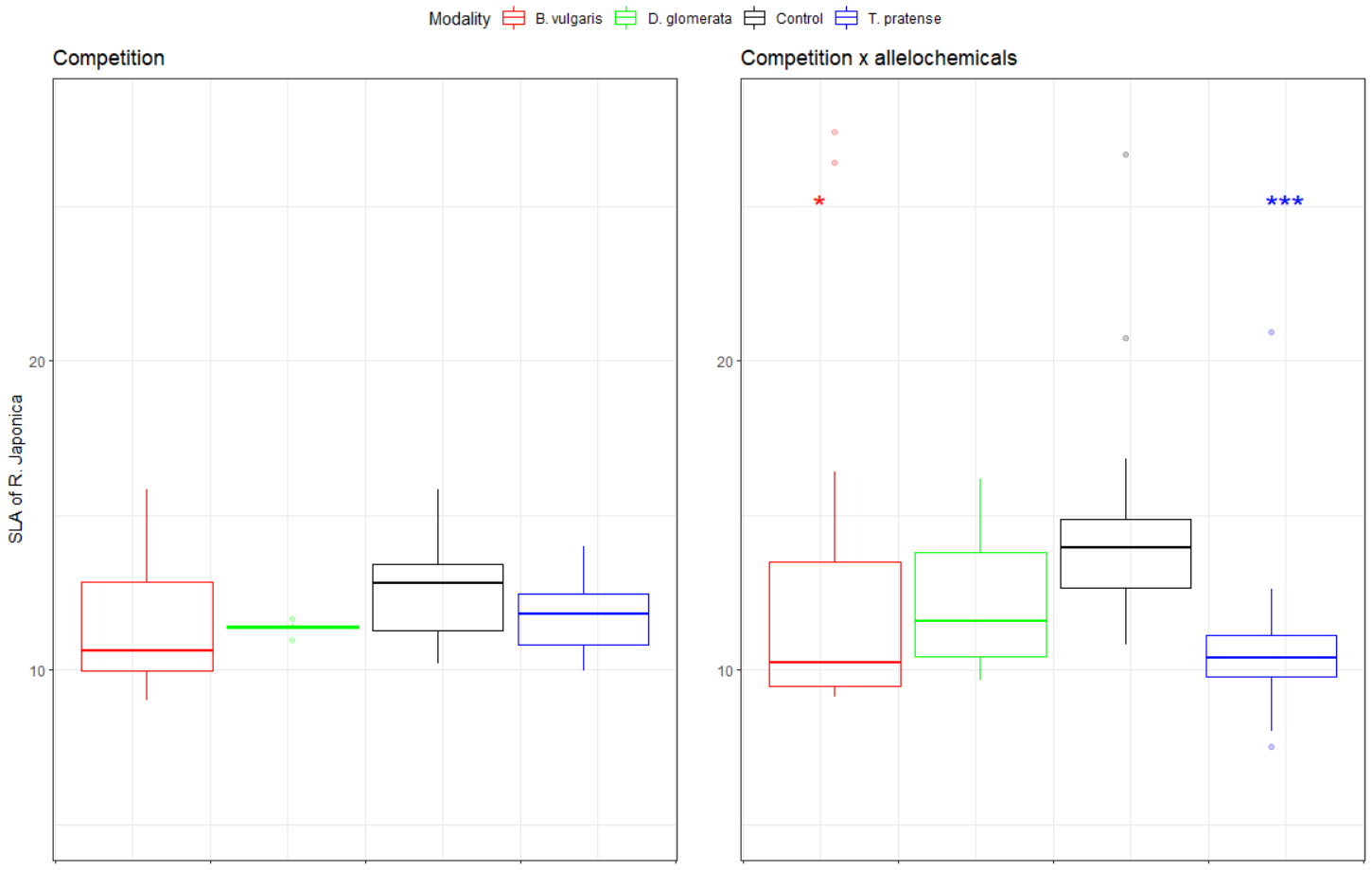


Figure 12: *Specific Leaf Area (SLA) de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence des espèces restauratrices*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

On remarque que les SLA des deux grandes modalités sont sensiblement différents (Z=2.00 ; P=0.0453). Ainsi le dispositif inhibiteur d'allélopathie affecte négativement le SLA. De plus, il semblerait que le SLA de *R.japonica* n'étant pas significativement différent entre les différentes modalités de « Competition », la capacité photosynthétique de la renouée ne soit pas altérée par la compétition des espèces restauratrices. On observe cependant qu'il existe des différences significatives au sein des modalités de « Competition x allelochemicals ». De fait, la renouée en présence d'épine-vinette et de trèfle semble avoir un SLA significativement plus bas que seule (respectivement Z=2.91 ; P<0.001 et Z=-4.25 ; P<0.001). Ainsi la capacité photosynthétique de la renouée semble altérée en présence d'allélochimie.

Quant aux coefficients d'allocations de la renouée en fonction des modalités, ils sont présentés Figure 13.

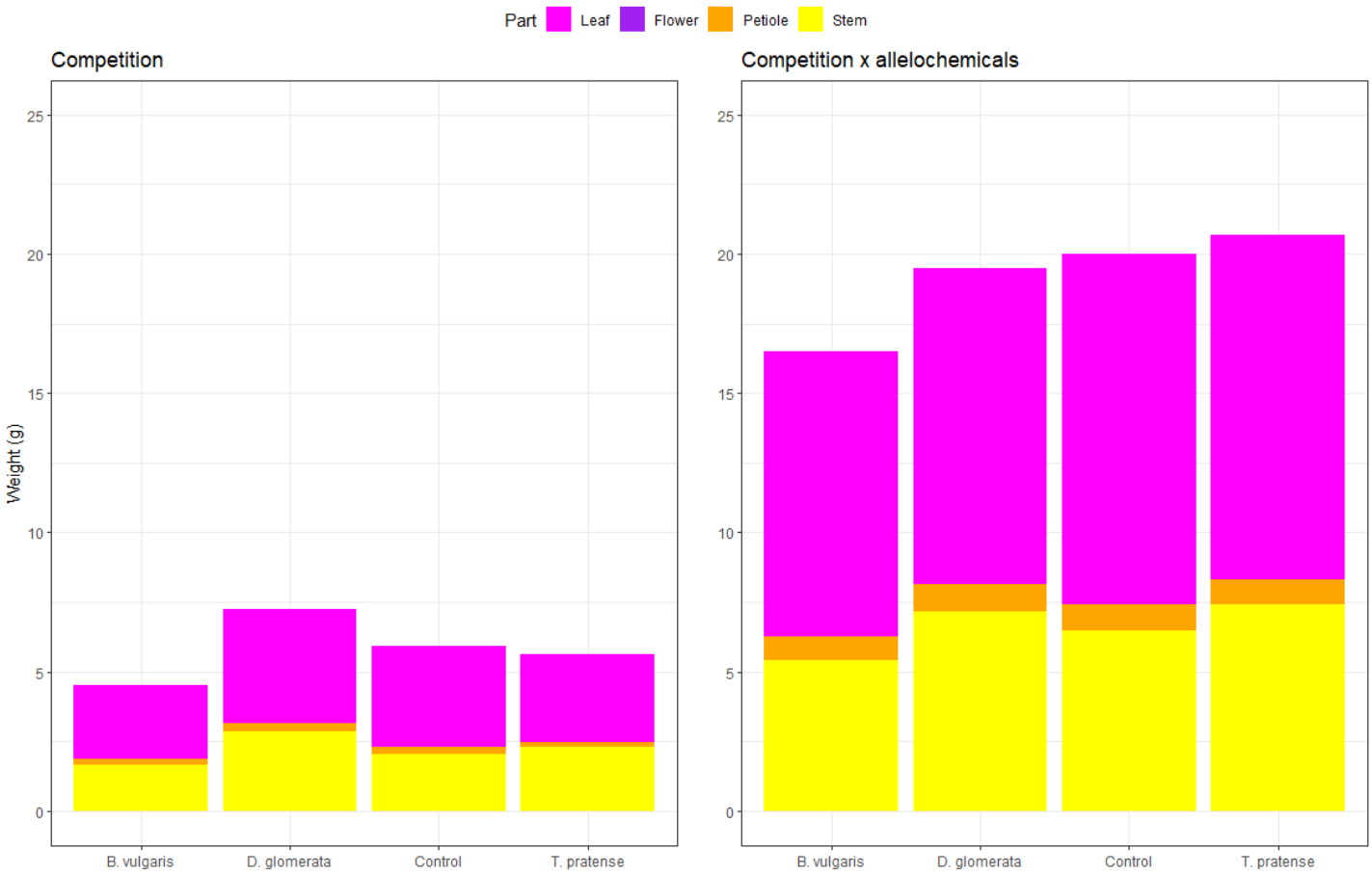


Figure 13: *Coefficient d'allocations aérien de Reynoutria japonica seule (témoin) et en présence des espèces restauratrices*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test ANOVA avec correction de Welch testant une différence avec le témoin)

