

Gestion durable de la végétation invasive sur les infrastructures ferroviaires

*Évaluation de l'efficacité d'une couverture en broyat de bois frais pour limiter la repousse de la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) sur les infrastructures ferroviaires de SNCF Réseau*

Mémoire de fin d'étude

Directeur du mémoire : Mr
PINAUD Jean-Luc,
Responsable Pôle
Végétation, UTM Grenoble

Tuteur pédagogique : Mr
GILLES Olivier

VERILHAC Jules Élève
ingénieur Isara [Promotion 54](#)

Date de soutenance : [26/08/2026](#)

Ce document ayant été réalisé par des Élèves-Ingénieurs de l'ISARA dans le cadre d'une convention avec SNCF Réseau, toute mention, communication ou diffusion devra faire état du nom de l'auteur et de l'origine Isara.

NOTE AU LECTEUR

Concernant l'usage des intelligences artificielles génératives (IAg) pour la rédaction de ce rapport

Une intelligence artificielle générative a été utilisée pour la rédaction de ce rapport. Cet avertissement concerne uniquement l'usage de l'IA dans le cadre du présent mémoire de fin d'études ; il est complémentaire du document ressource consacré à une réflexion plus large sur l'intelligence artificielle.

Outils utilisés : *Claude, développé par Anthropic (version Claude Opus 4.8).*

Ampleur de l'usage : *usage ponctuel. Le recours à cet outil est resté circonscrit à des tâches précises et n'a jamais porté sur la réflexion scientifique, l'analyse des résultats ou les conclusions, qui relèvent exclusivement du travail de l'auteur.*

Nature des usages :

- *correction orthographique et grammaticale ;*
- *correction syntaxique ;*
- *reformulation ponctuelle de certains passages ;*
- *aide ponctuelle à la structuration de certaines sections.*

La construction de la bibliographie, l'élaboration du raisonnement scientifique et l'interprétation des résultats expérimentaux n'ont fait l'objet d'aucune assistance par intelligence artificielle.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pu être mené à bien sans le soutien, les conseils et la confiance de nombreuses personnes que je souhaite remercier sincèrement.

Mes premiers remerciements s'adressent à Jean-Luc Pinaud, Responsable du Pôle Végétation à l'UTM de Grenoble, pour m'avoir confié ce projet ambitieux, pour sa disponibilité constante et pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de cette mission. Sa parfaite connaissance du terrain ferroviaire et son approche pragmatique ont constitué un appui précieux dans la conduite de ce travail.

Je remercie également Olivier Gilles, tuteur pédagogique à l'ISARA, pour ses relectures attentives, ses remarques constructives et ses conseils méthodologiques, qui ont contribué à structurer et à enrichir cette étude.

Toute ma gratitude va à Anne-Marie Dusz, encadrante scientifique à l'INRAE et à l'Université Grenoble Alpes, dont l'expertise et l'accompagnement ont permis d'apporter à ce projet une dimension scientifique particulièrement enrichissante. L'intégration du site expérimental de Tencin au programme pluriannuel de l'INRAE constitue à cet égard une avancée significative pour la poursuite des travaux engagés.

Je tiens également à remercier Caroline Déchaume-Moncharmant, Mélanie Faure et Anne Petit, de SNCF Réseau, pour leur implication dans ce projet et leur participation aux échanges menés en collaboration avec l'INRAE. Leurs contributions ont permis d'enrichir la réflexion et de renforcer la portée opérationnelle de cette étude.

Je remercie l'ensemble des équipes de l'UTM de Grenoble, et plus particulièrement les agents de la Brigade de Domaine, pour leur mobilisation lors des campagnes de terrain, leur disponibilité et leur accueil tout au long de cette année.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille ainsi qu'à mes proches pour leur soutien moral, leur encouragement et leur confiance tout au long de cette année d'apprentissage.

RÉSUMÉ

La Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) constitue l'une des espèces végétales exotiques envahissantes les plus problématiques sur les infrastructures ferroviaires européennes. Sa forte capacité de régénération, combinée à l'interdiction progressive des herbicides, impose de développer de nouvelles méthodes de gestion opérationnelles et durables. Ce mémoire explore l'efficacité d'une couverture en broyat de bois frais pour limiter la repousse de la renouée sur les emprises de SNCF Réseau, en mobilisant une double approche expérimentale : une phase en milieu contrôlé (épaisseurs 5, 10 et 15 cm) et une phase terrain sur le site de Tencin (Isère). Les résultats préliminaires confirment un effet retardateur progressif selon l'épaisseur de couverture. L'épaisseur de 10 cm a été retenue pour le dispositif terrain, inséré dans un programme de recherche INRAE sur six ans. La méthode s'avère logistiquement faisable, compatible avec les contraintes réglementaires et les enjeux d'économie circulaire.

Mots-clés :

Renouée du Japon ; broyat de bois ; mulching ; infrastructures ferroviaires ; espèces exotiques envahissantes ; SNCF Réseau ; gestion durable ; allélopathie ; tanins.

ABSTRACT

Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*) is one of the most problematic invasive plant species on European railway infrastructure. Its strong regenerative capacity, combined with the progressive ban on herbicides, makes it necessary to develop new operational and sustainable management methods. This dissertation explores the effectiveness of a fresh wood chip mulch in limiting knotweed regrowth on SNCF Réseau's railway assets, using a two-tier experimental approach : a controlled environment phase (5, 10 and 15 cm depths) and a field phase on the Tencin site (Isère). Preliminary results confirm a progressive inhibition effect correlated with mulch depth. The 10 cm depth was selected for the field experiment, which has been integrated into a six-year INRAE research programme. The method proves logistically feasible, compliant with regulatory requirements and consistent with the principles of circular economy.

Keywords : Japanese knotweed ; wood chip mulch ; mulching ; railway infrastructure ; invasive alien species ; SNCF Réseau ; sustainable management ; allelopathy ; tannins.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

PARTIE I : CONTEXTE ET REVUE DES CONNAISSANCES

1. Cadre institutionnel, organisationnel et territorial
 - 1.1. SNCF Réseau et l'Unité Territoriale de Maintenance de Grenoble
 - 1.2. Organisation du pôle Végétation et enjeux opérationnels
 - 1.3. Contraintes spécifiques du réseau ferroviaire isérois
 - 1.4. Pertinence du site d'étude : la parcelle de Tencin
2. Enjeux environnementaux et ferroviaires
 - 2.1. Effets du changement climatique sur les infrastructures ferroviaires
 - 2.2. Pressions écologiques actuelles sur les emprises ferroviaires
 - 2.3. Importance croissante des espèces végétales invasives
3. La renouée du Japon : état de l'art
 - 3.1. Biologie et écophysiologie
 - 3.2. Mécanismes de dispersion en milieu ferroviaire
 - 3.3. Impacts écologiques, économiques et opérationnels
 - 3.4. Limites des méthodes de gestion existantes
 - 3.5. Cadre réglementaire
4. Hypothèse du rôle des tanins et pistes innovantes
 - 4.1. Propriétés chimiques des essences feuillues et résineuses
 - 4.2. Effets connus des tanins sur la dynamique végétale
 - 4.3. Travaux existants sur le « mulching ligneux »
 - 4.4. Position du problème dans la littérature
5. Problématique, hypothèses et objectifs

PARTIE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Logique générale du dispositif
 - 1.1. Genèse du projet et rôle de l'observation empirique
 - 1.2. Structuration scientifique apportée par l'INRAE
 - 1.3. Choix de la double approche : laboratoire et terrain
 - 1.4. Variables, indicateurs et critères de succès
2. Phase laboratoire
 - 2.1. Objectifs scientifiques
 - 2.2. Matériel utilisé
 - 2.3. Dispositif expérimental (modalités 5, 10 et 15 cm)
 - 2.4. Protocole de mesure

2.5. Plan d'analyse statistique

3. Phase terrain (site de Tencin)

- 3.1. Objectifs scientifiques et opérationnels
- 3.2. Description du site expérimental
- 3.3. Plan expérimental révisé
- 3.4. Mise en place du dispositif
- 3.5. Protocole de suivi hebdomadaire
- 3.6. Plan d'analyse statistique

4. Logistique, outils et moyens

- 4.1. Approvisionnement en broyat et traçabilité
- 4.2. Ressources humaines et partenaires
- 4.3. Limites méthodologiques anticipées

PARTIE III : RÉSULTATS

1. Résultats de la phase en milieu contrôlé

- 1.1. Dynamique d'émergence et croissance en hauteur
- 1.2. Limite statistique de la phase laboratoire

2. Résultats de la phase terrain (site de Tencin)

- 2.1. État initial des placettes (11 mai 2026)
- 2.2. Évolution temporelle des indicateurs (11 mai au 3 août 2026)
- 2.3. Statistiques descriptives, semaine 13 (3 août 2026)
- 2.4. Analyse statistique des valeurs finales (ANOVA et comparaisons multiples)
- 2.5. Prise en compte de l'état initial (ANCOVA)
- 2.6. Observations qualitatives complémentaires

PARTIE IV : DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

- 1. Discussion des résultats de la phase en milieu contrôlé
- 2. Discussion des résultats de la phase terrain
- 3. Cohérence entre les deux phases expérimentales
- 4. Limites du protocole et biais identifiés
- 5. Recommandations opérationnelles pour SNCF Réseau
- 6. Perspectives de recherche

RESPONSABILITÉ SOCIÉTALE DES ENTREPRISES

CONCLUSION

ÉTHIQUE DE L'INGÉNIEUR

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES ABRÉVIATIONS

ADEME : Agence de la Transition Écologique

ANOVA : Analysis of Variance : Analyse de la variance

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CEREMA : Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

DA : Domaine d'Approfondissement

EEE : Espèces Exotiques Envahissantes

FISA : Formation Initiale Sous statut d'Apprenti

FISE : Formation Initiale Sous statut Étudiant

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ISARA : Institut Supérieur de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire de la Région Auvergne

MFE : Mémoire de Fin d'Études

QVT : Qualité de Vie au Travail

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

SIG : Système d'Information Géographique

SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français

UGA : Université Grenoble Alpes

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UTM : Unité Territoriale de Maintenance

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

TABLE DES FIGURES

- Figure 1 :** Zone d'étude vue du ciel de la gare de Tencin
- Figure 2 :** Photographie de la gare de Tencin (source personnelle)
- Figure 3 :** Site d'étude du MFE, photographie aérienne (source : Google Maps)
- Figure 4 :** Photographie de la zone couverte par du broyat de bois (source personnelle)
- Figure 5 :** Photographie d'un portail d'accès inutilisable dû au développement de la renouée du Japon
- Figure 6 :** Photographie d'un câble électrique dissimulé par la végétation
- Figure 7 :** Schéma en coupe de la renouée du Japon (source : Catherine DESSAGNE)
- Figure 8 :** Photographie prise le lendemain d'une fauche de renouée du Japon (source personnelle)
- Figure 9 :** Photographie d'une bâche de trois ans inefficace face à la renouée du Japon
- Figure 10 :** Photographie de déchets de bois déposés à proximité d'une renouée du Japon (source personnelle)
- Figure 11 :** Schéma de l'expérimentation en milieu contrôlé
- Figure 12 :** Photographie des bacs d'étude (témoin non représenté)
- Figure 13 :** Photographie prise à 3 m au-dessus du sol sur le site de Tencin
- Figure 14 :** Schéma organisationnel de l'expérimentation
- Figure 15 :** Schéma d'une placette
- Figure 16 :** Zone de stockage des traverses
- Figure 17 :** Placette broyée avant le débroussaillage
- Figure 18 :** Placette broyée après le débroussaillage de finition
- Figure 19 :** Fin des travaux d'installation de l'expérimentation
- Figure 20 :** Vue aérienne de la zone d'expérimentation
- Figure 21 :** Broyat de bois employé pour l'expérimentation
- Figure 22 :** Agent de la Brigade de Domaine élaguant des bambous gênant l'accès du camion à la zone de stockage des traverses
- Figure 23 :** Évolution temporelle du nombre de tiges (A), de la hauteur moyenne (B) et du diamètre moyen (C) selon la modalité
- Figure 24 :** Diagrammes en boîte comparatifs des trois modalités à la semaine 13 pour le nombre de tiges, la hauteur et le diamètre
- Figure 25 :** Dynamique du nombre de tiges par modalité sur les treize semaines
- Figure 26 :** Aire sous la courbe de croissance (AUC) par modalité pour les trois variables
- Figure 27 :** Distribution des trois modalités à la semaine 13 pour le nombre de tiges, la hauteur et le diamètre

Figure 28 : Effet de chaque modalité sur la densité (nombre de tiges) et la vigueur (hauteur) à la semaine 13, exprimé en pourcentage du témoin

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« *L'homme fait partie de la nature, et sa guerre contre la nature est inévitablement une guerre contre lui-même.* »

Rachel Carson, *Silent Spring* (1962)

Les infrastructures ferroviaires s'inscrivent parmi les milieux anthropisés les plus contraints en matière de gestion de la végétation (Forman et Alexander, 1998). Ce sont des espaces linéaires soumis à des perturbations fréquentes et à des exigences de sécurité élevées, elles nécessitent une maîtrise rigoureuse des formations végétales afin de garantir la visibilité, l'accessibilité et la stabilité des ouvrages. Dans ces contextes fortement perturbés, la végétation, loin d'être un simple élément paysager, devient un facteur déterminant de la performance technique et de la sécurité des opérations de maintenance et de circulation des lignes SNCF.

Le développement des espèces végétales exotiques envahissantes y constitue une problématique croissante. Favorisées par les perturbations anthropiques répétées, l'absence de compétition végétale efficace et l'évolution des conditions climatiques, ces espèces présentent des dynamiques de colonisation rapides et difficilement réversibles (Davis et al., 2000 ; Richardson et al., 2000 ; Hellmann et al., 2008 ; Lockwood et al., 2013). La renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) illustre de manière emblématique cette problématique. Dotée d'un système rhizomateux particulièrement développé, d'une croissance rapide et d'une forte capacité de régénération à partir de fragments végétatifs, cette espèce colonise efficacement les talus, remblais et zones de ballast des infrastructures de transport (Beerling et al., 1994 ; Pyšek et al., 2008). En milieu ferroviaire, ces peuplements monospécifiques peuvent modifier la structure des sols, favoriser l'érosion, masquer les équipements de sécurité et compliquer significativement les opérations de maintenance et d'accès aux installations (Environment Agency, 2013 ; Network Rail, 2018). Sa maîtrise représente ainsi un enjeu technique, environnemental et économique majeur pour SNCF Réseau.

Parallèlement, la gestion de la végétation ferroviaire s'inscrit dans un contexte de transition des pratiques, marqué par la réduction progressive de l'usage des produits phytosanitaires et par une exigence croissante de durabilité des interventions, sous l'effet conjoint des évolutions réglementaires et des attentes sociétales en matière de protection de l'environnement (SNCF Réseau, 2020). Cette évolution impose de repenser les stratégies de lutte contre les espèces invasives, non plus uniquement sous l'angle de l'éradication mais dans une logique de maîtrise raisonnée et durable de leur dynamique (Simberloff et al., 2013).

Dans ce cadre, l'utilisation de broyat de bois frais, issu des opérations courantes de gestion de la végétation, apparaît comme une piste potentielle. Longtemps considéré comme un déchet à évacuer, ce matériau fait aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant en tant que ressource mobilisable localement, notamment dans une logique d'économie circulaire et de réduction des flux de déchets (ADEME, 2018). Son usage sous forme de couverture du sol repose sur l'hypothèse d'un effet limitant sur la repousse végétale, combinant des mécanismes physiques

(barrière mécanique), microclimatiques (modification de l'humidité et de la température du sol) et lumineux (réduction de l'accès à la lumière), largement documentés dans les systèmes agricoles et horticoles (Mohler et Teasdale, 1993).

Toutefois, si l'efficacité des paillages organiques est bien établie dans les contextes agricoles, forestiers ou paysagers, leur transférabilité vers le milieu ferroviaire demeure insuffisamment caractérisée, en particulier pour des espèces rhizomateuses invasives telles que la Renouée du Japon (Beerling et al., 1994 ; Lockwood et al., 2013). Les spécificités du contexte ferroviaire rendent toute transposition directe des résultats issus des autres milieux incertaine (UIC, 2018).

Dès lors, se pose la question de la pertinence réelle de cette méthode lorsqu'elle est appliquée dans un cadre opérationnel contraint, où les objectifs de maîtrise de la végétation doivent être conciliés avec la sécurité des circulations, la pérennité des ouvrages et la maîtrise des coûts d'exploitation.

C'est dans cette perspective que s'inscrit ce mémoire, interrogeant la capacité d'une couverture en broyat de bois frais à constituer une méthode à la fois opérationnelle et durable de limitation de la repousse de la Renouée du Japon sur les infrastructures ferroviaires gérées par SNCF Réseau. L'hypothèse centrale repose sur l'idée qu'une couverture pourrait agir simultanément comme barrière physique, modificateur des conditions microclimatiques du sol et facteur limitant l'accès à la lumière, tout en présentant un intérêt logistique et économique lié à la valorisation locale des matériaux issus des chantiers de végétation (Mohler et Teasdale, 1993 ; ADEME, 2018). Cette efficacité potentielle est toutefois supposée dépendante de nombreux paramètres locaux, tels que la nature des sols, les conditions climatiques et les modalités de mise en œuvre, comme l'ont montré plusieurs travaux sur les dispositifs de paillage en milieux contraints (Lockwood et al., 2013).