On remarque que si il existe une forte différence entre les modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » ce qui démontre une influence négative du dispositif inhibiteur d'allélopathie sur la productivité aérienne (test ANOVA avec correction de Welch ; P<0.001 pour la biomasse totale), au sein des deux grandes modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » il n'existe aucune différence significative. Ainsi les coefficients d'allocations de la renouée sont-ils insensibles à la compétition et l'allélopathie des diverses plantes compétitrices. L'allocation à la ressource semble donc identique entre les différentes modalités.

Ainsi peut-on résumer dans le tableau suivant l'objectif premier du projet d'étude, qui est d'étudier l'impact des espèces restauratrices sur la renouée, sur la productivité végétale aérienne.

Tableau 4: *Synthèse de l'objectif sur l'impact des espèces restauratrices sur (la productivité aérienne) Reynoutria japonica*

C : modalités de « Competition » et C x A : modalités de « Competition x allelochemicals ».

Un effet négatif est indiqué par un '-', un effet neutre par '0'

Espèce restauratrice// Trait fonctionnel	*Trifolium pratense*	*Dactylis glomerata*	*Berberis vulgaris*
SLA (C)	0	0	0
SLA (C x A)	-	0	-
Coefficients d'allocation (C)	0	0	0
Coefficients d'allocation (C x A)	0	0	0

3.3.1.2. Plantes restauratrices

Nous nous intéresserons dans cette partie aux traits fonctionnels de productivité aérienne des plantes restauratrices, à savoir le SLA et les coefficients d'allocations.

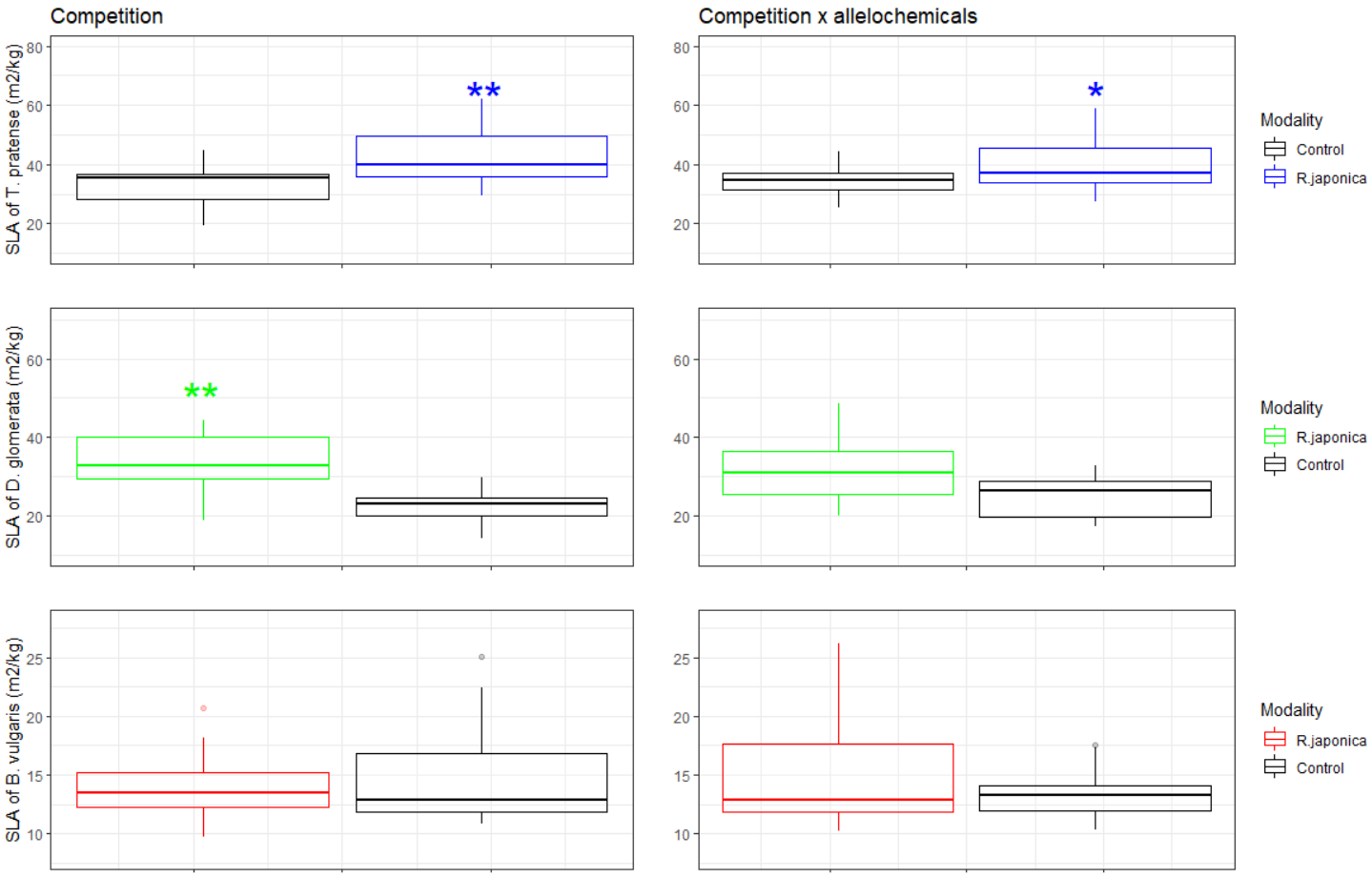


Figure 14: *Specific Leaf Area (SLA) des plantes restauratrices seules (témoin) ou en présence de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test de Dunn testant une différence avec le témoin)

On remarque ici que les plantes restauratrices semblent être impactées positivement ou de manière neutre par la présence de la Renouée. De fait, trois modalités se démarquent de leurs témoins. Tout d'abord le trèfle semble avoir un SLA impactée positivement par la compétition de la renouée (Z=3.19 ; P=0.00141) ainsi que par la compétition associée à l'allélochimie (Z=2 ; P=0.453). Or la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie n'impactant pas le SLA du trèfle (Z=0.676 ; P=0.499), nous pouvons comparer les modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » entre elles. Ainsi l'on peut postuler que l'alléopathie de la renouée attenue l'effet de sa présence sur le SLA du trèfle. Aussi, l'on peut dire que la capacité photosynthétique du trèfle est positivement impactée par la compétition et la compétition associée à l'allélopathie de la renouée.

La troisième modalité à se démarquer est celle du dactyle dans la modalité « Competition ». En effet il semblerait que son SLA soit positivement impactée par la compétition de la renouée (Z=-2.60 ; P=0.00932). A l'inverse, il ne semble pas impactée par la compétition associée à l'allélochimie de la renouée (Z=-1.85 ; P=0.0641). En comparant les deux témoins, on remarque que le dispositif inhibiteur d'allélopathie n'influence pas son SLA (Z=1.48 ; P=0.138). Ainsi peut-on en déduire que la capacité photosynthétique du dactyle est influencée positivement par la compétition exercée par *R.japonica*.

Enfin, le *B.vulgaris* ne semble pas impacté par la renouée du Japon. De fait, le SLA de l'épine-vinette n'est ni impactée par la compétition nutritive de la renouée (Z=0.702 ; P=0.783) ni par la compétition associée à l'allélopathie (Z=-0.455 ; P=0.649). Il n'est d'ailleurs pas influencé non plus par la présence du dispositif (Z=-0.936 ; P=0.350).