L'objectif de ce travail est ainsi d'évaluer de manière critique la pertinence de cette approche, en combinant une analyse bibliographique, des observations de terrain et des expérimentations comparatives à échelle réduite. Au-delà de la seule mesure de l'efficacité biologique du dispositif, il s'agit d'apprécier sa faisabilité opérationnelle, sa durabilité dans le temps et ses limites, afin de produire des éléments d'aide à la décision réalistes et argumentés pour la gestion des espèces invasives en milieu ferroviaire.

Le mémoire s'organise ainsi autour d'une progression logique allant du cadre conceptuel et méthodologique à l'analyse des résultats, puis à leur discussion critique au regard des contraintes et enjeux propres à SNCF Réseau. La Partie I présente le contexte institutionnel, environnemental et scientifique. La Partie II détaille le dispositif expérimental et la démarche méthodologique adoptée. La Partie III expose les résultats obtenus en milieu contrôlé et les premiers éléments disponibles pour le suivi terrain. La Partie IV les discute et formule des recommandations opérationnelles.

PARTIE I : CONTEXTE ET REVUE DES CONNAISSANCES

1. Cadre institutionnel, organisationnel et territorial

1.1. SNCF Réseau et l'Unité Territoriale de Maintenance de Grenoble

SNCF Réseau est le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire nationale française. Créée à la suite de la réforme ferroviaire de 2015, cette entité publique à caractère industriel et commercial est chargée de l'aménagement, de la gestion, de l'exploitation et de la modernisation du réseau ferré national. Elle assure la cohérence et la continuité de fonctionnement d'un réseau de plus de 30 000 kilomètres de lignes, support essentiel des mobilités quotidiennes et du transport de marchandises à l'échelle du territoire national (Cour des comptes, 2020).

Les missions de SNCF Réseau s'articulent autour de plusieurs fonctions structurantes. Elle garantit en premier lieu la sécurité et la fiabilité des circulations ferroviaires, condition indispensable à l'exploitation du réseau. Elle assure également la maintenance et la régénération des infrastructures, qu'il s'agisse des voies, des ouvrages d'art, des installations de signalisation ou des équipements d'alimentation électrique. Enfin, elle organise la gestion des circulations et l'attribution des sillons ferroviaires aux différents opérateurs, dans un objectif de performance globale du système ferroviaire (SNCF Réseau, 2022). L'organisation territoriale de SNCF Réseau repose notamment sur des Unités Territoriales de Maintenance (UTM), chargées de la surveillance et de l'entretien courant des infrastructures à l'échelle locale (SNCF Réseau, 2022).

L'Unité Territoriale de Maintenance de Grenoble est rattachée à la Direction territoriale Auvergne-Rhône-Alpes. Elle intervient sur un périmètre couvrant l'agglomération grenobloise ainsi que plusieurs lignes ferroviaires de montagne, allant de zones urbaines denses à des secteurs alpins plus contraints. (cf. annexe 1). Ce secteur implique une forte technicité des infrastructures et des exigences élevées en matière de surveillance et de maintenance. L'UTM de Grenoble regroupe différents métiers techniques concourant à la maintenance de l'infrastructure ferroviaire et intègre également une cellule dédiée aux enjeux environnementaux et à la gestion de la végétation ferroviaire (SNCF Réseau, 2022).

1.2. Organisation du pôle Végétation et enjeux opérationnels

Au sein de l'UTM de Grenoble, le pôle Végétation occupe une fonction transversale dans l'organisation de la maintenance ferroviaire. Rattaché au pôle Patrimoine, il intervient à l'interface entre les exigences de sécurité ferroviaire, les obligations réglementaires environnementales et les contraintes opérationnelles liées à l'exploitation du réseau. Les emprises ferroviaires constituent des milieux fortement anthropisés, régulièrement perturbés par les opérations de maintenance, mais aussi des espaces linéaires continus susceptibles de jouer un rôle écologique particulier. Cette dualité confère à la gestion environnementale ferroviaire une complexité spécifique, nécessitant une coordination étroite avec les autres métiers techniques de l'UTM. (cf. annexe 2)

D'un point de vue opérationnel, la gestion de la végétation représente un enjeu direct pour la sécurité des circulations. Une végétation non maîtrisée peut compromettre la visibilité de la signalisation, gêner l'accès aux installations, accroître le risque de chute d'arbres ou contribuer à l'instabilité des talus. Parallèlement, les interventions sont encadrées par un corpus réglementaire exigeant, incluant notamment les zonages environnementaux (sites Natura 2000, ZNIEFF) et les prescriptions préfectorales. Le rôle du pôle Végétation consiste à assurer un arbitrage permanent entre ces différentes dimensions, en veillant à la conformité réglementaire des interventions tout en maintenant un niveau élevé de sécurité de l'infrastructure ferroviaire.

1.3. Contraintes spécifiques du réseau ferroviaire isérois

Le réseau ferroviaire isérois s'inscrit dans un contexte géographique et historique particulièrement contraignant. Développé à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle, il a accompagné l'industrialisation et l'urbanisation des vallées alpines, en s'implantant majoritairement en fond de vallée et le long d'axes hydrauliques majeurs, dans un environnement naturel marqué par un relief accidenté et une forte dynamique hydrologique (CEREMA, 2020). La présence de massifs montagneux, de vallées encaissées et de cours d'eau à régime torrentiel confère aux infrastructures ferroviaires locales une vulnérabilité structurelle face aux aléas naturels : crues rapides, coulées de boue, glissements de terrain et éboulements rocheux constituent des risques récurrents pour la stabilité des ouvrages et la continuité du trafic ferroviaire.

Dans un contexte de changement climatique, ces aléas tendent à s'intensifier. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de précipitations extrêmes, combinée à une modification des régimes hydrologiques alpins, accentue les phénomènes de ruissellement, d'érosion et d'instabilité des versants, renforçant ainsi les contraintes pesant sur les infrastructures ferroviaires de montagne (GIEC, 2021 ; Météo-France, 2022). Dans ce contexte, la gestion de la végétation ne relève plus uniquement d'une logique paysagère ou écologique. Elle constitue un levier technique majeur de maîtrise des risques naturels, en influençant directement la stabilité des talus, la cohésion des sols et la dynamique hydrique (INRAE, 2019).

1.4. Pertinence du site d'étude : la parcelle de Tencin

Le site de Tencin s'inscrit dans le périmètre d'intervention de l'UTM de Grenoble, sur la ligne Grenoble-Montmélian (L909000), et présente des caractéristiques représentatives des enjeux rencontrés sur le réseau ferroviaire isérois. La présence avérée de la Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*), espèce végétale exotique envahissante classée parmi les plus problématiques en Europe, y colonise plus de 5 000 m² de talus et emprises ferroviaires, conférant au site un intérêt particulier.



Figure 1 : Zone d'étude vue du ciel de la gare de Tencin

Notre parcelle expérimentale, d'environ 300 m², correspond à une ancienne zone d'écopâturage délimitée par un grillage partiellement conservé. Les accès y sont aisés, sans autorisation particulière, via une route agricole peu empruntée longeant la zone. Cette configuration offre une souplesse logistique précieuse pour la conduite des relevés de suivi. Par ailleurs, le site fait régulièrement l'objet de signalements de la part des autorités locales et des riverains en raison de la prolifération de l'espèce, ce qui inscrit l'expérimentation dans une démarche de réponse à une demande territoriale réelle.



Figure 3 : site d'étude du MFE, photographie aérienne (source : Google Maps)



Figure 2 : photographie de la gare de Tencin (source personnelle)

C'est d'ailleurs sur ce site qu'est née l'idée fondatrice de ce travail. Lors d'une visite de terrain, un riverain a mentionné qu'il avait toujours déposé des résidus de bois et de sciure sur cette parcelle, et que la renouée n'avait jamais poussé à cet endroit précis. Cette observation empirique, bien que non encadrée scientifiquement, a constitué le point de départ de l'hypothèse explorée dans ce mémoire.



Figure 4 : photographie de la zone couverte par du broyat de bois (source personnelle)

2. Enjeux environnementaux et ferroviaires

2.1. Effets du changement climatique sur les infrastructures ferroviaires

Le changement climatique constitue aujourd'hui une menace croissante pour les infrastructures de transport. Les infrastructures ferroviaires, du fait de leur caractère linéaire, de leur fort ancrage territorial et de leur durée de vie élevée, figurent parmi les systèmes techniques les plus exposés aux effets cumulés des modifications climatiques. Le GIEC met en évidence une augmentation avérée de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, notamment les précipitations intenses, les vagues de chaleur et les phénomènes hydrologiques rapides, qui affectent déjà de manière mesurable les infrastructures européennes (GIEC, 2023).

Dans le domaine ferroviaire, ces évolutions se traduisent par une aggravation des contraintes pesant sur les ouvrages et les plateformes : instabilité accrue des talus, dégradation accélérée des structures de fondation, saturation des systèmes de drainage et fragilisation des ouvrages d'art.

Dans le contexte de l'Isère, ces impacts sont amplifiés par la topographie, la nature hétérogène des sols et la forte réactivité hydrologique des bassins versants, rendant les infrastructures particulièrement vulnérables (BRGM, 2018). C'est dans ce contexte que la végétation joue un rôle ambivalent vis-à-vis de la résilience des infrastructures : elle peut contribuer à la stabilisation des sols mais, lorsqu'elle est mal maîtrisée ou composée d'espèces inadaptées, accentuer certains risques (CEREMA, 2021).

2.2. Pressions écologiques actuelles sur les emprises ferroviaires

La pression écologique est très forte sur les infrastructures de SNCF Réseau en territoire isérois. L'artificialisation des sols, la fragmentation des habitats et la perturbation des continuités écologiques figurent parmi les principaux impacts associés aux infrastructures linéaires de transport (Forman et Alexander, 1998). Toutefois, ces emprises peuvent également jouer un rôle écologique spécifique en tant que corridors linéaires, favorisant la dispersion de certaines espèces végétales, dont la renouée du Japon, et animales.

Les milieux ferroviaires sont caractérisés par des perturbations régulières liées aux opérations de maintenance : débroussaillage, fauchage, terrassement, circulation d'engins. Ces perturbations créent des conditions écologiques particulières, souvent défavorables aux espèces végétales locales compétitives, mais propices à l'installation d'espèces opportunistes capables d'exploiter rapidement les niches disponibles (Hobbs et Huenneke, 1992). Par ailleurs, la réduction progressive de l'usage des produits phytosanitaires, sous l'effet du Plan Ecophyto II+ (ministère de l'Agriculture, 2018) et de l'abandon progressif du glyphosate, modifie profondément les pratiques de gestion de la végétation. Si cette évolution répond à des objectifs légitimes de protection de l'environnement, elle pose des défis opérationnels importants pour les gestionnaires d'infrastructures, confrontés à une augmentation des dynamiques de recolonisation végétale sur les emprises (ANSES, 2020).

2.3. Importance croissante des espèces végétales invasives

Dans ce contexte de perturbation des milieux et de changement climatique, les espèces végétales exotiques envahissantes (EEE) occupent une place croissante. Ces espèces, introduites volontairement ou accidentellement hors de leur aire de répartition naturelle, présentent des capacités de colonisation rapides et difficiles à endiguer (Simberloff et al., 2013). Les milieux ferroviaires, par leurs caractéristiques d'artificialisation, leur connectivité et leurs perturbations récurrentes, constituent des vecteurs privilégiés de dispersion et d'établissement de ces espèces, comme l'ont montré de nombreux travaux à l'échelle européenne (Child et al., 2010).

Sur le terrain, les situations opérationnelles rencontrées illustrent concrètement l'ampleur des contraintes induites. Certaines zones deviennent difficilement, voire totalement inaccessibles en raison de la prolifération d'espèces telles que la renouée du Japon, dont le développement dense et vigoureux entrave les opérations de gestion (cf. figure 5). Par ailleurs, la colonisation végétale entraîne une perte de visibilité des équipements sensibles, notamment des câbles électriques ou de signalisation, augmentant significativement les risques de dégradation lors des interventions de maintenance (cf. figure 6). Ces problématiques traduisent une complexification croissante des activités de gestion de la végétation et soulignent la nécessité d'adapter les pratiques opérationnelles.



Figure 6 : photographie d'un câble électrique dissimulé par la végétation



Figure 5 : photographie d'un portail d'accès inutilisable dû au développement de la renouée du Japon

3. La Renouée du Japon: état de l'art

3.1. Biologie et écophysiologie

Reynoutria japonica (syn. *Fallopia*) est une plante vivace originaire d'Asie orientale, introduite en Europe au XIX^e siècle comme plante ornementale (Bailey et al., 2009). Elle est aujourd'hui reconnue comme l'une des espèces végétales invasives les plus problématiques en Europe, figurant sur la liste de l'UICN des 100 espèces les plus envahissantes au monde (UICN, 2000).

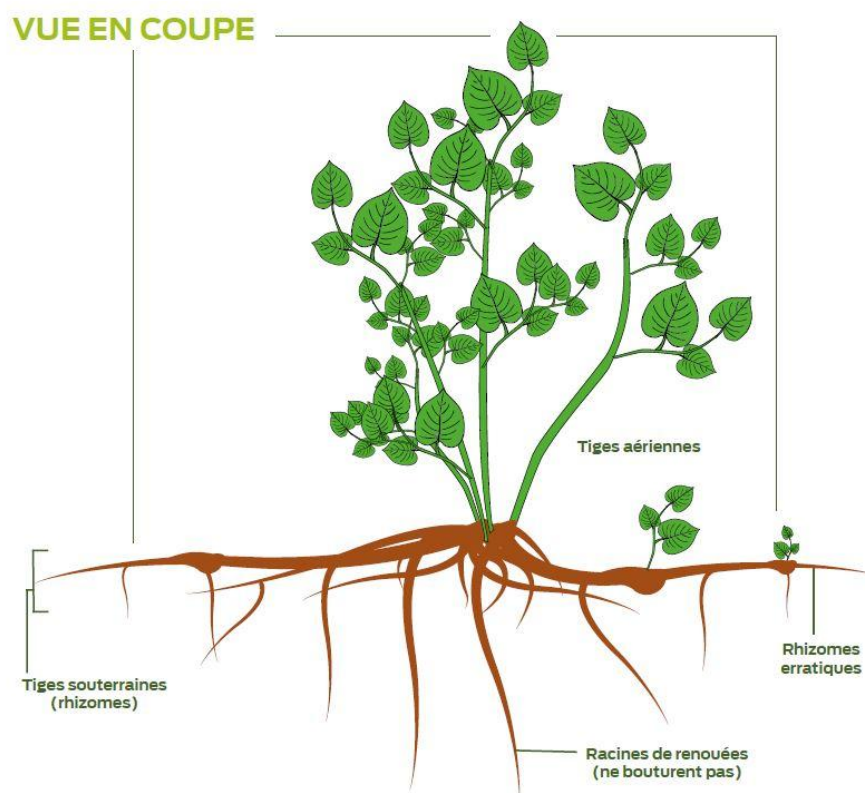


Figure 7 : schéma en coupe de la renouée du Japon (source : Catherine DESSAGNE)

Son expansion repose sur un réseau de rhizomes pouvant atteindre 3 mètres de profondeur et s'étendre latéralement sur plusieurs dizaines de mètres, conférant à la plante une capacité de régénération exceptionnelle après perturbation (Beerling et al., 1994). Sa croissance aérienne est extrêmement rapide au printemps, avec des tiges pouvant atteindre 2 à 3 mètres de hauteur en quelques semaines.

La forte plasticité génétique de l'espèce explique sa capacité d'adaptation à des contextes écologiques très variés. La reproduction végétative constitue le principal moteur de sa dynamique invasive en Europe, les fragments de rhizomes conservant un fort potentiel de régénération même en conditions défavorables (Bailey et al., 2009). Cette caractéristique est particulièrement critique dans le contexte ferroviaire, où les opérations mécaniques de fauchage ou de terrassement risquent de disperser des fragments viables de rhizomes.

3.2. Mécanismes de dispersion en milieu ferroviaire

En milieu ferroviaire, la Renouée du Japon bénéficie de conditions particulièrement favorables à son établissement et à sa propagation. Les perturbations chroniques liées aux opérations de maintenance créent des niches écologiques propices, tandis que le caractère linéaire des emprises facilite la dispersion de l'espèce sur de longues distances (Beerling, 1991). En d'autres termes, si les plantes viennent à engager le gabarit du train¹, celui-ci peut alors transporter des fragments de renouée sur de très longues distances et ainsi disperser la plante. Les engins de travaux, les véhicules d'équipement et les flux de matériaux constituent autant de vecteurs de transport de fragments de rhizomes d'un site infesté à un autre. Une séquence de fauchage réalisée sans désinfection adéquate du matériel peut ainsi contribuer, de manière involontaire, à la multiplication des foyers.