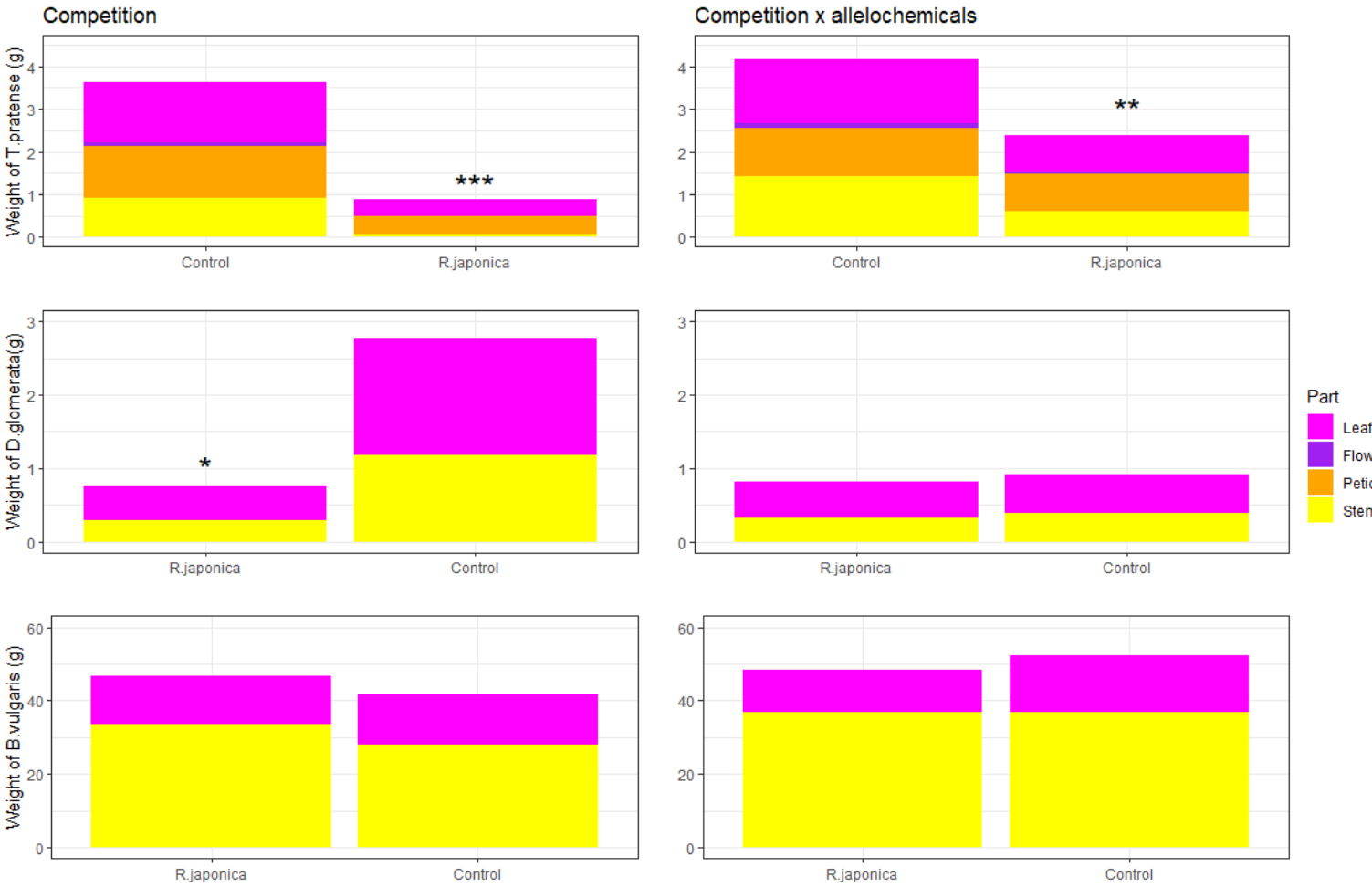


***Figure 15**: Coefficients d'allocation des plantes compétitrices seules (témoin) ou en présence de Reynoutria japonica*

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001 (test ANOVA avec correction de Welch testant une différence avec le témoin)

On remarque ici que les modalités influencées par la présence de la renouée sont identiques à celles du SLA. De fait, aucune des modalités de *B. vulgaris* ne se distinguent des autres. Les coefficients d'allocation ne semblent ni influencés par la présence de la Renouée ni par celle du dispositif (test ANOVA avec correction de Welch ; P=0.158 pour la biomasse totale des deux témoins).

A l'inverse, *D.glomerata* semble impacté par la compétition de la renouée sur toutes ses parties aériennes (ANOVA avec correction de Welch ; P=0.011 pour biomasse totale) mais nullement par la compétition associée à l'allélopathie de la renouée (ANOVA avec correction de Welch ; P=0.611 pour biomasse totale). Cependant le dactyle semble fortement impacté par la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie (ANOVA avec correction de Welch ; P<0.01 pour biomasse totale). Ainsi la compétition exercée par la renouée impacterait négativement sensiblement la productivité végétale aérienne du dactyle.

De même, *T. pratense* semble fortement impacté par la compétition de la renouée et la compétition associée à l'allélopathie. De fait dans les deux cas les modalités en présence de la Renouée sont nettement inférieures aux témoins (respectivement ANOVA avec correction de Welch; P<0.01 et P=0.002). Or, les coefficients d'allocations n'étant pas impacté par la présence du dispositif (ANOVA avec correction de Welch; P= 0.253) on peut postuler ici que la compétition seule aurait plus d'impact sur la productivité végétale du dactyle qu'associée avec l'allélopathie de la renouée.

Ainsi peut-on résumer dans le tableau suivant l'objectif second du projet d'étude, qui est d'étudier l'impact de la Renouée sur les espèces restauratrices, sur la productivité végétale aérienne.

Tableau 5: *Synthèse de l'objectif sur l'impact de Reynoutria japonica sur (la productivité aérienne) des espèces restauratrices*

C : modalités de « Competition » et C x A : modalités de « Competition x allelochemicals ».

Un effet négatif est indiqué par un '-', un effet neutre par '0', un effet positif par `+'

Espèce restauratrice// Trait fonctionnel	*Trifolium pratense*	*Dactylis glomerata*	*Berberis vulgaris*
SLA (C)	+	+	0
SLA (C x A)	+	0	0
Coefficients d'allocation (C)	-	-	0
Coefficients d'allocation (C x A)	-	0	0

3.3.2. Productivité souterraine

3.3.2.1. R.japonica

Nous étudierons ici les données de productivité végétale souterraine de *R.japonica*, à savoir la masse de son rhizome.

Concernant les masses des rhizomes, il n'existe aucune différence significative au sein des modalités « Competition » et « Competition x allelochemicals » ni entre les témoins (ANOVA; P=0.64). Les résultats sont présentés en Annexe 6. Ainsi la Renouée ne semble en rien impactée par la compétition et l'allélochimie des plantes restauratrices sur ce point.

3.3.2.1. Plantes compétitrices

Nous étudierons ici les traits fonctionnels souterrains des plantes compétitrices et en particulier les deux herbacées, à savoir le SRL et la proportion de racines fines. Des plantes avec un SRL haut ont tendance à avoir de plus grandes concentrations de nutriments et des capacités de prélèvement d'eau plus importantes que des plantes avec un SRL plus bas. La proportion de racines fines, c'est-à-dire de racine de moins de 0.2 mm de diamètre est un bon indicateur de la capacité de nutrition de la plante. En effet, ces organes sont dédiés à l'approvisionnement de la plante en nutriments et en eau. De plus, elles servent de transporteur de ces deux éléments vers les parties aériennes.

Les résultats de SRL de *T.pratense* et *D.glomerata* dans les différentes modalités sont présentées ci-dessous

Tableau 6:*SRL de Trifolium pratense et Dactylis glomerata seuls (témoin) et en présence de Reynoutria japonica. Une lettre différente symbolise des résultats significativement différents.*

	Trifolium pratense				***Dactylis glomerata***			
Modalité	Nombre de mesure	SRL moyen ($cm.g^{-1}$)	Ecart-type	Test de Welch	Nombre de mesure	SRL moyen ($cm.g^{-1}$)	Ecart-type	Test de Welch
Competition	10	93.46	24.60	A	3	177.97	20.68	D
Competition (Control)	10	53.25	18.64	B	8	113.20	40.15	C
Competition x allelochemicals	10	48.20	12.01	B	4	190.71	162.00	C
Competition x allelochemicals (Control)	10	55.67	19.66	B	6	147.57	42.23	C

On constate que les SRL semblent peu impactés par la présence de *R. japonica*. On note que l'effet du dispositif inhibiteur d'allélopathie, obtenu en comparant les deux témoins des deux espèces, ne se ressent pas chez le trèfle ou le dactyle (respectivement Test de Welch P=0.781 et Test de Welch P=0.176). Les deux résultats significativement différents de son témoin est celui de *T. pratense* et *D. glomerata* dans la modalité « Competition » (respectivement Test de Welch P<0.001 et Test de Welch P=0.009). En effet il semble ici que le SRL soit sensible à la compétition exercée par *R. japonica*. De fait, un SRL plus haut en présence de la renouée pourrait indiquer une réaction à une nécessité de prospection plus intense pour assurer la nutrition de la plante. Ainsi la prospection racinaire du trèfle et du dactyle semblent impactées par la compétition de la renouée. On notera qu'il reste toutefois difficile de se prononcer quant au dactyle au vue du peu de nombre de mesure dans certaines modalités.

Quant à la proportion de racines fines, ce dernier trait fonctionnel est présenté dans le tableau ci-contre.

***Tableau 7**: Proportion de racines fines de Trifolium pratense et Dactylis gloemrata seuls (témoin) et en présence de Reynoutria japonica. Une lettre différente symbolise des résultats significativement différents.*

	Trifolium pratense				***Dactylis glomerata***			
Modalité	Nombre de mesure	Proportion moyenne de racines fines (en % cm)	Ecart-type	Test de Welch	Nombre de mesure	Proportion moyenne de racines fines (en % cm)	Ecart-type	Test de Welch
Competition	10	8.73	2.15	A	3	40.69	4.26	C
Competition (Control)	10	6.66	1.31	B	8	41.17	2.77	C
Competition x allelochemicals	10	8.49	3.04	B	4	27.72	4.04	D
Competition x allelochemicals (Control)	10	7.00	1.06	B	6	30.74	7.66	D

On remarque que seule la proportion de racines fines du trèfle semble sensible à la présence de *R. japonica*. De fait, il semblerait que la nutrition du trèfle soit particulièrement sensible à la compétition nutritive exercée par la Renouée (test de Welch ; P=0.0203). Cela peut s'expliquer par un besoin accru, face à la compétition de la Renouée d'investir dans les structures de prospection nutritive. Comme l'on n'observe pas d'effet du dispositif sur ce trait fonctionnel du trèfle (test de Welch ; P=0.503), l'on peut postuler ici que l'allélopathie viendrait masquer cet effet bénéfique en influençant négativement l'absorption nutritive du trèfle. Aucune différence significative n'est observée entre les différentes modalités du dactyle. Il ne semble pas également sensible au dispositif inhibiteur d'allélopathie (test de Welch ; P=0.0191).

Ainsi peut-on résumer dans le tableau suivant l'objectif second du projet d'étude, qui est d'étudier l'impact de la Renouée sur les espèces restauratrices, sur la productivité végétale souterraine.

Tableau 8: *Synthèse de l'objectif sur l'impact des espèces restauratrices sur (la productivité souterraine) Reynoutria japonica*

C : modalités de « Competition » et C x A : modalités de « Competition x allelochemicals ».

Un effet négatif est indiqué par un '-', un effet neutre par '0' et un effet positif par '+'

Espèce restauratrice// Trait fonctionnel	*Trifolium pratense*	*Dactylis glomerata*
SLR (C)	+	+
SLR (C x A)	0	0
Proportion racines fines (C)	+	0
Proportion racines fines (C x A)	0	0

4. Conclusions

4.1. Potentiel de restauration des trois espèces candidates contre *R. japonica*

Nous remarquons que la levée de *R. japonica* est significativement impactée dans la modalité alliant compétition et allélochimie et en présence de *B. vulgaris*. Par conséquent, nous pouvons penser que les composés allélochimiques (composés méthanoliques (Turker et al. 2008)) émis par *B. vulgaris* ont un impact négatif sur la levée de *R. japonica*.

Pour la croissance aérienne de *R. japonica*, les espèces restauratrices n'ont pas d'influence sur sa croissance en hauteur, son nombre de tige ou sa croissance foliaire. Cependant, en ce qui concerne sa croissance radiale et l'évolution de son nombre de feuille, *B. vulgaris* dans les modalités alliant compétition et allélochimie semble l'impacter négativement. Enfin, l'analyse du NBI laisse à penser que la Renouée serait plus stressée en présence du Dactyle ou du Trèfle violet qu'en présence de l'épine vinette. On remarque que le développement de *R. japonica* est significativement impacté négativement par la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie. Cet effet peut être expliqué par le fait que la plante invasive possède moins de place pour se développer. Cette contrainte spatiale affecte à la fois sa surface assimilatrice donc peut diminuer sa synthèse de matière organique et également le développement de son système racinaire.

Pour la productivité végétale de *R. japonica*, le dactyle et l'épine-vinette semblent impacter négativement le SLA de la Renouée dans les modalités « Competition x allelochemicals ». Cela confirme en partie la vulnérabilité de la Renouée face aux composés allélochimiques de l'épine-vinette comme constaté dans la croissance aérienne et la levée. Quant à la productivité végétale souterraine, approchée par la masse rhizome, celle-ci ne semble pas dépendre des plantes compétitrices sur l'échelle de temps d'étude.

Ainsi cette étude confirme le fort potentiel invasif de *R. japonica* notamment grâce aux réserves stockées dans ses rhizomes qui permettent à cette plante d'échapper à la compétition, mais aussi à l'allélochimie une fois levée, au moins sur la première année. Il pourrait être intéressant de s'intéresser aux relations entre les plantes de restauration et *R. japonica* sur des durées plus longues. En effet, la compétition pour les ressources est un processus qui évolue au cours du temps, qui varie en fonction du stade de croissance et de la variable de réponse. Ainsi, les interactions peuvent être différentes en fonction de la durée (Gioria, Osborne 2014 ; Aschehoug et al. 2016).

4.2. Résistance des plantes de restauration face à la présence de *R. japonica*

Quant à*B. vulgaris*, cette dernière semble être la moins impactée par la présence de la Renouée. De fait, il n'y a quasiment aucune différence significative entre les modalités avec et sans *R. japonica* pour l'évolution du diamètre, de la hauteur et du NBI. Seule sa surface foliaire dans la modalité alliant compétition et allélochimie est négativement impactée par la présence de *R. japonica*. Ces résultats peuvent s'expliquer par le statut ligneux de cette plante qui résiste ainsi mieux à l'allélochimie mais aussi parce que *B. vulgaris* a été plantée à un stade de développement avancé donc échappe plus facilement à la compétition pour la lumière et les nutriments. Cependant, cet arbuste étant porteur de la rouille du blé il n'est pas recommandé de l'utiliser dans le cadre de restauration écologique. Il peut être intéressant toutefois d'intégrer d'autres espèces ligneuses dans des méthodes de restauration écologique. En effet des espèces permanentes seraient intéressante pour lutter contre *R. japonica* en réduisant la colonisation des milieux.

Pour ce qui est de *D. glomerata*, l'impact de la Renouée sur son développement semble assez contrasté. En effet, si la présence de *R.japonica* impacte négativement sa germination, sa croissance en hauteur, son nombre de feuille et sa surface foliaire dans les modalités « Competition », il n'en est pas de même pour les mêmes traits fonctionnels au sein des modalités « Competition x allelochemicals ». La hauteur ainsi que le nombre de feuilles semblent impactés positivement par la compétition et l'allélochimie de la Renouée tandis qu'il n'existe pas d'effet de ces dernières sur sa surface foliaire. Cela peut en partie s'expliquer par la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie qui impacte parfois négativement (hauteur et NBI), parfois positivement (nombre de feuilles et surface foliaire) les traits fonctionnels relatifs au Dactyle. Enfin, il n'y a pas d'impact de la présence de la Renouée sur le NBI du Dactyle. Pour sa productivité végétale, le Dactyle est de nouveau influencé de manière contrasté face à *R.japonica*. Cette dernière influence le Dactyle seulement via sa compétition nutritive mais tantôt positivement (cas du SLA et SLR), tantôt négativement (Coefficient d'allocation aérien) ou neutre (Pourcentage de racine fines).