3.3. Impacts écologiques, économiques et opérationnels

En milieu ferroviaire, la Renouée du Japon colonise très rapidement les talus, remblais et zones de ballast. Ses peuplements denses affectent la stabilité des ouvrages (Fennell et al., 2018), la visibilité de la signalisation et la praticabilité des accès de maintenance. Sur le site de Tencin, deux interventions de fauchage ont été nécessaires au cours de la saison de végétation : l'espèce avait retrouvé, en l'espace de deux mois à peine, une hauteur correspondant à son développement maximal. Cet exemple illustre concrètement la rapidité de croissance de l'espèce et les limites des stratégies de gestion exclusivement mécaniques. Sur la figure 8, nous avons effectué une fauche de renouée sur Tencin, moins de 24 h après, celle-ci faisait déjà 7 cm.



Figure 8 : photographie prise le lendemain d'une fauche de renouée du Japon (source personnelle)

Sur le plan écologique, les peuplements de Renouée du Japon forment des monocultures denses qui éliminent rapidement les espèces indigènes par ombrage et allélopathie, réduisent la biodiversité locale et perturbent les processus de décomposition de la matière organique. Sur le plan économique, sa gestion représente un enjeu technique et financier majeur pour SNCF Réseau, nécessitant des interventions répétées et onéreuses (Child et al., 2010). Le simple fauchage de renouée sur 2 000 m² peut représenter jusqu'à 10 000 € HT. Nous gérons 1 200 kilomètres de ligne, dont près d'un quart sont sujets à une plante envahissante. Le coût de maintenance y est important.

¹ Terme interne pour dire que le train heurte à chaque passage la végétation

3.4. Limites des méthodes de gestion existantes

Les méthodes de gestion actuellement mises en œuvre pour la lutte contre la Renouée du Japon en milieu ferroviaire reposent principalement sur des interventions mécaniques : fauchage répété et, plus ponctuellement, la mise en place de bâche perméable et dans des cas plus sérieux excavation des sols infestés. Le recours aux méthodes chimiques est aujourd'hui proscrit au sein de SNCF Réseau, en cohérence avec les orientations réglementaires et les objectifs de réduction de l'usage des produits phytosanitaires. Ces opérations sont confiées à des entreprises spécialisées et formées aux enjeux liés aux espèces exotiques envahissantes.

Toutefois, les interventions mécaniques menées seules montrent des résultats souvent limités, voire contre-productifs. En raison de la forte capacité de régénération de la plante, le fauchage répété peut conduire à une fragmentation accrue des tiges et des rhizomes, favorisant la dispersion végétative et la reconstitution rapide des peuplements (Child et Wade, 2000 ; Delbart et al., 2012). Le bâchage et la pose de géotextiles opaques s'avèrent particulièrement onéreux et doivent être maintenus sur plusieurs années. De plus, des retours d'expérience montrent qu'au-delà de trois à cinq ans, la Renouée du Japon est capable de perforer les dispositifs ou de les contourner par extension latérale de ses rhizomes (cf. figure 9) (Gerber et al., 2008 ; CEREMA, 2020).

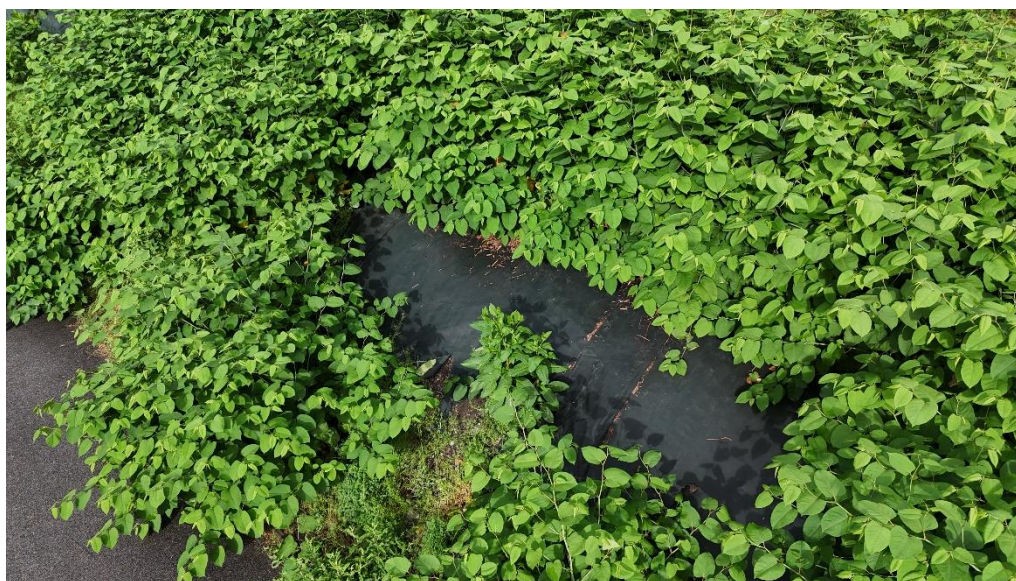


Figure 9 : photographie d'une bâche de trois ans inefficace face à la renouée du Japon

3.5. Cadre réglementaire

La Renouée du Japon s'inscrit aujourd'hui dans un cadre réglementaire de plus en plus structurant, à la croisée des politiques de biodiversité, de gestion des risques et d'exploitation des infrastructures. Classée parmi les espèces exotiques envahissantes préoccupantes, elle fait l'objet d'une vigilance accrue aux échelles européenne et nationale, en raison de ses impacts écologiques, économiques et opérationnels.

À l'échelle de l'Union européenne, le Règlement (UE) n° 1143/2014 constitue le socle juridique de référence. Ce texte impose aux États membres une obligation de prévention, de détection

précoce et de gestion des espèces concernées. Concrètement, cela se traduit par la mise en place de dispositifs de surveillance, de plans d'action et, lorsque cela est pertinent, de mesures d'éradication ou de confinement. Même si toutes les populations de renouée ne sont pas systématiquement visées par des interdictions strictes à l'échelle européenne, elle est néanmoins intégrée dans les stratégies nationales comme espèce à fort enjeu.

En France, le cadre est précisé par l'Article L411-3 du Code de l'environnement, qui encadre de manière rigoureuse la gestion des espèces exotiques envahissantes. Ce dispositif impose notamment des obligations fortes en matière de gestion des déchets végétaux contaminés. On est sur une logique de biosécurité opérationnelle :

- Stérilisation systématique des outils et engins après intervention,
- Confinement et traçabilité des terres infestées,
- Transport vers des filières de traitement adaptées, évitant toute dissémination secondaire.

Ce point est souvent sous-estimé sur le terrain : le principal vecteur de propagation, ce n'est pas la plante en elle-même, c'est l'activité humaine mal maîtrisée. Une simple fragmentation de rhizome peut suffire à recréer un foyer.

Pour un gestionnaire d'infrastructure comme le ferroviaire, les implications sont loin d'être théoriques. On parle ici de contraintes opérationnelles lourdes : augmentation des coûts d'intervention, allongement des délais, complexification des chantiers et nécessité de former les équipes à des protocoles spécifiques. Chaque opération de terrassement ou de débroussaillage devient potentiellement un acte à risque en termes de dissémination.

Cela pose une vraie question stratégique : continuer à gérer de manière curative (intervenir une fois que le problème est installé) ou basculer vers une logique préventive et différenciée. En clair, moins manipuler, moins déplacer, et surtout éviter de créer des flux de matériaux contaminés. Cette approche implique de repenser les pratiques : limitation des travaux en zones infestées, adaptation des calendriers d'intervention, voire intégration de techniques alternatives (couverture, concurrence végétale, gestion différenciée).

4. Hypothèse du rôle des tanins et pistes innovantes

Parmi les techniques alternatives, le recours à un *mulching*² *ligneux*³ saute aux yeux. En effet, lors des travaux de végétation, d'abattage et d'élagage des arbres à risque, la SNCF se retrouve avec d'importante quantité de déchets ligneux. La fréquence d'intervention et l'important nombre d'arbres à risque rendent cette ressource presque inépuisable. La valorisation de matériaux issus de la gestion courante de cette végétation, et en particulier des résidus ligneux, constitue une piste d'intérêt croissant. Aujourd'hui, la SNCF finance des

² Paillage (terme anglais souvent utilisé en agronomie et gestion environnementale).

³ Relatif au bois ou aux végétaux boisés.

entreprises pour évacuer ces déchets, ou les stocke sur place. Les limites techniques, économiques et réglementaires des méthodes de gestion actuelles soulignent la nécessité d'explorer des approches alternatives fondées sur des mécanismes écologiques et biochimiques susceptibles de limiter durablement la repousse, tout en restant compatibles avec les contraintes opérationnelles du milieu ferroviaire. Si l'efficacité du broyat de bois est démontrée, alors il sera possible de créer une notice technique sur l'usage des déchets ligneux à des fins préventives, et peut-être curatives, contre les plantes envahissantes (du moins la renouée du Japon). Au-delà de la barrière physique constituée par un mulching ligneux, certaines hypothèses suggèrent également l'existence de propriétés chimiques associées à ce type de couverture végétale.

4.1. Propriétés chimiques des essences feuillues et résineuses

Les essences ligneuses se distinguent par leur composition chimique, notamment par leur richesse variable en composés phénoliques, parmi lesquels les tanins occupent une place centrale. Les tanins sont des polyphénols secondaires largement impliqués dans les mécanismes de défense des plantes, jouant un rôle antifongique, antibactérien et anti-herbivore, mais également dans les interactions compétitives entre végétaux (Kraus et al., 2003). Leur présence et leur concentration varient fortement selon les espèces ligneuses, l'âge des tissus et les conditions environnementales.

Les essences feuillues, en particulier le chêne (*Quercus* spp.) et le châtaignier (*Castanea sativa*), sont reconnues pour présenter des teneurs élevées en tanins, principalement sous forme de tanins hydrolysables et condensés, conférant à leurs tissus ligneux une forte réactivité chimique vis-à-vis du milieu (Scalbert, 1991 ; Kraus et al., 2003). Une fois déposés au sol sous forme de broyat ou de paillage, ces matériaux ligneux sont susceptibles de libérer progressivement des composés phénoliques lors de leur dégradation, pouvant interagir avec le fonctionnement des sols en modifiant le pH, en complexant les nutriments et en inhibant l'activité microbienne (Scalbert, 1991 ; Hättenschwiler et Vitousek, 2000). Ce qui pourrait impacter la dynamique de la renouée du Japon.

4.2. Effets connus des tanins sur la dynamique végétale

Au-delà de leur simple présence dans les tissus ligneux, les tanins influencent la dynamique végétale par une série de mécanismes fonctionnels agissant à l'interface sol-plante-microorganismes. Leur action ne se limite pas à une inhibition directe de la germination, mais s'inscrit dans une modification plus globale des conditions édaphiques⁴ et biologiques du milieu (Inderjit et Duke, 2003). Plusieurs travaux suggèrent que les tanins issus des matières ligneuses peuvent ralentir la croissance végétale en diminuant temporairement la disponibilité de certains nutriments du sol. Ce phénomène s'explique notamment par la formation de complexes entre les tanins et des composés azotés organiques, limitant ainsi la minéralisation et la disponibilité de l'azote pour les végétaux (Kraus et al., 2004 ; Halvorson et al., 2012). Les tanins peuvent

⁴ L'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol qui influencent les conditions de vie, de croissance et de répartition des organismes vivants, en particulier des végétaux.

également interagir avec certains éléments minéraux via des mécanismes de complexation ou de chélation⁵, influençant ainsi la dynamique nutritive du sol. Cette immobilisation transitoire des nutriments peut entraîner une réduction de la vigueur végétale, en particulier dans des milieux déjà contraints ou peu fertiles. Dans le contexte de SNCF Réseau, notamment sur des terrains accidentés ou difficiles d'accès où la maîtrise de la dynamique végétale constitue un enjeu opérationnel, cette propriété pourrait représenter un levier d'intérêt à explorer afin de limiter la vigueur de la renouée du Japon.

Les tanins interagissent également avec l'activité biologique des sols. Leur présence peut inhiber certaines enzymes impliquées dans la décomposition de la matière organique et modifier la structure des communautés microbiennes, entraînant une diminution des taux de minéralisation et une altération des flux biogéochimiques. Ces effets indirects contribuent à créer un environnement moins favorable à l'installation rapide de plantes à forte dynamique de croissance (Hättenschwiler et Vitousek, 2000). Dans une perspective de gestion de la végétation, ces mécanismes sont particulièrement intéressants car ils induisent des effets diffus, progressifs et persistants, par opposition aux actions mécaniques ponctuelles actuellement employées par la SNCF. L'objectif serait donc de disperser du broyat de bois en continu dans les zones de renouée afin d'endiguer sa propagation et son développement à moyen et long terme.

4.3. Travaux existants sur le « mulching ligneux »

Le paillage ligneux (mulching) est largement étudié comme une technique de gestion écologique des adventices, notamment dans les contextes agricoles, horticoles et forestiers. Les travaux existants montrent que les paillis organiques peuvent limiter la germination et la croissance végétale par une combinaison de mécanismes complémentaires, associant des effets physiques, microclimatiques et biochimiques (Chalker-Scott, 2007). Sur le plan physique, les paillis ligneux agissent comme une barrière partielle à la lumière et à l'émergence des plantules. Ils contribuent également à amortir les variations de température et à limiter l'évaporation, modifiant ainsi le microclimat du sol de manière défavorable à l'installation rapide de certaines espèces adventices (Teasdale et Mohler, 2000).

Toutefois, la littérature met également en évidence des limites importantes à l'efficacité du mulching ligneux. L'effet inhibiteur observé est souvent transitoire et dépend fortement de la nature du matériau utilisé (essence, granulométrie, degré de fraîcheur), de l'épaisseur du paillage et des conditions pédoclimatiques locales (Merwin et al., 1995). Des travaux de Brazier et Joly (2022) ont exploré des méthodes de lutte intégrant paillage, compétition interspécifique et entretien mécanique régulier sur la renouée du Japon, avec un suivi sur six ans, offrant un cadre de référence pertinent pour le présent projet. C'est de cette étude que se base la continuité de l'INRAE. Ceux-ci ont la volonté de poursuivre l'expérimentation du broyat de bois sur 6 ans dû au fait qu'il n'y a pas suffisamment de littérature sur le domaine ferroviaire.

⁵ processus chimique par lequel une molécule appelée *agent chélateur* se lie fortement à un ion métallique en formant un complexe stable, ce qui modifie sa disponibilité et son comportement dans le milieu.

4.4. Position du problème dans la littérature

Si la littérature scientifique met en évidence le potentiel des paillages organiques et des broyats ligneux comme leviers de gestion écologique de la végétation, ces travaux restent majoritairement conduits dans des contextes agricoles, horticoles ou forestiers, caractérisés par des contraintes d'exploitation, de sécurité et de temporalité très différentes de celles des infrastructures ferroviaires (Chalker-Scott, 2007). En particulier, peu d'études se sont intéressées à l'utilisation de broyats de bois riches en tanins dans des milieux fortement contraints, linéaires et soumis à des exigences de sécurité élevées.

Par ailleurs, la majorité des travaux disponibles évaluent les effets du mulching sur des adventices annuelles ou des communautés végétales peu structurées, et très rarement sur des espèces exotiques envahissantes à fort potentiel de régénération végétative. Or, la biologie particulière de la Renouée du Japon (système rhizomateux profond, capacité de fragmentation, croissance rapide) impose une évaluation spécifique des effets combinés des contraintes physiques et chimiques induites par les broyats ligneux. Ce manque de retours d'expérience constitue un frein majeur à l'intégration de ces solutions dans des stratégies de gestion à grande échelle, et justifie la mise en place d'un protocole expérimental spécifique au contexte de SNCF Réseau.

5. Problématique, hypothèses et objectifs

L'ensemble des éléments exposés dans cette partie permet de formaliser la problématique centrale de ce mémoire :

« Dans quelle mesure l'application d'une couverture en broyat de bois frais peut-elle constituer une méthode opérationnelle et durable pour limiter la repousse de la Renouée du Japon sur les infrastructures ferroviaires gérées par SNCF Réseau ? »

Trois hypothèses de travail, complémentaires, sont formulées. La première est l'hypothèse mécanique : une couverture suffisamment épaisse de broyat exerce une contrainte physique sur l'émergence des tiges, retardant la repousse par obstruction et réduction de la lumière disponible. La deuxième est l'hypothèse chimique : les tanins libérés par la dégradation des essences feuillues riches en composés phénoliques exercent un effet allélopathique sur la vigueur des rhizomes et la croissance aérienne de la renouée. La troisième est l'hypothèse opérationnelle : la méthode est faisable, reproductible et compatible avec les contraintes de gestion ferroviaire de SNCF Réseau.

Les objectifs du mémoire se déclinent à trois niveaux. Les objectifs scientifiques visent à analyser l'effet d'une couverture en broyat de bois sur la dynamique de repousse de la Renouée du Japon et à identifier les mécanismes impliqués. Les objectifs opérationnels pour SNCF Réseau consistent à évaluer la faisabilité, l'efficacité et les contraintes d'une méthode alternative de gestion compatible avec les exigences ferroviaires. Enfin, les apports attendus pour la gestion territoriale visent à proposer des éléments d'aide à la décision pour une gestion durable et territorialisée des espèces invasives sur les infrastructures ferroviaires.