Enfin, *T. pratense* semble être l'espèce la plus sensible à la compétition seule de la Renouée. Son taux de germination est significativement impacté dans cette modalité contrairement à celui dans la modalité alliant compétition et allélochimie. Nous pourrions alors penser que l'allélochimie aurait

un effet positif qui compenserait l'effet négatif de la compétition. Même si l'allélochimie est souvent liée à des interactions antagonistes, elle peut engendré des interactions positives (Zhang et al. 2021). Autrement, nous pouvons penser que *T. pratense* a été capable de détecter la présence de *R. japonica* grâce à ses composés allélochimiques ou exsudats racinaires. Ainsi, il s'est adapté pour accélérer sa germination car il a détecté la présence d'un danger. Cela signifie que des plantes seraient capables de détecter la présence d'une plante très compétitrice et d'accélérer leur germination ou leur développement pour bénéficier d'un gain adaptatif (Bais et al. 2004). Quant aux autres traits fonctionnels, le trèfle violet est significativement impactée négativement par la compétition seule de la Renouée quant à sa croissance en hauteur, en nombre de feuille et en surface foliaire. Il n'y a pas d'impact de la présence de la Renouée sur le NBI de *T.pratense*.

Pour sa productivité végétale, le trèfle violet est de nouveau influencé de manière assez cohérente face à *R. japonica*. Cette dernière influence le trèfle via sa compétition nutritive mais aussi son allélopathie. Ainsi si la productivité végétale souterraine du trèfle est négativement influencée par la compétition seule de la Renouée, l'effet est plus contrasté pour la productivité aérienne. Ainsi le SLA du Trèfle semble influencé positivement par la compétition seule et la compétition associée à de l'allélopathie tandis que les coefficients d'allocations semblent influencés négativement par les deux mêmes paramètres. Ainsi l'espèce *T. pratense* n'a pas échappé à la compétition malgré ses symbioses mycorhiziennes et ses nodules fixateurs d'azote atmosphérique. L'azote ne semble donc pas être le facteur essentiel de compétition entre les plantes de restauration et *R. japonica*, qui pourtant le mobilise d'après certaines études (Aguilera et al. 2010 ; Urgenson et al. 2009). La compétition entre *T. praten*se et *R. japonica* pourrait davantage être due à la lumière ou à la ressource nutritive du sol.

5. Perspectives

T. pratense ne semble pas être la plante de restauration la plus appropriée car elle est impactée négativement par la présence de *R. japonica*, à l'inverse de *B. vulgaris* et de *D. glomerata* qui semblent moins vulnérables. La renouée du Japon est impactée négativement par *B.vulgaris*, et dans une moindre mesure *D. glomerata*, lors de sa levée ou dans sa croissance. La renouée est donc sensible aux composés allélochimiques de *B. vulgaris*. Des analyses à venir nous permettront bientôt d'identifier certains de ces composés allélochimqiues. L'association entre une espèce arbustive permanente, comme l'épine-vinette, et une espèce herbacée annuelle, le dactyle, pourrait constituer un mélange de restauration prometteur. Alors que l'épine-vinette permet de lutter contre la levée de germination de la renouée, certainement via des processus allélochimique, la couverture du milieu par le dactyle offrirait un bon moyen de réduire le développement de la renouée via des processus de compétition. Enfin, le fait d'inscrire les méthodes de restauration sur plusieurs années pourrait améliorer l'efficacité de ces méthodes à l'avenir.

Bibliographie

AGUILERA, Anna G., ALPERT, Peter, DUKES, Jeffrey S. et HARRINGTON, Robin, 2010. Impacts of the invasive plant Fallopia japonica (Houtt.) on plant communities and ecosystem processes. In : *Biological Invasions*. 1 mai 2010. Vol. 12, n° 5, pp. 1243-1252. DOI 10.1007/s10530-009-9543-z.

ASCHEHOUG, Erik T., BROOKER, Rob, ATWATER, Daniel Z., MARON, John L. et CALLAWAY, Ragan M., 2016. The Mechanisms and Consequences of Interspecific Competition Among Plants. In : FUTUYMA, D. J. (éd.), *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, Vol 47*. Palo Alto : Annual Reviews. pp. 263-281. ISBN 978-0-8243-1447-7.

BAILEY, John P., BÍMOVÁ, Kateřina et MANDÁK, Bohumil, 2009. Asexual spread versus sexual reproduction and evolution in Japanese Knotweed s.l. sets the stage for the "Battle of the Clones". In : *Biological Invasions*. 1 mai 2009. Vol. 11, n° 5, pp. 1189-1203. DOI 10.1007/s10530-008-9381-4.

BAIS, Harsh Pal, PARK, Sang-Wook, WEIR, Tiffany L, CALLAWAY, Ragan M et VIVANCO, Jorge M, 2004. How plants communicate using the underground information superhighway. In : *Trends in Plant Science*. 1 janvier 2004. Vol. 9, n° 1, pp. 26-32. DOI 10.1016/j.tplants.2003.11.008.

BALENSIEFER, Mauricio, ROSSI, Roberto, ARDINGHI, Novella, CENNI, Mario et UGOLINI, Marco, 2004. SER International Primer on Ecological Restoration. In : . 2004.

CHIAPUSIO, Geneviève, 2000. *Les composes allelopathiques : degradation par les microorganismes et absorption par la plante cible* [en ligne]. These de doctorat. S.l. : Chambéry. [Consulté le 21 avril 2021]. Disponible à l'adresse : http://www.theses.fr/2000CHAMS023.

CLAVERO, Miguel et GARCÍA-BERTHOU, Emili, 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. In : *Trends in Ecology & Evolution*. 1 mars 2005. Vol. 20, n° 3, pp. 110. DOI 10.1016/j.tree.2005.01.003.

GALLARDO, Belinda, CLAVERO, Miguel, SÁNCHEZ, Marta I. et VILÀ, Montserrat, 2016. Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems. In : *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22, n° 1, pp. 151-163. DOI https://doi.org/10.1111/gcb.13004.

GIORIA, Margherita et OSBORNE, Bruce A., 2014. Resource competition in plant invasions: emerging patterns and research needs. In : *Frontiers in Plant Science* [en ligne]. 2014. Vol. 5. [Consulté le 10 juin 2021]. DOI 10.3389/fpls.2014.00501. Disponible à l'adresse : https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00501/full#h7.

HESS, Manon, 2020. *Restauration écologique des communautés végétales après éradication d'espèces invasives : Rôle de la dynamique de colonisation et des effets de priorité* [en ligne]. These de doctorat. S.l. : Avignon. [Consulté le 29 avril 2021]. Disponible à l'adresse : http://www.theses.fr/2020AVIG0357.

INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL, 2021. INPN - Espèces introduites envahissantes (invasive). In : [en ligne]. 2021. [Consulté le 29 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://inpn.mnhn.fr/espece/listeEspeces/statut/metropole/J.

MACARTHUR, R. et LEVINS, R., 1964. Competition, Habitat Selection, and Character Displacement in a Patchy Environment. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*. 1964. Vol. 51, n° 6, pp. 1207-1210. DOI 10.1073/pnas.51.6.1207.

MCDONALD, T., GANN, G., JONSON, J. et DIXON, K., 2016. International standards for the practice of ecological restoration–including principles and key concepts.(Society for Ecological Restoration: Washington, DC, USA.). In : *Soil-Tec, Inc.,\copyright Marcel Huijser, Bethanie Walder*. 2016.

MULLER, S., 2004. *Plantes invasives en France*. Paris : Muséum national d'histoire naturelle. Collection Patrimoines naturels. ISBN 978-2-85653-570-7.

PAYNE, Thomas et HOXLEY, Mike, 2012. Identifying and eradicating Japanese knotweed in the UK built environment. In : *Structural survey*. 2012. Vol. 30, n° 1, pp. 24-42. DOI 10.1108/02630801211226628.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., DÍAZ, S., GARNIER, E., LAVOREL, S., POORTER, H. et JAUREGUIBERRY, P., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. In : *Australian Journal of Botany*. 30 mai 2013. Vol. 61, n° 3, pp. 167-234. DOI 10.1071/BT12225.

REINHARDT, Frank, HERLE, Markus, BASTIANSEN, Finn et STREIT, Bruno, 2003. *Economic Impact of the Spread of Alien Species in Germany*. S.l. : s.n.

ROUIFED, Soraya, PUIJALON, Sara, BARDON, Clément et MEIFFREN, Guillaume, 2018. Comparison of defence and performance traits between one widespread clone and native populations in a major invasive plant species. In : *Diversity and Distributions*. 2018. Vol. 24, n° 3, pp. 297-312. DOI https://doi.org/10.1111/ddi.12690.

THIÉBAUT, Mélanie, NICOLAS, Sébastien et PIOLA, Florence, 2020. "The fad for Polygonum will fade away!": historic aspects of the propagation and success in France of the Reynoutria complex based on archives. In : *Botany Letters*. 2 juillet 2020. Vol. 167, n° 3, pp. 301-314. DOI 10.1080/23818107.2020.1750478.

TOUROULT, Julien, WITTÉ, Isabelle et THÉVENOT, Jessica, 2016. Service du Patrimoine Naturel. In : . 2016. pp. 20.

TURKER, M., BATTAL, P., AGAR, G., GULLUCE, M., SAHIN, F., EREZ, M. E. et YILDIRIM, N., 2008. Allelopathic effects of plants extracts on physiological and cytological processes during maize seed germination. In : *Allelopathy Journal*. avril 2008. Vol. 21, n° 2, pp. 273-286.

URGENSON, Lauren S., REICHARD, Sarah H. et HALPERN, Charles B., 2009. Community and ecosystem consequences of giant knotweed (Polygonum sachalinense) invasion into riparian forests of western Washington, USA. In : *Biological Conservation*. 1 juillet 2009. Vol. 142, n° 7, pp. 1536-1541. DOI 10.1016/j.biocon.2009.02.023.

WEISSHUHN, Karoline et PRATI, Daniel, 2009. Activated carbon may have undesired side effects for testing allelopathy in invasive plants. In : *Basic and Applied Ecology*. 1 septembre 2009. Vol. 10, n° 6, pp. 500-507. DOI 10.1016/j.baae.2008.10.009.

ZHANG, Zhijie, LIU, Yanjie, YUAN, Ling, WEBER, Ewald et KLEUNEN, Mark van, 2021. Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis. In : *Ecology Letters*. 2021. Vol. 24, n° 2, pp. 348-362. DOI 10.1111/ele.13627.

Annexes

1. Analyse du sol du site d'étude

CAMA - Centre de Recherches en Environnement et Agronomie
2 Esplanade Roland Garros - 51100 Reims Tel 03 26 77 36 07 - Fax 03 26 77 36 06

CHAINE D'ANALYSES
MARNE - ARDENNES

SNCF Réseau - M. Valentin MORIN
Pole régional Ingénierie de Reims
20 rue Pingat
51096 REIMS cedex

Reims, le 19/06/2019

Réception au laboratoire : le 03/06/2019

Identifiant du site : **3 F**

RESULTATS ANALYSES DE SOLS

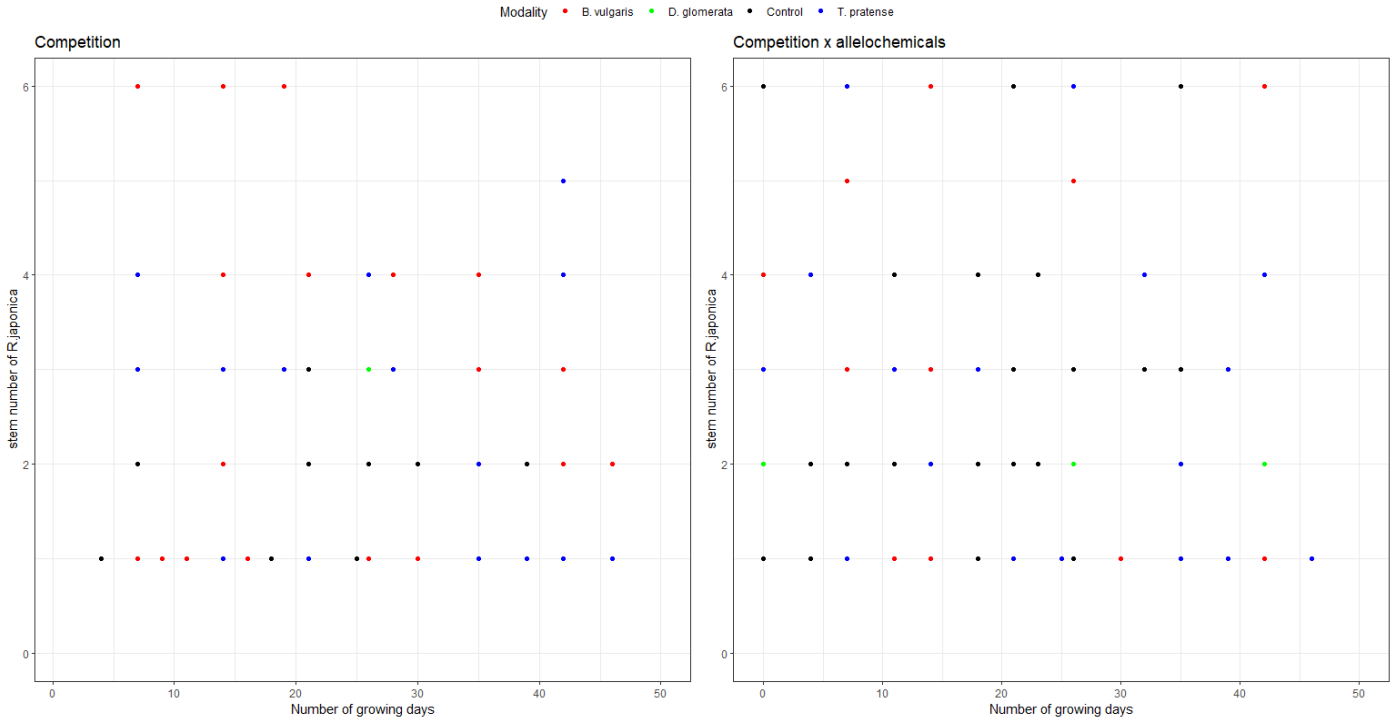
			N°cama / Horizon	
			3290	3291
Analyse	Méthode	Unité	0 - 20 cm	20 - 40 cm
GRANULOMETRIE	NFX 31-107 sans décarbonatation			
Argile	(< 2 µm)	%	11.8	13.4
Limons Fins	(2 - 20 µm)	%	13.4	15.8
Limons Grossiers	(20 - 50 µm)	%	7.1	8.3
Sables Fins	(50 - 200 µm)	%	10.5	13.5
Sables Grossiers	(0.2 à 2.0 mm)	%	57.2	49.0
Matières Organiques	(C x 1.72)	%	18.05	12.28
Carbone organique (C)	NF ISO 14235	%	10.49	7.14
Azote Total (N)	NF ISO 11261	%	0.462	0.329
Rapport C / N			22.7	21.7
Calcaire total (CaCO3)	NF EN ISO 10693	%	26.4	26.4
pH (eau)	NF ISO 10390		7.9	8.1
pH (KCl)	NF ISO 10390		7.8	7.9
Phosphore (Olsen)	NF ISO 11263	ppm P2O5	75	41
Potassium échangeable	NFX 31-108	ppm K2O	265	156
Magnésium échangeable	NFX 31-108	ppm MgO	332	188
Calcium échangeable	NFX 31-108	ppm CaO	12 696	12 081
Sodium échangeable	NFX 31-108	ppm Na2O	11	10
CEC en meq/100	NF X 31-130	meq/100g	21.1	17.5