PARTIE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Logique générale du dispositif

1.1. Genèse du projet et rôle de l'observation empirique

La problématique de ce travail a émergé à l'occasion d'une visite de terrain réalisée sur une emprise ferroviaire mise à disposition par SNCF Réseau, à Tencin. Le site étudié correspond à une parcelle d'environ 2 000 m², fortement colonisée par la renouée du Japon, plus exactement la renouée de Bohême, depuis plusieurs années.

Lors d'échanges avec des riverains qui se plaignent très régulièrement de cette plante et du manque d'entretien, une observation de terrain a particulièrement retenu notre attention : au sein d'un massif dense et continu de renouée, une zone d'environ un mètre carré apparaissait totalement dépourvue de végétation. Un riverain a expliqué y déposer régulièrement des résidus de sciure et de bois depuis plusieurs années. (cf. figure 10)



Figure 10 : photographie de déchets de bois déposés à proximité d'une renouée du Japon (source personnelle) source personnelle

Bien que non encadrée et purement empirique, cette observation a constitué un élément déclencheur de la réflexion, suggérant qu'une couverture ligneuse pouvait exercer un effet limitant sur la repousse de la renouée.

Le protocole initial, défini de manière intuitive avant l'arrivée de l'INRAE, reposait sur une comparaison entre trois modalités (témoin, broyat de résineux, broyat de feuillus riches en tanins) avec neuf placettes au total. Si cette approche avait le mérite d'identifier les variables pertinentes, elle présentait des faiblesses structurelles en matière de réplication, de randomisation et de contrôle des biais de terrain.

1.2. Structuration scientifique apportée par l'INRAE

À la suite de la réunion du 13 février 2026 avec l'INRAE, l'encadrement scientifique du projet a été confié au Docteur Anne-Marie DUSZ, chercheuse à l'Université Grenoble Alpes et à l'INRAE. L'INRAE a apporté une structure méthodologique essentielle, transformant ce projet en une expérimentation scientifiquement valide. Le site de Tencin a été intégré dans un programme de recherche INRAE d'une durée de six ans. Dans ce cadre élargi, l'INRAE comparera l'efficacité de cinq types de bâches, de deux types de grillages (maille fine et grande maille) et de l'écopâturage. Le travail de ce MFE s'insère dans cette expérimentation comme

phase initiale, couvrant spécifiquement la mise en place et le suivi des placettes broyat. Ce partenariat garantit que les résultats produits s'inscriront dans un cadre scientifique durable et permettront des comparaisons à long terme.

Ce partenariat a également conduit à appliquer les trois principes fondateurs de l'expérimentation valide formalisés par Fisher (1935) : la réplication des unités expérimentales (plusieurs placettes par modalité pour distinguer effet traitement et variabilité naturelle), la randomisation de l'attribution des traitements (pour éviter les biais systématiques liés à la position dans l'espace) et le contrôle local (regroupement des unités similaires pour réduire la variance résiduelle). L'INRAE a également formalisé le plan d'analyse statistique a priori, conformément aux recommandations de Zuur et al. (2009).

À la suite de ce partenariat, il a été décidé d'uniformiser le broyat utilisé afin de ne pas évaluer l'effet des différentes essences végétales, mais plutôt de vérifier l'efficacité globale du dispositif. Par ailleurs, l'INRAE mettra en place quatre placettes supplémentaires destinées à évaluer l'efficacité d'un grillage à maille fine comme méthode expérimentale de lutte contre la Renouée du Japon.

1.3. Choix de la double approche : laboratoire et terrain

Le choix d'une double approche expérimentale, combinant une phase en milieu contrôlé et une phase de terrain, répond à la nécessité de concilier rigueur scientifique et applicabilité opérationnelle. La problématique étudiée implique des mécanismes multiples, à la fois physiques, chimiques et biologiques, dont l'expression peut être fortement influencée par les conditions environnementales. Une approche exclusivement terrain exposerait l'étude à une variabilité élevée, tandis qu'une approche strictement expérimentale manquerait de représentativité opérationnelle. La combinaison des deux permet de sécuriser l'interprétation des résultats.

La phase en milieu contrôlé a pour objectif principal de déterminer l'épaisseur de couverture optimale à appliquer lors de la phase de terrain, en isolant l'effet mécanique pur du broyat de bois. Cette étape de calibration conditionne la pertinence scientifique de l'essai in situ et garantit que l'étude porte bien sur l'impact différencié des essences ligneuses, indépendamment de l'effet de l'épaisseur de paillage.

Néanmoins, l'une des contraintes majeures de ce protocole réside dans l'approvisionnement en matière première. Des épaisseurs de l'ordre de 30 cm auraient été souhaitables pour caractériser pleinement l'effet d'étouffement du broyat. Cependant, compte tenu de la surface unitaire des placettes expérimentales (7 m²), un tel niveau de couverture aurait nécessité un volume minimal de 34 m³ de broyat de bois frais, ce qui s'avère techniquement irréalisable et économiquement disproportionné dans le cadre de ce projet.

1.4. Variables, indicateurs et critères de succès

Les variables indépendantes correspondent au type de couverture appliquée (témoin, broyat et grillage à maille fine) et, pour la phase en milieu contrôlé, à l'épaisseur de la couverture (5, 10 et 15 cm). Le temps constitue une variable supplémentaire, les observations étant réalisées à différentes dates afin de suivre la cinétique de repousse de la Renouée du Japon.

Les variables dépendantes traduisent la réponse de la plante aux traitements. Les indicateurs retenus portent sur la dynamique de repousse : délai d'émergence des premières tiges, densité de tiges par unité de surface et croissance en hauteur des tiges au cours du temps. Les critères de succès incluent un retard d'émergence significatif par rapport au témoin, une réduction de la densité de tiges et une réduction de la vigueur de croissance. Ces critères permettront de formuler des recommandations opérationnelles à destination des équipes terrain de SNCF Réseau. La pseudoréplication étant un écueil fréquent en écologie expérimentale (Hurlbert, 1984), le dispositif garantit l'indépendance spatiale de chaque placette.

2. Phase laboratoire

2.1. Objectifs scientifiques

La phase expérimentale en milieu contrôlé a pour objectif principal de caractériser l'influence de l'épaisseur de couverture en sciure sur l'émergence et la dynamique de repousse de la renouée du Japon, indépendamment des perturbations extérieures. Elle vise à déterminer le seuil d'épaisseur à partir duquel l'effet observé devient principalement mécanique, et en dessous duquel des mécanismes d'ordre chimique ou biologique peuvent être identifiés.

2.2. Matériel utilisé

L'expérimentation est conduite à l'aide de bacs de culture rigides de dimensions 40 × 60 × 40 cm, correspondant à un volume d'environ 90 litres. Chaque bac est rempli d'un substrat homogène dans lequel sont implantés des fragments de Renouée du Japon issus de matériel végétal prélevé manuellement sur le site de Tencin, puis transportés au laboratoire et répartis de façon homogène dans les bacs. Un substrat de terre prélevé sur site a été utilisé pour recréer des conditions proches de la réalité de terrain. La sciure utilisée provient d'essences feuillues non traitées, afin de se concentrer exclusivement sur l'effet de l'épaisseur de la couverture. Les bacs sont placés dans un environnement contrôlé, garantissant des conditions homogènes de température, d'humidité et d'exposition lumineuse (cf. figure 11).

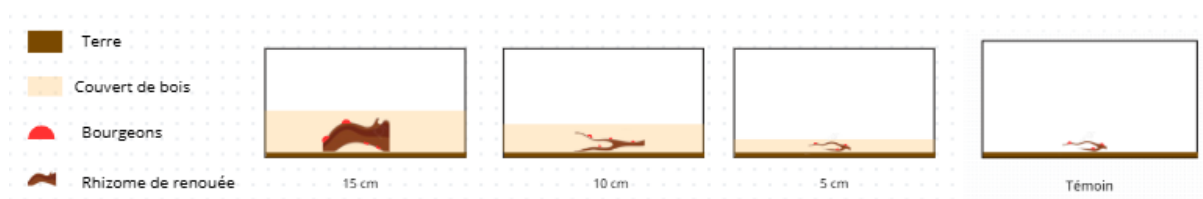


Figure 11 : schéma de l'expérimentation en milieu contrôlé

2.3. Dispositif expérimental (modalités 5, 10 et 15 cm)

Le dispositif expérimental repose sur la comparaison de quatre modalités : une modalité témoin sans sciure, et trois modalités avec application de sciure sur des épaisseurs respectives de 5 cm, 10 cm et 15 cm. (cf. figure 12) Chaque traitement est répliqué sur plusieurs bacs afin de permettre une analyse statistique robuste. La durée de l'expérimentation est fixée à environ huit semaines, période jugée suffisante pour observer les premières émergences et les différences de croissance entre modalités. Ce dispositif permet d'évaluer la relation entre l'épaisseur de la couverture et la dynamique de repousse de la renouée, ainsi que d'identifier une épaisseur critique à partir de laquelle l'émergence est fortement retardée ou inhibée.

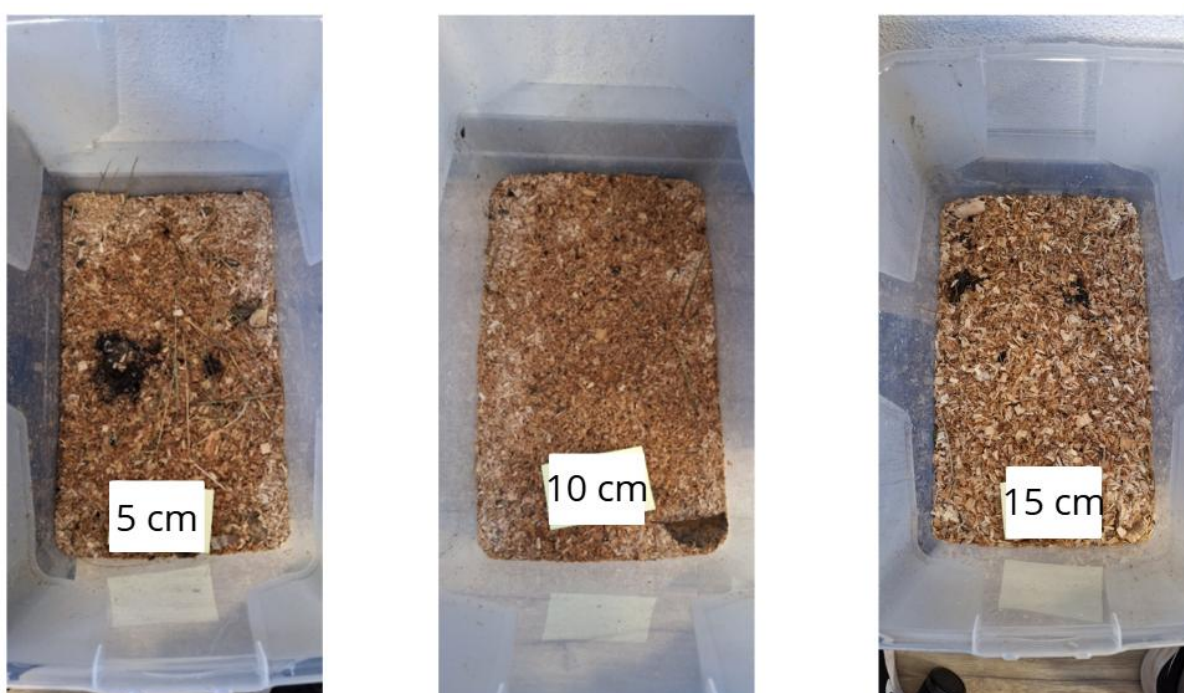


Figure 12 : photographie des bacs d'étude (témoin non représenté)

2.4. Protocole de mesure

Les observations sont réalisées à intervalles réguliers tout au long de l'expérimentation. Des observations quotidiennes permettent de détecter précisément la date d'émergence des premières tiges dans chaque bac. Des mesures hebdomadaires portent sur la hauteur de toutes les tiges présentes par bac et sur le comptage du nombre de tiges. Des photographies régulières, réalisées selon un protocole standardisé (même jour, même position, même éclairage), documentent l'évolution visuelle de chaque modalité. L'arrosage est maintenu constant entre modalités (hebdomadaire, volume identique), afin de dissocier l'effet de la couverture de l'évolution de l'humidité.

2.5. Plan d'analyse statistique

La phase en milieu contrôlé repose sur une unique unité expérimentale par modalité (un bac par épaisseur). Cette configuration, contrainte par les volumes de substrat et de sciure mobilisables, ne permet pas de réplication et exclut donc toute analyse statistique inférentielle. Les données issues de cette phase sont par conséquent traitées de manière descriptive et exploratoire : suivi de la dynamique d'émergence (semaine d'apparition des premières tiges), de la croissance en hauteur et du nombre de tiges au cours du temps, par lecture comparée des trajectoires entre modalités.

L'objectif de cette phase n'est pas de démontrer statistiquement un effet, mais de calibrer un seuil d'épaisseur de référence, transposable à la phase terrain. Les analyses inférentielles (ANOVA, tests post-hoc, vérification des conditions d'application) sont en revanche pleinement mises en œuvre dans la phase terrain, où le dispositif comporte une réplication suffisante.

3. Phase terrain (site de Tencin)

3.1. Objectifs scientifiques et opérationnels

La phase de terrain a pour objectif de tester, en conditions réelles d'emprise ferroviaire, les hypothèses formulées à l'issue de la phase en milieu contrôlé. Elle vise à évaluer l'effet d'une couverture de broyat de bois sur la dynamique de repousse de la Renouée du Japon précisément. Sur le plan opérationnel, l'enjeu est d'évaluer la faisabilité, la robustesse et l'intérêt potentiel de cette méthode dans un contexte compatible avec les contraintes de gestion et de sécurité propres aux infrastructures ferroviaires de SNCF Réseau. Il s'agit en outre de comparer cette approche à une autre méthode, celle du grillage, actuellement testée par l'INRAE.

3.2. Description du site expérimental

Le site expérimental est situé sur la commune de Tencin (Isère), comme dit précédemment, au sein d'une emprise ferroviaire gérée par l'UTM de Grenoble, sur la ligne Grenoble-Montmélian L909000.

Il s'agit d'une parcelle d'environ 5000 m², fortement colonisée par la Renouée du Japon depuis plusieurs années (cf. figure 13) , et située entre la plateforme ferroviaire et une zone résidentielle. Le sol y est caractéristique des emprises ferroviaires de fond de vallée : horizons remaniés, structure hétérogène, sol peu épais et présence de nombreux déchets. La parcelle est partiellement clôturée par un grillage issu d'un ancien enclos pastoral (ancienne zone d'écopâturage), aujourd'hui envahi par la renouée,



Figure 13 : photographie prise à 3 m au-dessus du sol sur le site de Tencin

offrant un cadre propice à la sécurisation de l'expérimentation et à la limitation des perturbations extérieures.

3.3. Plan expérimental révisé

Le dispositif expérimental repose sur un plan comparatif comprenant trois modalités distinctes : une modalité témoin sans apport de broyat, une modalité recouverte d'un broyat de bois et une modalité comprenant un grillage (exigence de l'INRAE). Les broyats sont appliqués à une épaisseur identique, déterminée à l'issue de la phase laboratoire, afin d'éviter tout biais lié à un effet différentiel de barrière physique. Après intégration du protocole INRAE, le nombre de placettes a été étendu à seize, avec l'ajout de la modalité « G » (grillage à maille fine, 4 répétitions) pour permettre la comparaison avec d'autres méthodes de gestion dans le cadre du programme de recherche pluriannuel de l'INRAE. (cf. figure 14)

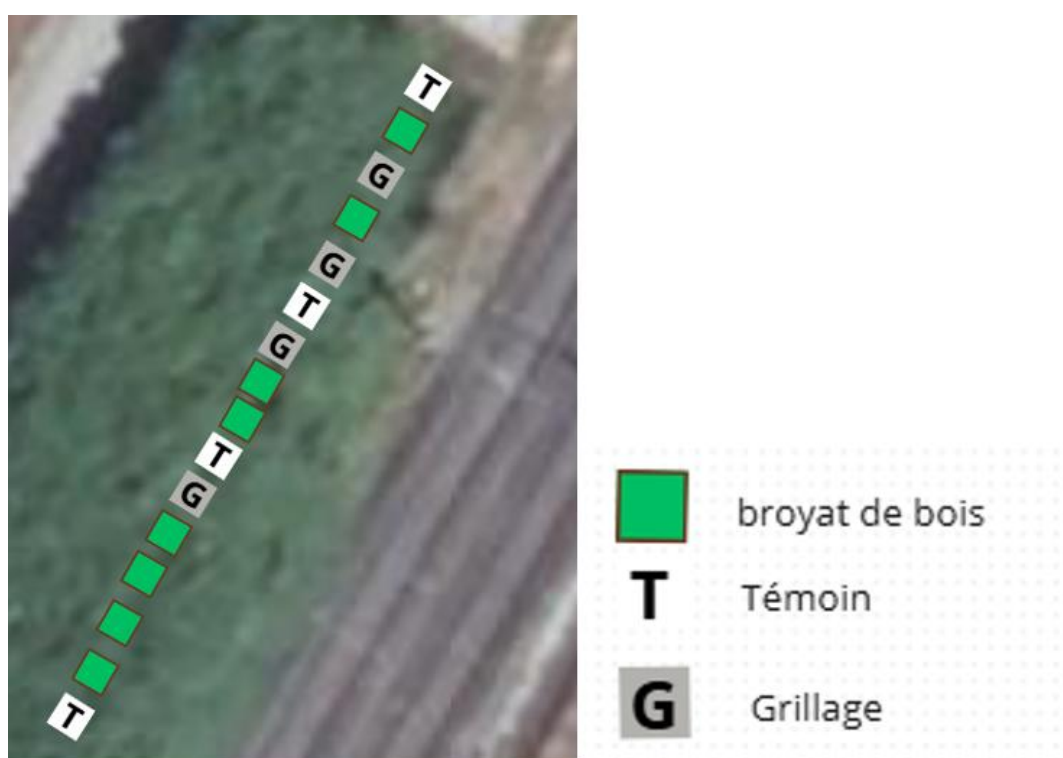


Figure 14 : schéma organisationnel de l'expérimentation

3.4. Mise en place du dispositif

Pour la mise en œuvre du dispositif expérimental de terrain, des anciennes traverses ferroviaires en bois sont récupérées et réutilisées comme éléments de structuration des placettes. Chaque placette est constituée par l'assemblage de quatre traverses formant un carré de 3,20 m de côté, soit une surface d'environ 7 m² par placette (côté intérieur de 2,60 m). (cf. figure 15)

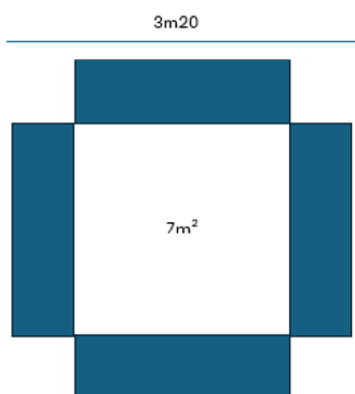


Figure 15 : schéma d'une placette



Figure 16 : zone de stockage des traverses

Au total, trente-six traverses sont nécessaires et stockées sur site (cf. figure 16). Cette logique de réemploi de matériaux issus du domaine ferroviaire s'inscrit pleinement dans une démarche d'économie circulaire.

Préalablement à l'installation des placettes, l'entreprise mandatée pour la réalisation des travaux effectue un fauchage intégral de la Renouée du Japon sur l'ensemble de la zone expérimentale, avec une coupe au ras du sol. (cf. figures 17 et 18)



Figure 17 : placette broyée avant le débroussaillage



Figure 18 : placette broyée après le débroussaillage de finition

Les résidus végétaux issus de cette opération sont laissés sur place. Une Brigade de Domaine de SNCF Réseau a été mobilisée pour réaliser les travaux lourds (abattage, débroussaillage, transport des traverses), ce qui a permis de limiter les dépenses extérieures et de préserver l'enveloppe budgétaire pour les postes incompressibles. Le broyat est ensuite déposé manuellement de manière homogène sur les placettes concernées, en respectant strictement

l'épaisseur définie. Compte tenu de la surface d'une placette (environ 7 m²) et d'une épaisseur de 10 cm, le volume de broyat requis est de 0,7 m³ par placette, soit environ 4 m³ au total pour l'ensemble des placettes traitées.

Une photographie vue par drone permet de mieux prendre conscience de la longueur de l'expérimentation. (cf. figures 19 et 20)



Figure 19 : fin des travaux d'installation de l'expérimentation



Figure 20 : vue aérienne de la zone d'expérimentation

3.5. Protocole de suivi hebdomadaire

Au vu de la vitesse de croissance particulièrement élevée de la renouée du Japon, pouvant atteindre plusieurs centimètres par jour lors de la période de végétation active, la mise en place d'un protocole de suivi hebdomadaire apparaît indispensable afin de caractériser avec précision la dynamique de développement de l'espèce. Cette fréquence d'échantillonnage permet de détecter rapidement les variations de croissance, d'évaluer l'efficacité des traitements appliqués et de disposer d'un jeu de données suffisamment fin pour analyser les réponses de la plante aux différentes modalités expérimentales.

Lors de chaque campagne de suivi, plusieurs indicateurs morphologiques sont relevés de manière standardisée sur l'ensemble des placettes. Le nombre de tiges émergentes est tout d'abord comptabilisé afin d'évaluer la capacité de régénération et de production de nouveaux rejets. La hauteur moyenne des tiges est ensuite mesurée, cet indicateur constituant un bon reflet de la vigueur de croissance des individus. Enfin, le diamètre des cannes est relevé à 10 cm au-dessus du sol afin d'estimer le niveau de développement structural des tiges et leur robustesse. Ces différents paramètres, suivis dans le temps, permettent de quantifier l'évolution de la biomasse aérienne et d'apprécier les éventuels effets des traitements sur la croissance végétative de la renouée.

En complément de ces mesures quantitatives, des relevés photographiques géoréférencés avaient été prévus afin de documenter visuellement l'évolution des placettes et de disposer d'un support d'analyse complémentaire. Toutefois, la croissance très rapide et la forte densification du couvert végétal observées au cours de la saison ont rapidement modifié la structure de la végétation. Les points de prise de vue initiaux se sont retrouvés masqués par les tiges et le feuillage, limitant fortement la comparabilité des clichés entre les différentes dates de suivi.

Dans ces conditions, les séries photographiques obtenues ne permettent pas une exploitation rigoureuse des données en l'état, bien qu'elles constituent un témoignage qualitatif de la dynamique de colonisation de l'espèce.

3.6. Plan d'analyse statistique

Les données collectées dans le cadre de la phase terrain feront l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur, appliquée séparément à chacun des trois indicateurs de repousse retenus, à savoir la densité de tiges, la hauteur moyenne des tiges et le diamètre moyen mesuré à 10 cm. Cette analyse visera à tester l'effet de la modalité expérimentale (témoin, grillage, broyat de bois à 10 cm) sur la dynamique de la renouée du Japon, en intégrant la répétition des placettes comme facteur de structuration du dispositif. Le tirage aléatoire des placettes au sein de chaque modalité permettra de considérer chacune d'elles comme une unité statistique indépendante, limitant ainsi le risque de pseudoréplication⁶.

Lorsqu'un effet global significatif sera détecté, des tests post-hoc de type Tukey HSD seront mis en œuvre afin d'identifier précisément les paires de modalités présentant une différence statistiquement significative, en tenant compte de l'inflation du risque d'erreur liée aux comparaisons multiples. Le seuil de signification retenu pour l'ensemble des tests sera fixé à $\alpha = 0,05$.

Conformément aux méthodes étudiées à l'ISARA, une attention particulière sera portée aux conditions d'application des tests paramétriques avant toute interprétation des résultats. La normalité de la distribution des résidus sera vérifiée à l'aide d'un test de Shapiro-Wilk, complété par une lecture graphique des quantiles, tandis que l'homogénéité des variances entre modalités sera évaluée par un test de Levene. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, une alternative non paramétrique de type Kruskal-Wallis sera privilégiée, assortie le cas échéant de comparaisons par paires selon la procédure de Dunn. L'ensemble des traitements sera réalisé sous le logiciel R (interface RStudio).

Cette analyse quantitative sera complétée par une lecture qualitative des dynamiques observées, fondée sur les suivis photographiques réalisés à points de vue fixes ainsi que sur les observations consignées lors de chaque campagne de mesure (vigueur apparente des tiges, état sanitaire, recouvrement résiduel du broyat). Cette double lecture, statistique et qualitative, permettra de nuancer l'interprétation des résultats, notamment dans le cas où une tendance visuelle ne se traduirait pas par un écart statistiquement significatif.

⁶ Erreur méthodologique consistant à considérer comme des répétitions indépendantes des observations qui ne le sont pas réellement, ce qui conduit à surestimer la taille de l'échantillon et peut fausser les résultats statistiques.

4. Logistique, outils et moyens

4.1. Approvisionnement en broyat et traçabilité

L'approvisionnement en broyat constitue un enjeu central du dispositif. Les matériaux utilisés doivent être non traités, issus d'essences clairement identifiées et suffisamment homogènes afin de limiter les biais expérimentaux (cf. figure 21). Le recours à une entreprise intervenant habituellement sur les chantiers de gestion de la végétation permet de sécuriser les volumes nécessaires et de s'inscrire dans une logique réaliste de transposition à l'échelle du réseau ferroviaire. Une traçabilité précise des broyats est assurée (origine, type d'essence, date de production), afin de garantir la reproductibilité du protocole.

Ici, nous avons utilisé du bois de platane coupé et broyé deux jours auparavant, puis stocké au sec. La logique de broyat produit en interne lors des opérations de maintenance réduit le coût d'approvisionnement tout en inscrivant le projet dans une démarche d'économie circulaire.

La gestion des résidus végétaux et des déchets issus des interventions fait l'objet d'une attention particulière. Compte tenu du statut de la Renouée du Japon en tant qu'espèce exotique envahissante, l'ensemble des opérations est conduit selon des protocoles stricts visant à limiter tout risque de dissémination. Les outils et engins sont nettoyés entre les interventions. Cette contrainte réglementaire est intégrée dès la conception du dispositif afin que la méthode testée reste pleinement compatible avec les pratiques et exigences de SNCF Réseau.



Figure 21 : broyat de bois employé pour l'expérimentation

4.2. Ressources humaines et partenaires

Le projet s'appuie sur une mobilisation coordonnée de plusieurs acteurs. L'encadrement scientifique est assuré en lien avec l'INRAE, dont l'expertise contribue à la conception du protocole et à l'interprétation des résultats. Le portage opérationnel est assuré par l'UTM de Grenoble, qui facilite l'accès au site, la coordination des interventions et le respect des règles de sécurité ferroviaire. Les entreprises prestataires spécialisées dans la gestion de la végétation jouent un rôle clé dans la réalisation des opérations de terrain. Les Brigades de Domaine de SNCF Réseau ont été mobilisées pour les travaux lourds et d'anticipation du chantier (transport des traverses, remise en état des chemins d'accès, cf. figure 22), optimisant ainsi l'utilisation de l'enveloppe budgétaire de 10 000 € allouée par l'UTM de Grenoble (cf. annexe 4).



Figure 22 : agent de la Brigade de Domaine élaguant des bambous gênant l'accès du camion à la zone de stockage des traverses

4.3. Limites méthodologiques anticipées

Plusieurs limites méthodologiques sont identifiées et intégrées dès la conception de l'étude. La variabilité naturelle du milieu de terrain, liée à l'hétérogénéité des sols, à la topographie et aux conditions climatiques, peut influencer la réponse de la végétation indépendamment des traitements appliqués. S'ajoute la pression d'une plante déjà fortement implantée, et ce depuis plusieurs années. La répétition des placettes et le recours à des analyses statistiques visent à en limiter l'impact.

Une deuxième limite concerne la difficulté à dissocier strictement les effets mécaniques, chimiques et biologiques du broyat. Malgré le calibrage préalable de l'épaisseur en milieu contrôlé, une part de l'effet observé en conditions réelles peut résulter d'interactions complexes difficiles à isoler. Enfin, la durée de suivi, contrainte par le calendrier du mémoire (cf. annexe 3), permet d'évaluer des effets à très court terme, sans préjuger de leur persistance à moyen/long terme face à la forte capacité de régénération de la renouée du Japon. Ces limites encadrent l'interprétation des résultats, qui doivent être considérés comme une étape exploratoire visant à éclairer les choix futurs de gestion plutôt que comme une solution immédiatement généralisable.

PARTIE III : RÉSULTATS

1. Résultats de la phase en milieu contrôlé

L'expérimentation en milieu contrôlé a été conduite sur huit semaines selon quatre modalités d'épaisseur de couverture : un témoin sans broyat (0 cm) et trois modalités d'apport de broyat de bois feuillus à 5 cm, 10 cm et 15 cm. Chaque modalité a été représentée par un seul bac, ce dispositif visant non pas une analyse statistique robuste mais une exploration préliminaire de la réponse de la plante avant le transfert sur le terrain.

L'objectif était d'observer, en conditions maîtrisées, l'effet de l'épaisseur de couverture sur la dynamique d'émergence et de croissance de la renouée du Japon. Cette phase exploratoire devait permettre de déterminer l'épaisseur la plus pertinente à retenir pour le dispositif de terrain, en isolant l'effet de la barrière physique de celui, recherché, des composés chimiques du broyat.

Les bacs (environ 15 L, diamètre 30 cm, profondeur 25 à 30 cm) ont été remplis avec de la terre et des fragments de rhizome prélevés sur le site d'étude de Tencin, puis placés en exposition ensoleillée dans un environnement maintenu autour de 20 °C. Un arrosage hebdomadaire et un suivi photographique ont été réalisés chaque lundi, avec relevé de la hauteur des tiges, du nombre de tiges et de la date d'émergence.

Compte tenu de l'absence de répétition (un bac par modalité), les résultats de cette phase doivent être interprétés comme des tendances qualitatives et non comme des effets statistiquement validés. Cette limite, assumée, justifie le passage à un dispositif de terrain répété et l'application des analyses statistiques sur cette seconde phase.

1.1. Dynamique d'émergence et croissance en hauteur

Modalité	Semaine d'émergence	Hauteur finale S8 (cm)	Nb tiges S8
Témoin (0 cm)	S1	66,0	8
5 cm	S1	67,0	8
10 cm	S3	52,0	7
15 cm	S6	21,0	4

Tableau 1. Synthèse descriptive des résultats de la phase en milieu contrôlé ($n = 1$ bac par modalité).

Résultats de la phase en milieu contrôlé (8 semaines)
Expérimentation mulching ligneux — Renouée du Japon

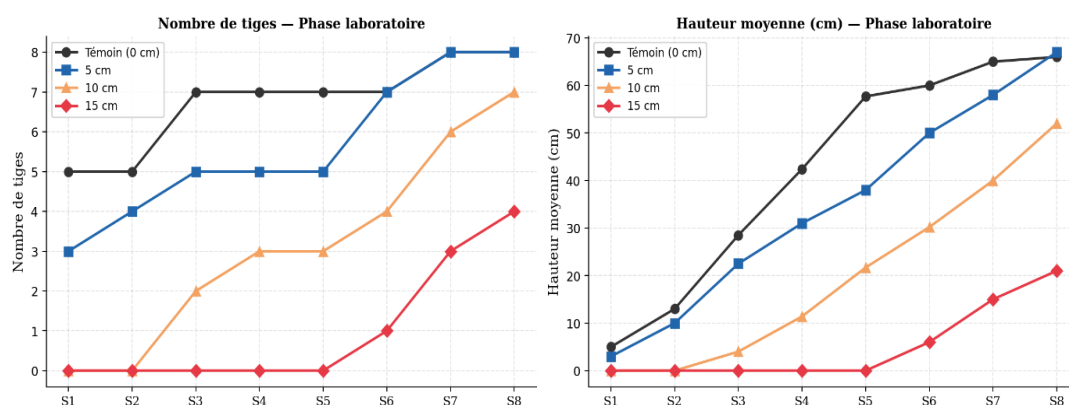


Figure 23. Évolution du nombre de tiges (gauche) et de la hauteur moyenne (cm, droite) par modalité au cours des huit semaines en milieu contrôlé.

Un gradient progressif est observé entre l'épaisseur de couverture et le retard d'émergence : la levée intervient dès la semaine 1 pour les modalités témoin et 5 cm, à la semaine 3 pour 10 cm, et à la semaine 6 seulement pour 15 cm. La modalité 15 cm aboutit en outre au plus faible nombre de tiges (4) et à la hauteur finale la plus réduite (21 cm), suggérant qu'une épaisseur importante exerce un effet physique mesurable sur la levée.

1.2. Limite statistique de la phase en milieu contrôlé

En l'absence de réplication, chaque modalité ne reposant que sur un unique bac, aucune analyse statistique inférentielle (test de comparaison, ANOVA) n'a pu être conduite sur cette phase. La variabilité interne à chaque modalité n'étant pas mesurable, il est impossible de distinguer un effet réel de l'épaisseur d'une simple fluctuation individuelle propre au bac considéré.

Les résultats de cette expérimentation sont donc présentés à titre strictement exploratoire. Ils décrivent des tendances observées et non des effets validés : leur fonction est d'orienter le choix des modalités retenues pour le dispositif de terrain, et non d'établir une démonstration. Aucune conclusion statistique ni aucune généralisation n'en est tirée, la validation quantitative étant reportée sur la phase de terrain, seule dotée des répétitions nécessaires aux analyses inférentielles.

2. Résultats de la phase terrain : site de Tencin

L'expérimentation terrain a été conduite sur le site de Tencin (Isère), ligne Grenoble-Montmélian (PK 26+300), sur une emprise ferroviaire gérée par SNCF Réseau (UTM Grenoble, Infrapôle Alpes). 16 placettes ont été suivies pendant 13 semaines, du 11 mai au 3 août 2026, selon trois modalités : témoin ($n = 4$), grillage de maille 13 mm ($n = 4$) et broyat de bois frais à 10 cm ($n = 8$). Trois variables réponses ont été relevées chaque semaine : le nombre de tiges, la hauteur moyenne et le diamètre moyen mesuré à 10 cm du sol.