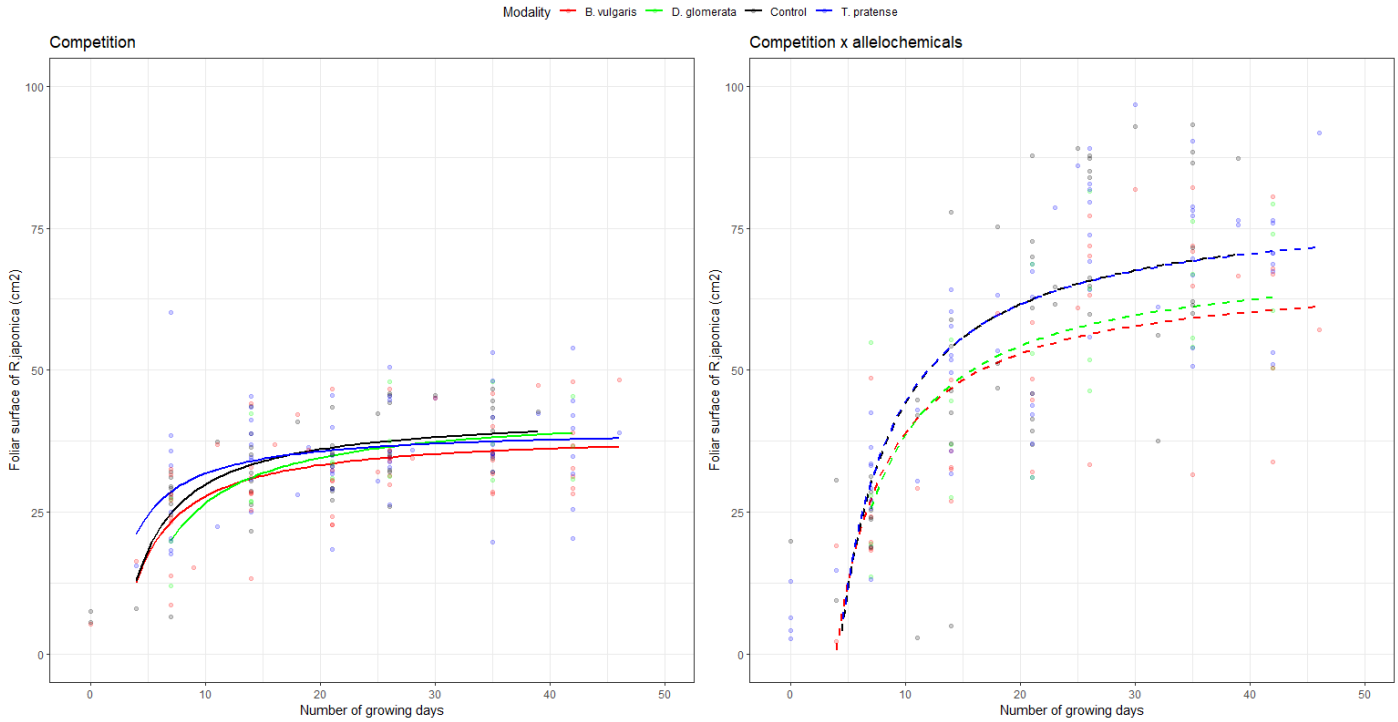
2. Influence du dispositif inhibiteur d'allélochimie sur la croissance des espèces

Tableau: Effet du dispositif inhibiteur d'allélopathie sur les mesures de croissance dans les différentes modalités (0 : pas d'effet ; + : effet positif du dispositif ; - = effet négatif du dispositif)

Mesures de croissance // Espèce	*R.japonica*	*T.pratense*	*D.glomerata*	*B.vulgaris*
Hauteur végétative (dynamiques)	-	0	-	0
Diamètre	-	NA	NA	-
Nombre de feuille	-	0	+	-
Nombre de tige	NA	NA	NA	NA
Surface foliaire	-	0	+	-
NBI	-	0	-	0

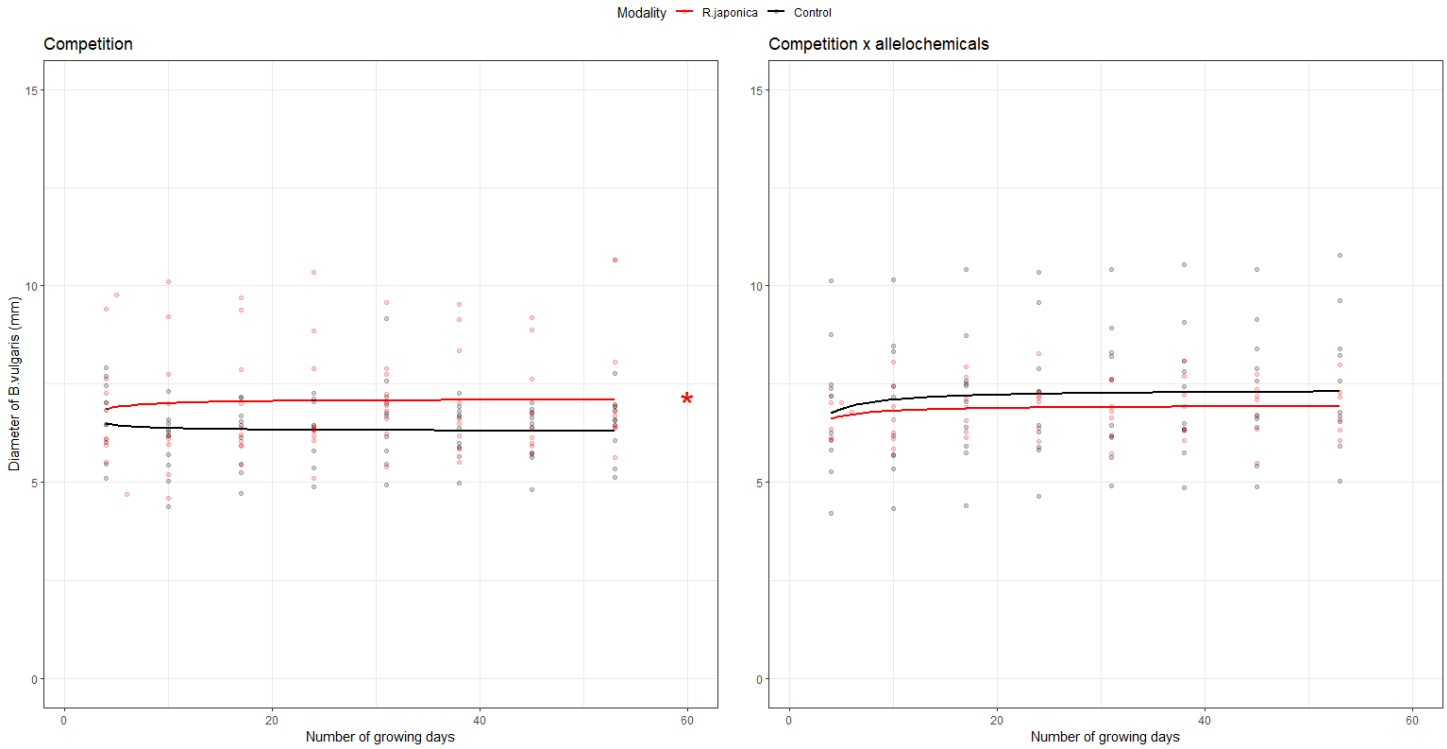
3. Croissance aérienne de *R.japonica*: Nombre de tige et Surface foliaire





Les deux dynamiques de croissance sont similaires bien que le plateau de croissance soit bien plus élevé dans les modalités de « Competition x allelochemicals » que dans celles de « Competition ». En effet (W=20.5 ; 1 ; 5.95e-6) il existe un effet négatif de la présence du dispositif inhibiteur d'allélopathie sur le développement foliaire de *R.japonica*. Au sein des deux grandes modalités, aucune différence significative n'est montrée entre l'accroissement foliaire de *R.japonica* selon la plante restauratrice présente. Ainsi la Renouée ne semble pas impacté sur cet aspect de sa croissance par les diverses plantes restauratrices, sur le plan de la compétition comme sur celui de l'allélopathie.

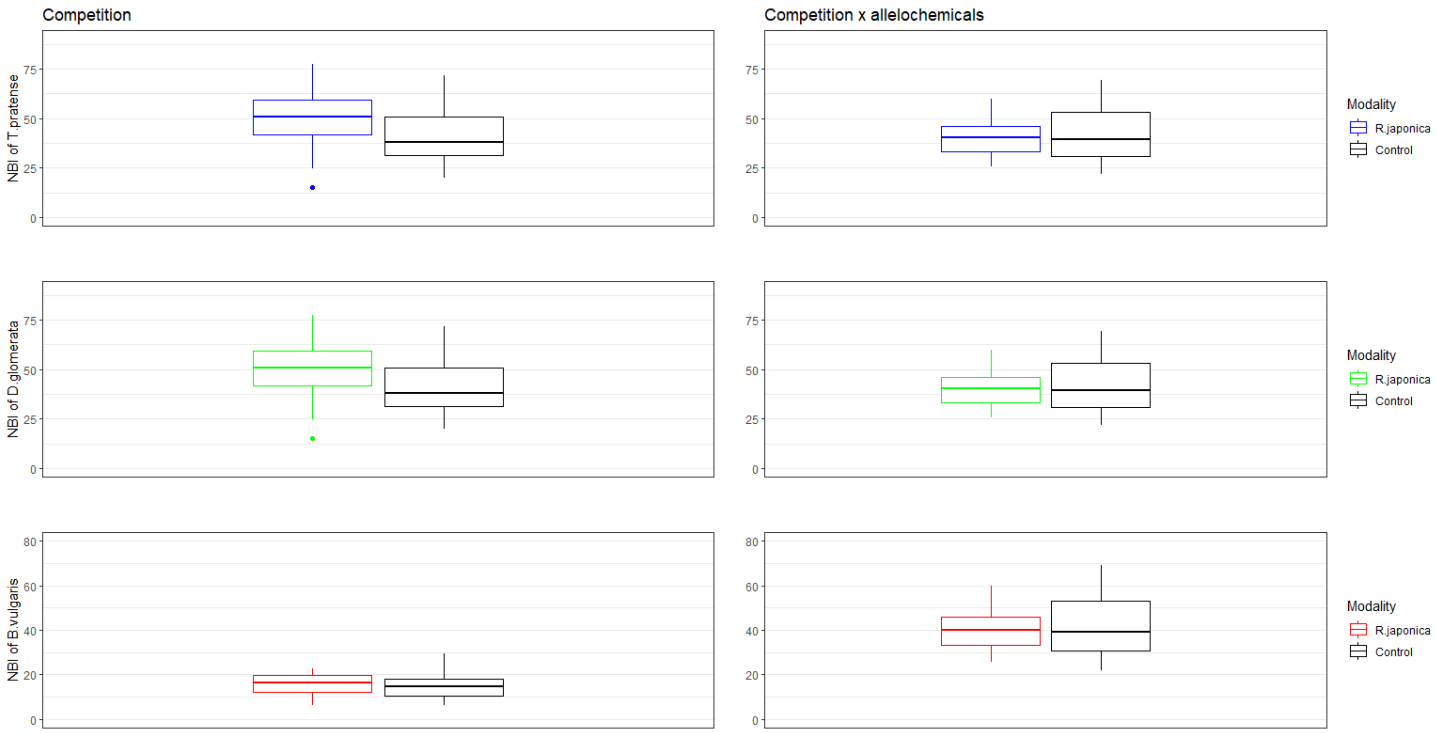
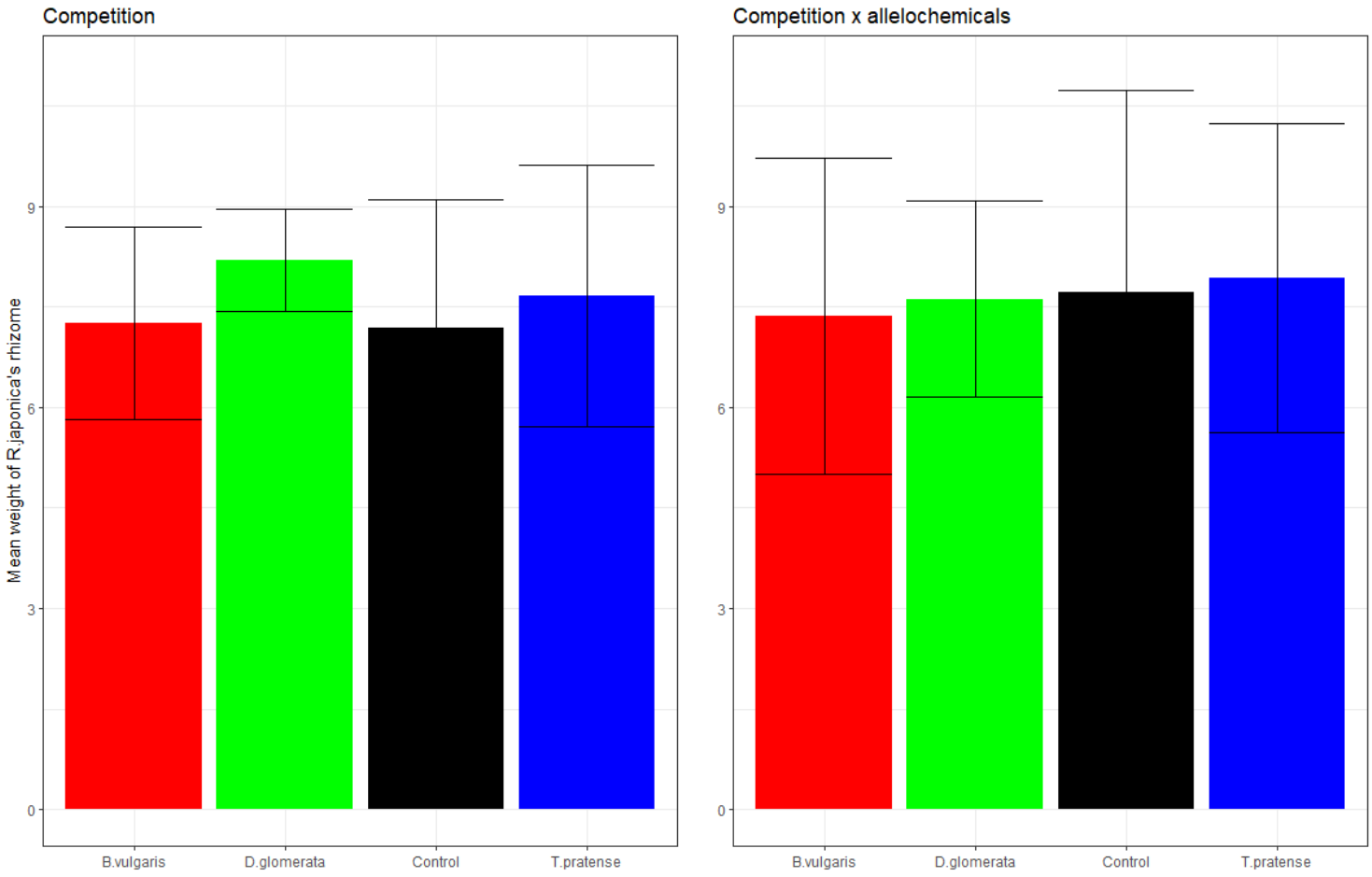
4. Croissance radiale de *B.vulgaris*



On observe que les dynamiques de croissance sont similaires. En effet, dans les quatre modalités, le diamètre semble quasiment constant. Cependant, il existe une différence significative entre les deux témoins (W=9.63 ; df=1 ; P=0.00191) révélant l'impact négatif du dispositif inhibiteur d'allélopathie sur la croissance en diamètre de *B.vulgaris*. Il semble que la présence de *R.japonica* dans les modalités de « Competition » impacte significativement la croissance en diamètre de *B.vulgaris* (W=5.06 ; df=1 ; P=0.0245). Ainsi la compétition nutritive exercée par *R.japonica* semble ici influencer positivement la croissance de *B.vulgaris*. Quant aux modalités de « Competition x allelochemicals », aucune différence significative n'est observée entre les différentes modalités. Il a été choisi d'omettre la significativité de la différence observée en raison de la dynamique de croissance trop peu aboutie de *B.vulgaris*.

Au vue du peu de point dans la phase linéaire de croissance voir à son nous ne calculerons pas l'accroissement journalier en diamètre.

5. NBI des espèces restauratrices



6. Masse des rhizomes de *R.japonica* en fonction des différentes modalités