2.1. État initial des placettes (11 mai 2026)

Variable	Témoin (n=4)	Grillage (n=4)	Broyat (n=8)
Nombre de tiges	77,2 ± 2,4	29,8 ± 1,5	52,9 ± 1,6
Hauteur moyenne (cm)	14,8 ± 0,4	7,9 ± 0,3	14,6 ± 1,9
Diamètre moyen (cm)	0,50 ± 0,00	0,72 ± 0,33	2,48 ± 0,43

Tableau 2. Statistiques descriptives initiales par modalité (11/05/2026). Moyenne ± écart-type.

Les placettes présentent à l'état initial des différences notables, en particulier sur le nombre de tiges (77 pour le témoin contre 30 pour le grillage). Ces écarts reflètent l'hétérogénéité naturelle du peuplement rhizomateux sur le site. Ils sont explicitement pris en compte dans l'interprétation par une analyse de covariance (ANCOVA, section 2.4), qui contrôle statistiquement l'état initial de chaque placette.

2.2. Évolution temporelle des indicateurs (11 mai au 3 août 2026)

La Figure 24 présente l'évolution des trois variables pour chaque modalité, exprimée en moyenne ± écart-type par groupe. La zone ombrée signale la période de canicule (22 juin au 3 août).

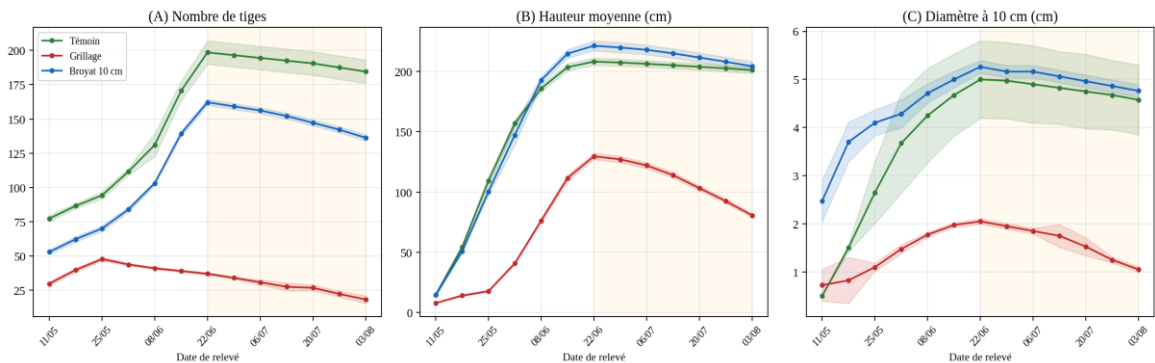


Figure 24. Évolution temporelle du nombre de tiges (A), de la hauteur moyenne (B) et du diamètre moyen à 10 cm du sol (C) par modalité. Moyenne ± écart-type. La plage ombrée indique la période de canicule.

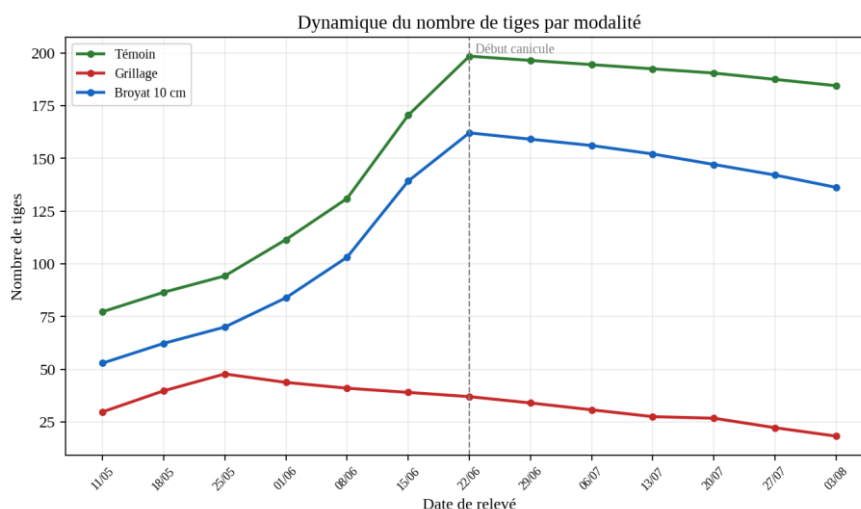


Figure 25. Dynamique du nombre de tiges par modalité sur les treize semaines. Le témoin et le broyat suivent une trajectoire de croissance parallèle, tandis que le grillage régresse de façon continue. La ligne pointillée marque le début de la canicule.

Nombre de tiges. Les placettes témoins et broyat suivent une dynamique de croissance comparable : après une phase de latence, le nombre de tiges augmente fortement jusqu'à un pic à la mi-juin, puis décline légèrement sous l'effet de la canicule. Le témoin atteint 198,5 tiges au pic (S7) pour redescendre à 184,5 en fin de suivi ; le broyat culmine à 162,1 puis se stabilise à 136,2. Le grillage suit au contraire une trajectoire descendante presque continue, passant de 29,8 tiges à seulement 18,2 en fin de période.

Hauteur moyenne. Le témoin et le broyat atteignent des hauteurs finales équivalentes (201 et 204 cm respectivement), avec une courbe sigmoïde classique. Le grillage reste fortement bridé, plafonnant autour de 130 cm au pic avant de chuter à 81 cm sous la canicule, traduisant l'effondrement mécanique des tiges contraintes par la maille.

Diamètre moyen. Le diamètre du témoin et du broyat converge vers 4,6-4,8 cm. Le grillage présente un plateau précoce vers 2,0 cm dès la mi-juin, puis une décroissance jusqu'à 1,05 cm, reflétant le sectionnement progressif des tiges les plus grosses au contact de la maille de 13 mm.

2.3. Statistiques descriptives à la semaine 13 (3 août 2026)

Variable	Témoin (n=4)	Grillage (n=4)	Broyat (n=8)
Nombre de tiges	184,5 ± 8,5	18,2 ± 2,9	136,2 ± 2,2
Hauteur moyenne (cm)	201,2 ± 2,6	80,6 ± 1,7	204,4 ± 3,8
Diamètre moyen (cm)	4,58 ± 0,72	1,05 ± 0,06	4,76 ± 0,13

Tableau 3. Statistiques descriptives par modalité à la semaine 13 (03/08/2026). Moyenne ± écart-type. Le broyat présente moins de tiges que le témoin (−26 %) mais des tiges aussi hautes et aussi épaisses ; le grillage régresse sur les trois variables.

2.4. Analyse statistique

Trois approches complémentaires ont été mises en œuvre sous R (version 4.3.3, R Core Team, 2024). D'abord, l'aire sous la courbe de croissance (AUC), calculée par placette selon la règle des trapèzes, résume la trajectoire complète des treize semaines et est comparée entre modalités par ANOVA. Ensuite, une ANOVA à un facteur suivi d'un test de Tukey HSD est conduite sur les valeurs finales (S13) afin d'identifier les paires de modalités significativement différentes. Enfin, une analyse de covariance (ANCOVA) contrôle l'effet de l'état initial (S1) pour vérifier que les différences observées ne sont pas un artefact des écarts de départ. La taille d'effet est quantifiée par l'eta-carré (η^2). La normalité (Shapiro-Wilk) et l'homogénéité des variances (Levene) étant mises en défaut sur certains groupes, en raison de la très faible variance interne du grillage, un test de Kruskal-Wallis non paramétrique est systématiquement ajouté comme garde-fou ; il confirme l'ensemble des conclusions paramétriques.

Variable	ANOVA (AUC) F	p	ANOVA S13 F	p	Kruskal-Wallis p
Nombre de tiges	1891	< 0,001 ***	1410	< 0,001 ***	0,002 **
Hauteur moyenne	1691	< 0,001 ***	2253	< 0,001 ***	0,009 **
Diamètre moyen	105	< 0,001 ***	154	< 0,001 ***	0,011 *

Tableau 4. Effet global de la modalité sur la trajectoire (AUC) et à la semaine 13 (ANOVA), avec confirmation non paramétrique (Kruskal-Wallis). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

L'effet global de la modalité est hautement significatif pour les trois variables, que l'on considère la trajectoire complète ou la seule valeur finale. Le test de Tukey HSD (Tableau 5) précise quelles modalités diffèrent réellement entre elles.

Comparaison	Nb tiges : diff (p)	Hauteur : diff (p)	Diamètre : diff (p)
Broyat vs Témoin	-48,2 (< 0,001 ***)	+3,2 (0,256 ns)	+0,19 (0,681 ns)
Grillage vs Témoin	-166,3 (< 0,001 ***)	-120,6 (< 0,001 ***)	-3,52 (< 0,001 ***)
Broyat vs Grillage	+118,0 (< 0,001 ***)	+123,8 (< 0,001 ***)	+3,71 (< 0,001 ***)

Tableau 5. Test de Tukey HSD, comparaisons par paires à la semaine 13. diff = différence de moyennes (premier groupe moins second). ns = non significatif ; *** $p < 0,001$. Le broyat se distingue du témoin par un nombre de tiges plus faible, mais non par la hauteur ni le diamètre.

Contrôle de l'état initial (ANCOVA). Après ajustement sur la valeur initiale de chaque placette, l'effet de la modalité demeure hautement significatif pour les trois variables ($p < 0,001$), tandis que la covariable « état initial » n'est jamais significative (nombre de tiges : $p = 0,90$; hauteur : $p = 0,35$; diamètre : $p = 0,82$). Ce résultat est essentiel : il établit que les différences observées sont bien imputables aux traitements et non aux écarts de peuplement initiaux. La réduction du nombre de tiges sous broyat n'est donc pas un artefact de la composition de départ des placettes.

Trajectoire complète (AUC). Au-delà de la photographie finale, l'aire sous la courbe résume l'ensemble de la saison de croissance (Tableau 6, Figure 26). Elle confirme la hiérarchie observée : pour le nombre de tiges, le broyat réduit la trajectoire de 22 % par rapport au témoin ($p < 0,001$), tandis que le grillage la réduit de 78 %.

Variable	Témoin	Grillage	Broyat	ANOVA (AUC) p
Nombre de tiges	1885 ± 69	414 ± 13	1472 ± 15	< 0,001 ***
Hauteur moyenne	2052 ± 27	994 ± 18	2110 ± 39	< 0,001 ***
Diamètre moyen	48,4 ± 8,5	18,4 ± 0,9	55,9 ± 1,7	< 0,001 ***

Tableau 6. Aire sous la courbe de croissance (AUC) par modalité, moyenne ± écart-type, et significativité de l'effet global (ANOVA). L'AUC intègre la trajectoire des treize semaines. *** $p < 0,001$.

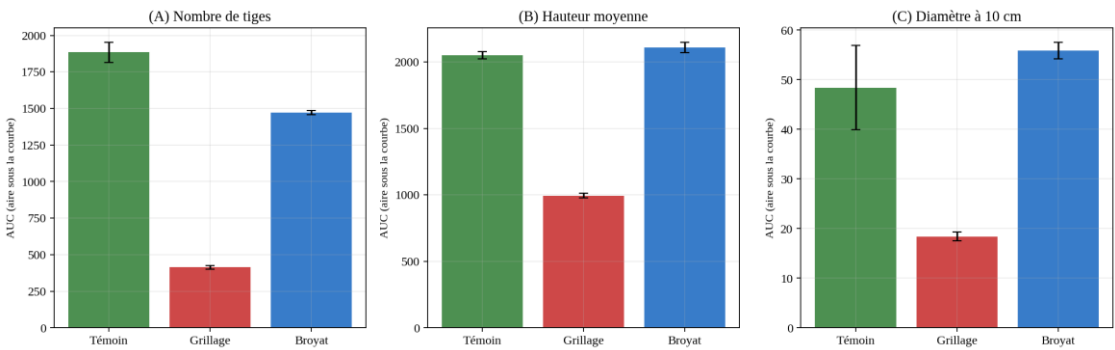


Figure 26. Aire sous la courbe de croissance (AUC) par modalité pour les trois variables. Moyenne ± écart-type. Plus l'aire est grande, plus la croissance cumulée sur la saison est importante.

Taille d'effet (η^2). Pour chaque variable, l'eta-carré dépasse 0,95 (Tableau 7), ce qui correspond à un effet de magnitude très large au sens de Cohen (1988) : la modalité de traitement explique à elle seule plus de 95 % de la variance observée à la semaine 13. Cette taille d'effet, bien supérieure au seuil de 0,14 retenu pour un effet large, confirme que les différences entre modalités ne sont pas seulement significatives mais aussi de grande ampleur.

Variable	η^2	Interprétation (Cohen, 1988)
Nombre de tiges	0,995	Effet très large
Hauteur moyenne	0,997	Effet très large
Diamètre moyen	0,959	Effet très large

Tableau 7. Taille d'effet de la modalité (eta-carré) à la semaine 13. Un η^2 supérieur à 0,14 correspond à un effet large.

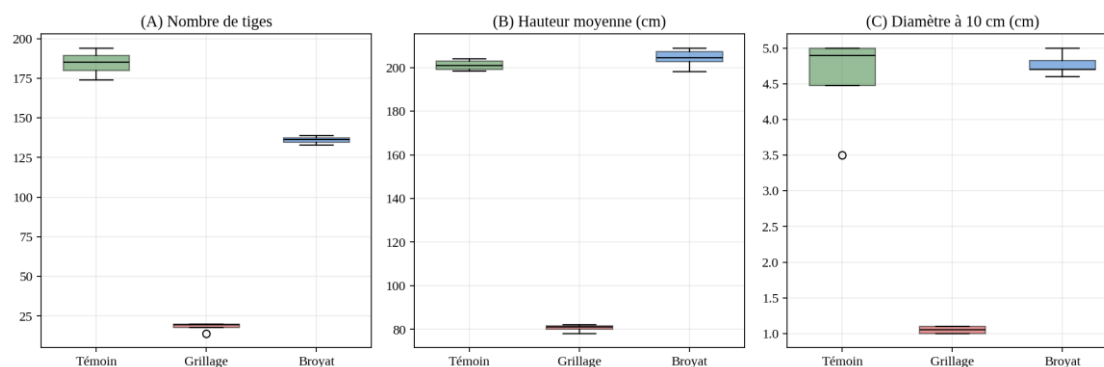


Figure 27. Distribution des trois modalités à la semaine 13 pour le nombre de tiges, la hauteur et le diamètre.

2.5. Observations qualitatives complémentaires

Les placettes témoins présentent un développement dense et vigoureux, avec des tiges vertes, dressées, à morphologie foliaire normale, et un léger fléchissement en fin de suivi sous l'effet de la canicule, sans mortalité notable. Les placettes grillage montrent un comportement caractéristique : les tiges émergent nombreuses, mais en grossissant se coincent dans la maille de 13 mm, se blessent à la section puis se rompent ; les spécimens les plus vigoureux sont progressivement éliminés, d'où l'effondrement conjoint du nombre, de la hauteur et du diamètre. Les placettes broyat présentent un couvert moins dense que le témoin, mais des individus tout aussi vigoureux : la conservation de l'humidité du sol sous la couverture limite l'impact de la canicule, le déclin estival y étant comparable à celui du témoin.

PARTIE IV : DISCUSSION

1. Discussion de la phase en milieu contrôlé

Les résultats de la phase en milieu contrôlé confirment qu'une couverture ligneuse exerce un effet physique mesurable sur la dynamique d'émergence de la renouée du Japon : plus l'épaisseur augmente, plus la levée est retardée et le peuplement final réduit. Le seuil de 15 cm apparaît comme le plus contraignant, ce qui oriente la réflexion vers des épaisseurs supérieures à celle finalement testée sur le terrain. L'absence de réplication constitue toutefois la limite principale de cette phase. Elle est assumée dans la conception du dispositif : l'objectif n'était pas de produire une preuve statistique, mais d'explorer un gradient pour calibrer le protocole terrain.

2. Discussion de la phase terrain

2.1. Un effet global du traitement statistiquement établi

L'analyse révèle un effet global du traitement hautement significatif pour les trois variables, robuste à trois titres : il se vérifie sur la trajectoire complète (AUC) comme sur la valeur finale (ANOVA S13), il est confirmé par un test non paramétrique (Kruskal-Wallis), et il persiste après contrôle de l'état initial (ANCOVA). Cette convergence méthodologique donne une base solide à l'interprétation. L'analyse des comparaisons par paires montre néanmoins que les trois modalités ne se comportent pas de la même façon, et que l'effet du broyat et celui du grillage relèvent de mécanismes distincts.

2.2. Effet du grillage : un blocage mécanique radical mais inadapté

Le grillage est, paradoxalement, la modalité la plus efficace en termes de réduction du peuplement : il fait régresser le nombre de tiges de 29,8 à 18,2 sur la saison, là où témoin et broyat doublent, et il écrase la hauteur (-120 cm vs témoin, $p < 0,001$) comme le diamètre (-3,5 cm, $p < 0,001$). Ce résultat s'explique par un mécanisme purement mécanique : la maille de 13 mm sectionne les tiges en croissance et élimine progressivement les spécimens les plus vigoureux.

Cette efficacité apparente doit cependant être fortement relativisée. D'une part, elle n'atteint pas le système rhizomateux, réservoir de vitalité de l'espèce : la renouée du Japon possède un réseau de rhizomes profond et ramifié dont les réserves ne sont pas affectées par une contrainte de surface, de sorte qu'une reprise est attendue dès la levée de la contrainte. D'autre part, le grillage présente une inadéquation opérationnelle majeure en contexte ferroviaire : pose et dépose coûteuses, entretien complexe, risque d'arrachage et d'interférence avec les opérations de maintenance de la voie. Le grillage doit donc être lu comme un témoin de contrainte mécanique extrême, utile à la compréhension des mécanismes, davantage que comme une solution déployable.

2.3. Effet du broyat de bois : une réduction réelle du nombre de tiges, mais une vigueur intacte

Le broyat de bois à 10 cm produit un effet réel mais partiel, qui constitue le résultat central de ce travail. D'un côté, il réduit significativement le nombre de tiges par rapport au témoin : -26% à la semaine 13 ($p < 0,001$) et -22% sur l'ensemble de la trajectoire (AUC, $p < 0,001$). Cet effet n'est pas un artefact des conditions initiales, comme l'établit l'ANCOVA. De l'autre, le broyat n'a aucun effet sur la hauteur ni sur le diamètre des tiges qui parviennent à émerger : à la semaine 13, les tiges du broyat sont aussi hautes (204 contre 201 cm, $p = 0,256$) et aussi épaisses (4,76 contre 4,58 cm, $p = 0,681$) que celles du témoin.

L'interprétation biologique est cohérente : la couverture de broyat agit comme une barrière physique sélective qui empêche une partie des bourgeons de percer, mais la plante reporte ses ressources sur les axes restants, qui se développent avec une vigueur comparable à celle d'un peuplement non couvert. Le broyat réduit donc la densité du couvert sans en diminuer la stature (Figure 28). Cette nuance est déterminante pour l'évaluation opérationnelle : une réduction d'un quart du nombre de tiges, sans affaiblissement des individus restants ni atteinte au rhizome, ne suffit pas à constituer une barrière de gestion efficace au sens des exigences de SNCF Réseau.

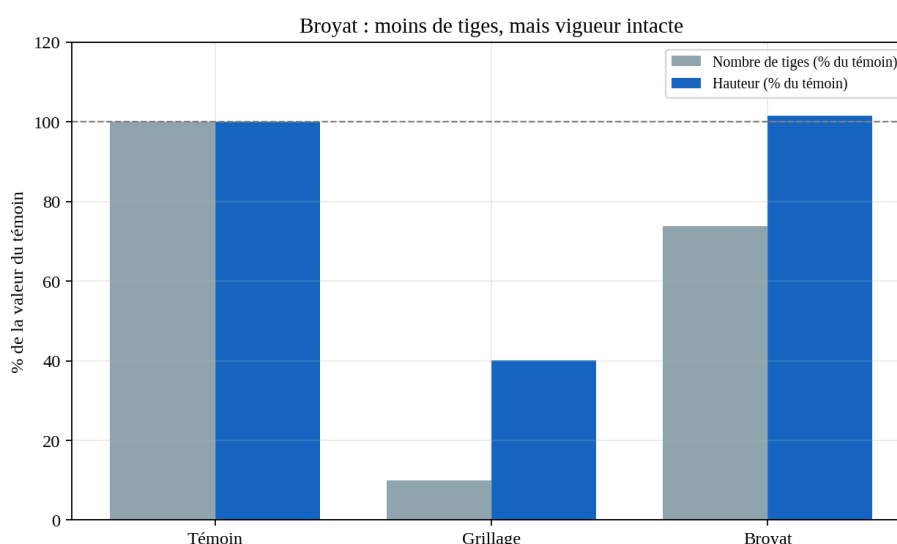


Figure 28. Effet de chaque modalité sur la densité (nombre de tiges) et la vigueur (hauteur) à la semaine 13, exprimé en pourcentage du témoin. Le broyat réduit le nombre de tiges à 74 % du témoin tout en conservant une hauteur de 102 %, illustrant le découplage entre densité et vigueur.

2.4. Épaisseur testée et pérennisation du dispositif

Ces résultats indiquent qu'une épaisseur de 10 cm est insuffisante pour faire du broyat une barrière opérationnelle. La phase en milieu contrôlé suggérait déjà qu'un effet plus marqué apparaissait à partir de 15 cm. À cela s'ajoute une difficulté de pérennisation : le tassement progressif et la dégradation biologique du broyat réduisent l'épaisseur effective au fil de la saison, sans que cette diminution ait pu être mesurée dans le présent dispositif. Un renouvellement régulier de la couverture serait donc nécessaire pour maintenir l'effet, ce qui alourdit le bilan logistique de la méthode.

2.5. Disponibilité de la ressource en broyat

La faisabilité opérationnelle dépend enfin de la disponibilité en broyat de bois frais à l'échelle du réseau. Si le broyage de la végétation issue de l'entretien des emprises constitue une ressource cohérente avec la logique d'économie circulaire de SNCF Réseau, les volumes mobilisables restent sans commune mesure avec les surfaces colonisées par la renouée. Indépendamment de la question de l'efficacité biologique, cette contrainte de ressource constitue un frein majeur à un déploiement extensif et oriente la méthode vers des interventions ciblées.

3. Cohérence entre les deux phases expérimentales

Les résultats des deux phases convergent dans leurs grandes lignes et se renforcent mutuellement. Dans les deux contextes, l'effet du broyat se confirme comme réel, mais son efficacité reste étroitement conditionnée par l'épaisseur de la couche appliquée : plus celle-ci augmente, plus la limitation de la repousse est marquée. À l'inverse, une épaisseur de 10 cm se révèle systématiquement insuffisante, aussi bien en milieu contrôlé que sur le terrain, ce qui constitue un point de cohérence majeur entre les deux approches et plaide pour le recours à des épaisseurs supérieures.

La phase terrain apporte toutefois un enseignement complémentaire que les conditions du milieu contrôlé ne permettaient pas de mettre en évidence. Elle révèle d'abord que l'effet du broyat s'exerce principalement sur la densité du couvert végétal — c'est-à-dire sur le nombre de tiges émergentes — et non sur la vigueur individuelle de ces tiges, dont la croissance reste comparable. Elle montre ensuite que cet effet ne s'exprime pas de manière uniforme, mais qu'il interagit fortement avec la variabilité naturelle propre au site : l'hétérogénéité de la répartition rhizomateuse dans le sol, les conditions microclimatiques locales et les épisodes caniculaires viennent moduler la réponse observée et expliquent une partie de la dispersion des résultats.

Le passage du laboratoire au terrain ne vient donc pas contredire les tendances dégagées en conditions contrôlées : il en précise au contraire la portée et les limites. Là où le milieu contrôlé identifiait un effet global de l'épaisseur de broyat, le terrain en affine la lecture en distinguant les composantes de la réponse de la plante et en intégrant le poids des facteurs environnementaux. Les deux phases se complètent ainsi pour offrir une compréhension plus robuste et plus nuancée de l'efficacité réelle de la méthode.

4. Limites du protocole et biais identifiés

- **Réplication insuffisante en milieu contrôlé.** L'absence de réplication cantonne la phase laboratoire à un statut exploratoire et interdit toute inférence statistique.
- **Hétérogénéité initiale des placettes.** Les modalités diffèrent à l'état initial (notamment 77 tiges pour le témoin contre 30 pour le grillage). Ce biais a été traité statistiquement par l'ANCOVA, qui montre qu'il n'affecte pas les conclusions, mais un dispositif à blocs équilibrés aurait été préférable.
- **Durée de suivi limitée à une saison.** Les treize semaines de suivi ne couvrent qu'une fraction du cycle pluriannuel de la renouée du Japon. L'effet du broyat sur les réserves

rhizomateuses, qui détermine la repousse à moyen terme, ne peut être évalué sur une seule saison.

- **Absence d'analyses chimiques.** L'hypothèse d'un rôle allélopathique des tanins du broyat ne peut être testée sans analyses du sol et du broyat (pH, azote, composés phénoliques). L'effet observé est ici interprété comme strictement physique.
- **Épaisseur effective non contrôlée en cours de suivi.** Le tassement et la décomposition du broyat n'ont pas été mesurés ; l'épaisseur réelle a pu varier entre placettes et au fil de la saison.

5. Recommandations opérationnelles pour SNCF Réseau

Sur la base de ces résultats, les recommandations suivantes sont formulées.

- **Tester des épaisseurs supérieures.** L'épaisseur de 10 cm étant insuffisante, des essais à 30 cm, voire 50 cm ou davantage, devraient être conduits pour identifier un seuil réellement limitant.
- **Associer coupe et renouvellement du broyat.** Une stratégie combinant coupes répétées des tiges émergentes et renouvellement régulier de la couverture paraît indispensable pour épuiser progressivement les réserves rhizomateuses.
- **Cibler les foyers localisés.** Compte tenu des contraintes de volume, le broyat est mieux adapté à des interventions sur des foyers de faible superficie et en cours d'installation qu'à un traitement extensif.
- **Maintenir une traçabilité des apports.** Mesurer l'épaisseur effective à intervalles réguliers et documenter les apports permettrait de relier précisément l'effet observé à la dose réellement appliquée.

6. Perspectives de recherche

Ce mémoire constitue la phase initiale d'un programme de recherche INRAE de six ans sur le site de Tencin. Les perspectives identifiées sont les suivantes : prolonger le suivi sur plusieurs saisons pour évaluer l'effet cumulatif sur le rhizome ; tester un gradient d'épaisseurs supérieures ; conduire des analyses chimiques du sol et du broyat pour départager les effets physiques et allélopathiques ; et modéliser la dynamique de mortalité des tiges sous contrainte (grillage) au moyen de méthodes de survie.

Responsabilité Sociétale des Entreprises et Qualité de Vie au Travail

Cette section répond à la compétence « Qualité de vie au travail » (QVT) développée au cours du semestre 10, conformément aux consignes du MFE ISARA 2025-2026.

SNCF Réseau et ses engagements environnementaux

SNCF Réseau déploie une politique de responsabilité sociétale des entreprises (RSE) placée au cœur de sa stratégie, parmi laquelle figurent la réduction de l'usage des produits phytosanitaires, dans le cadre du plan Ecophyto II+, et la valorisation des déchets verts issus de l'entretien des emprises. Le présent travail s'inscrit directement dans ces engagements : il explore une méthode alternative au désherbage chimique fondée sur la valorisation d'une ressource interne, le broyat de bois frais.

Expression de la compétence QVT dans le cadre de ce MFE

Ce mémoire s'inscrit dans un contexte opérationnel incertain. La gestion de la renouée du Japon en milieu ferroviaire implique de travailler avec une grande diversité d'acteurs (encadrement technique, équipes de terrain, partenaires scientifiques, riverains et élus locaux) et d'accepter une part d'incertitude sur les résultats. La compétence QVT s'est manifestée à plusieurs niveaux : dans la reformulation du protocole expérimental à la suite des réunions de cadrage avec l'INRAE ; dans la coordination des relevés hebdomadaires avec les équipes de l'UTM Grenoble ; et dans la prise en compte des contraintes propres au site (accessibilité, historique d'usage, pression des riverains, enveloppe budgétaire limitée). Le développement de cette compétence a eu des effets concrets sur la qualité du travail produit et sur la collaboration avec l'ensemble des parties prenantes.

Conclusion des résultats

Regard scientifique

Les deux phases expérimentales apportent des éléments convergents sur la capacité d'une couverture ligneuse à influencer la dynamique de la renouée du Japon. La phase en milieu contrôlé établit qu'une épaisseur croissante retarde l'émergence et réduit le peuplement. La phase terrain précise la nature de cet effet : à 10 cm, le broyat réduit d'environ un quart le nombre de tiges, sans diminuer la vigueur des tiges restantes, et sans atteindre le système rhizomateux. C'est un résultat partiel, mais clair et statistiquement robuste.

Plusieurs questions restent ouvertes. La première concerne les mécanismes d'action : l'effet de barrière physique est établi, mais la part éventuelle d'une action allélopathique des tanins n'a pu être testée. La deuxième concerne la durée : l'effet sur les réserves rhizomateuses, déterminant pour la repousse pluriannuelle, exige un suivi de plusieurs saisons. En l'état, ce travail relève d'une recherche préliminaire rigoureuse : les données sont suffisamment solides pour orienter les phases suivantes du programme INRAE, sans prétendre conclure définitivement.

Regard opérationnel : ingénieur SNCF Réseau

Du point de vue de l'ingénieur gestionnaire d'infrastructure, le bilan doit être formulé avec honnêteté : en l'état des résultats et à l'épaisseur testée, le broyat de bois à 10 cm ne constitue pas une méthode de gestion opérationnelle de la renouée du Japon. La réduction obtenue est réelle mais insuffisante, et les tiges restantes conservent leur pleine vigueur.

À cette limite d'efficacité s'ajoute une contrainte logistique structurelle : la surface des emprises ferroviaires colonisées par la renouée à l'échelle du seul réseau isérois est sans commune mesure avec les volumes de broyat mobilisables. Pour autant, il serait prématuré d'écarter l'approche. Le dépôt de broyat sur des foyers en cours d'installation, de faible superficie et encore peu enracinés, associé à des coupes répétées et à des épaisseurs supérieures, demeure une piste à instruire dans le cadre du programme pluriannuel.

Conclusion générale

Ce mémoire s'est construit autour de la problématique suivante : dans quelle mesure l'application d'une couverture en broyat de bois peut-elle constituer une méthode opérationnelle et durable pour limiter la repousse de la renouée du Japon sur les infrastructures ferroviaires gérées par SNCF Réseau ?

Les résultats permettent une réponse nuancée mais honnête. Le broyat de bois exerce bien un effet limitant sur la dynamique de repousse : à 10 cm, il réduit significativement le nombre de tiges (de l'ordre de 26 %), et cet effet n'est pas imputable aux conditions initiales. Mais cet effet est partiel : il ne touche pas la vigueur des tiges qui émergent, aussi hautes et aussi épaisses que dans le témoin, et il n'atteint pas le rhizome. À une épaisseur de 10 cm et sur une seule saison, le broyat de bois ne peut donc être qualifié de méthode de gestion opérationnelle autonome.

Sur le plan opérationnel, la mise en place du dispositif à Tencin confirme la faisabilité technique de la méthode dans les conditions réelles du réseau, tout en mettant en lumière la contrainte de disponibilité de la ressource. L'intégration au partenariat INRAE constitue un acquis décisif : l'inscription du site de Tencin dans un programme de recherche de six ans transforme un résultat de saison unique en première brique d'un suivi de long terme.

Ce travail illustre une valeur centrale de la démarche de l'ingénieur : ne pas se contenter d'appliquer des solutions établies, mais explorer des alternatives et en rendre compte avec rigueur, y compris lorsque les résultats sont en demi-teinte. Si les prochaines saisons confirment les tendances observées et démontrent l'efficacité d'épaisseurs supérieures, une application opérationnelle ciblée pourra être envisagée ; dans le cas contraire, le présent travail aura permis d'écarter une fausse piste sur des bases solides, ce qui constitue en soi un apport scientifique.

Valeurs de la Charte de l'ingénieur et du scientifique responsable (Charte ISR, IESF, 2022)

Au terme de cette mission, trois valeurs de la Charte ISR ont constitué le fil conducteur de la démarche et méritent d'être illustrées à titre de bilan personnel.

La rationalité. Toutes les recommandations de ce mémoire s'appuient sur des observations de terrain mesurées et des tests statistiques formels. Le résultat partiel obtenu sur le broyat n'a pas été dissimulé ni surinterprété : il a été établi par trois analyses convergentes et présenté tel quel. Refuser de conclure au-delà de ce que les données permettent est l'expression directe de cette valeur.

La responsabilité. Ce travail a délibérément orienté la réflexion vers une alternative non chimique à la gestion de la renouée du Japon, en cohérence avec les engagements d'Ecophyto II+ et la protection des milieux ferroviaires sensibles. Documenter honnêtement les limites de cette alternative, plutôt que d'en survendre l'efficacité, relève de la même responsabilité envers le commanditaire et l'environnement.

L'humilité. La conclusion de ce mémoire est un résultat en demi-teinte, et l'avoir assumé comme tel, sans chercher à le travestir en succès, est l'expression de l'humilité scientifique. Reconnaître qu'une seule saison de suivi ne permet pas de trancher définitivement, et inscrire ce travail comme première étape d'un programme plus long porté par l'INRAE, traduit la conscience des limites de sa propre contribution.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, 2018. Valorisation des déchets verts et des matériaux ligneux : guide pratique. Paris : ADEME.
- ANSES, 2020. Rapport sur les méthodes alternatives aux produits phytosanitaires en gestion des emprises. Maisons-Alfort : ANSES.
- BAILEY, John P., BÍMOVÁ, Kateřina et MANDÁK, Bohumil, 2009. The potential role of polyploidy and hybridization in the invasiveness of *Fallopia taxa*. *Biological Invasions*. Vol. 11, n° 5, pp. 1209-1220.
- BEERLING, David J., 1991. The effect of riparian land use on the occurrence and abundance of Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*). *Journal of Applied Ecology*. Vol. 28, n° 3, pp. 840-849.
- BEERLING, David J., BAILEY, John P. et CONOLLY, Anthony P., 1994. *Fallopia x bohemica* (Houtt.) Ronse Decraene. *Journal of Ecology*. Vol. 82, n° 4, pp. 959-979.
- BRAZIER, William et JOLY, Céleste, 2022. Méthodes de lutte à base de compétition interspécifique, de paillage et d'entretien mécanique régulier contre *Reynoutria japonica* : retour sur six ans de suivi. Rapport de recherche.
- BRGM, 2018. Cartographie des aléas naturels en Isère : risques hydrologiques et gravitaires. Orléans : BRGM.
- CEREMA, 2020. Gestion des espèces exotiques envahissantes sur les infrastructures de transport : bilan des pratiques et perspectives. Bron : CEREMA.
- CEREMA, 2021. Adaptation des infrastructures de transport au changement climatique. Bron : CEREMA.
- CHALKER-SCOTT, Linda, 2007. Impact of mulches on landscape plants and the environment : a review. *Journal of Environmental Horticulture*. Vol. 25, n° 4, pp. 239-249.
- CHILD, Leslie, BROCK, John H., BRUNDU, Giuseppe et PRACH, Karel, 2010. The ecology and management of invasive plants. Dordrecht : Springer. 380 p.
- CHILD, Leslie et WADE, Max, 2000. The Japanese knotweed manual : the management and control of an invasive alien weed. Chichester : Packard Publishing.
- CODE DE L'ENVIRONNEMENT, 2023. Article L411-3 relatif aux espèces exotiques envahissantes. Paris : Legifrance.

- COUR DES COMPTES, 2020. La gestion du réseau ferroviaire. Paris : La Documentation française.
- DAVIS, Mark A., GRIME, J. Philip et THOMPSON, Ken, 2000. Fluctuating resources in plant communities : a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*. Vol. 88, n° 3, pp. 528-534.
- DELBART, Étienne, MAHY, Grégory, WEICKMANS, Benjamin et al., 2012. Can land managers control Japanese knotweed ? Lessons from control tests in Belgium. *Weed Research*. Vol. 52, n° 6, pp. 445-454.
- ENVIRONMENT AGENCY, 2013. Managing invasive non-native plants under, over and alongside railway lines. Bristol : Environment Agency.
- FENNELL, Mark, WADE, Max et BACON, Karen L., 2018. Japanese knotweed (*Fallopia japonica*) : an analysis of capacity to cause structural damage. *PeerJ*. Vol. 6, e5246.
- FISHER, Ronald A., 1935. The Design of Experiments. Edinburgh : Oliver & Boyd.
- FORMAN, Richard T. T. et ALEXANDER, Lauren E., 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 29, pp. 207-231.
- GERBER, Esther, KREBS, Christine, MURRELL, Craig et al., 2008. Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biological Conservation*. Vol. 141, n° 3, pp. 646-654.
- GIEC, 2021. Sixième rapport d'évaluation : changement climatique 2021, les bases physiques. Genève : GIEC.
- GIEC, 2023. Changement climatique 2023 : rapport de synthèse. Genève : GIEC.
- HALVORSON, Jonathan J., GOLLANY, Hero T., KENNEDY, Ann C. et al., 2012. Sorption of tannin and related phenolic compounds and effects on extraction of soluble nitrogen in soil amended with several carbon sources. *Agriculture*. Vol. 2, n° 1, pp. 52-72.
- HÄTTENSCHWILER, Stephan et VITOUSEK, Peter M., 2000. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 15, n° 6, pp. 238-243.

- HELLMANN, Jessica J., BYERS, James E., BIERWAGEN, Britta G. et DUKES, Jeffrey S., 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*. Vol. 22, n° 3, pp. 534-543.
- HOBBS, Richard J. et HUENNEKE, Laura F., 1992. Disturbance, diversity and invasion : implications for conservation. *Conservation Biology*. Vol. 6, n° 3, pp. 324-337.
- HURLBERT, Stuart H., 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*. Vol. 54, n° 2, pp. 187-211.
- IESF, 2022. *Charte d'éthique de l'ingénieur*. Paris : Ingénieurs et Scientifiques de France.
- INDERJIT et DUKE, Stephen O., 2003. Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*. Vol. 217, n° 4, pp. 529-539.
- INRAE, 2019. Risques naturels et gestion de la végétation en milieu de montagne : recommandations techniques. Grenoble : INRAE.
- KRAUS, Thomas E. C., DAHLGREN, Randy A. et ZASOSKI, Robert J., 2003. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems : a review. *Plant and Soil*. Vol. 256, n° 1, pp. 41-66.
- KRAUS, Thomas E. C., ZASOSKI, Robert J., DAHLGREN, Randy A. et al., 2004. Carbon and nitrogen dynamics in a forest soil amended with purified tannins from different plant species. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 36, n° 2, pp. 309-321.
- LOCKWOOD, Julie L., HOOPES, Martha F. et MARCHETTI, Michael P., 2013. *Invasion Ecology*. 2^e éd. Oxford : Wiley-Blackwell.
- MERWIN, Ian A., STILES, Warren C. et VAN ES, Harold M., 1995. Comparing mulches, herbicides and cultivation as orchard groundcover management systems. *HortTechnology*. Vol. 5, n° 2, pp. 151-158.
- MÉTÉO-FRANCE, 2022. Le changement climatique en France : évolutions observées et scénarios 2050-2100. Toulouse : Météo-France.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, 2018. Plan Ecophyto II+ : plan de réduction de l'usage des produits phytosanitaires. Paris : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- MOHLER, Charles L. et TEASDALE, John R., 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. *Weed Research*. Vol. 33, n° 6, pp. 487-499.

NETWORK RAIL, 2018. Vegetation management strategy 2018-2023. Londres : Network Rail.

PYŠEK, Petr, RICHARDSON, David M., PERGL, Jan et al., 2008. Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 23, n° 5, pp. 237-244.

PYŠEK, Petr et RICHARDSON, David M., 2010. Invasive species, environmental change and management. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 35, pp. 25-55.

RÈGLEMENT (UE) N° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes. *Journal officiel de l'Union européenne*.

RICHARDSON, David M., PYŠEK, Petr, REJMÁNEK, Marcel et al., 2000. Naturalization and invasion of alien plants : concepts and definitions. *Diversity and Distributions*. Vol. 6, n° 2, pp. 93-107.

SCALBERT, Augustin, 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*. Vol. 30, n° 12, pp. 3875-3883.

SIMBERLOFF, Daniel, MARTIN, Jean-Louis, GENOVESI, Piero et al., 2013. Impacts of biological invasions : what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 28, n° 1, pp. 58-66.

SNCF RÉSEAU, 2020. Rapport d'activité et de développement durable 2020. Paris : SNCF Réseau.

SNCF RÉSEAU, 2022. Organisation et missions. Paris : SNCF Réseau. Document institutionnel.

TEASDALE, John R. et MOHLER, Charles L., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science*. Vol. 48, n° 3, pp. 385-392.

UIC, 2018. Railway infrastructure and the environment. Paris : UIC.

UICN, 2000. 100 of the world's worst invasive alien species : a selection from the Global Invasive Species Database. Auckland : ISSG.

ZUUR, Alain F., IENO, Elena N., WALKER, Neil J. et al., 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York : Springer. 574 p.

TABLE DES ANNEXES

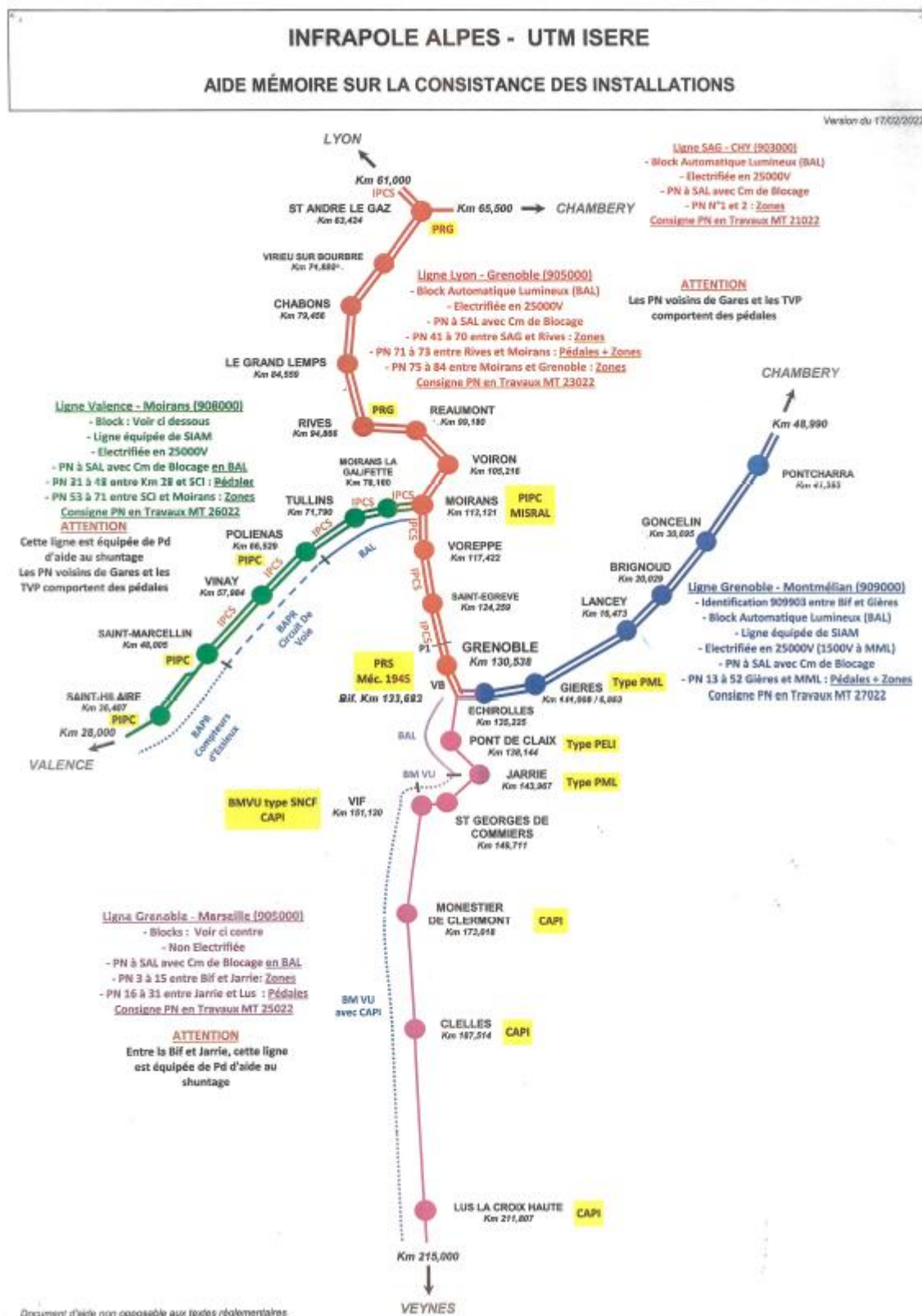
Annexe 1 : Carte de la consistance des installations de l’Infrapôle Alpes (périmètre de l’UTM de Grenoble)

Annexe 2 : Organigramme de l’UTM de Grenoble (UTM 38)

Annexe 3 : Calendrier prévisionnel du projet (diagramme de Gantt)

Annexe 4 : Estimation budgétaire du dispositif

Annexe 5 : Données brutes du suivi terrain (Tencin 2026)

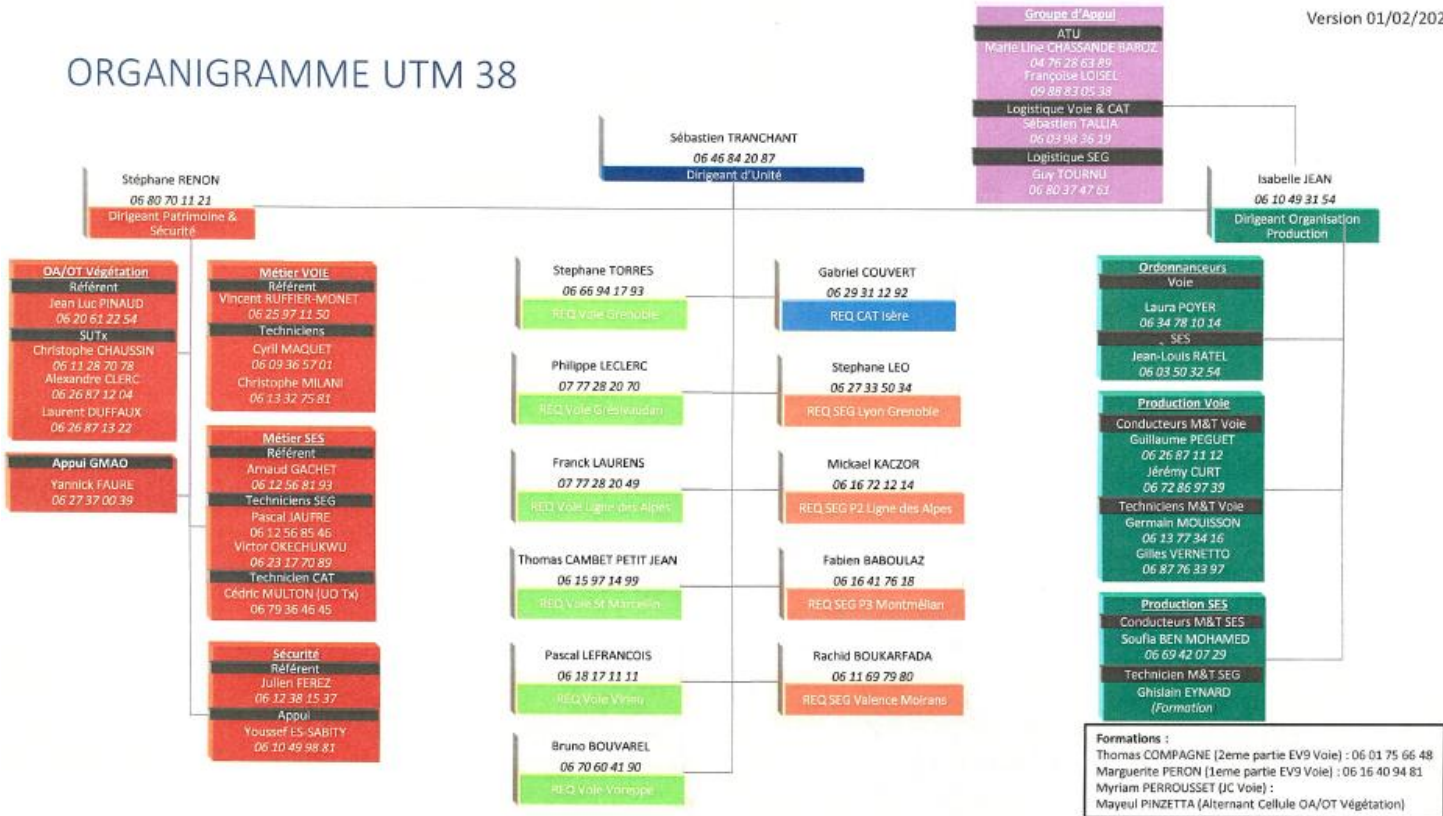


(périmètre de l'UTM de Grenoble)

Annexe 2 : Organigramme de l'UTM de Grenoble (UTM 38)

Version 01/02/2022

ORGANIGRAMME UTM 38



Annexe 3 : Calendrier prévisionnel du projet (diagramme de Gantt)

[Document à insérer]

Annexe 4 : Estimation budgétaire du dispositif

[Document à insérer]

Annexe 5 : Données brutes du suivi terrain (Tencin 2026)

Conformément aux recommandations de présentation du MFE, les données brutes du suivi hebdomadaire sont reportées en annexe 5, le corps du document privilégiant les tableaux et figures de synthèse. Chaque tableau présente, pour les seize placettes, la valeur relevée à chacune des treize dates de suivi (du 11 mai au 3 août 2026). Les placettes sont notées T (témoin), G (grillage) et B (broyat).

Nombre de tiges

Pl.	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06	22/06	29/06	06/07	13/07	20/07	27/07	03/08
T1	74	88	92	113	128	168	196	194	192	190	188	185	182
T2	77	84	93	114	134	178	208	206	204	202	200	197	194
T3	79	86	98	109	121	162	188	186	184	182	180	177	174
T4	79	88	94	110	141	174	202	200	198	196	194	191	188
G1	29	39	46	43	40	38	36	33	29	24	25	20	20
G2	28	39	48	44	41	39	37	34	33	27	29	22	19
G3	31	42	49	45	42	40	38	35	31	31	28	25	14
G4	31	39	48	43	41	39	37	34	30	28	25	22	20
B1	52	64	70	82	104	138	162	159	156	152	147	142	137
B2	55	62	68	86	101	142	165	162	159	155	150	145	139
B3	53	59	69	83	102	139	161	158	155	151	146	141	135
B4	52	62	68	80	104	140	163	160	157	153	148	143	137
B5	50	63	74	85	105	137	160	157	154	150	145	140	134
B6	55	65	69	85	102	142	165	162	159	155	150	145	139
B7	53	60	71	86	103	139	162	159	156	152	147	142	136
B8	53	63	71	84	104	137	159	156	153	149	144	139	133

Tableau 8. Nombre de tiges relevé(e) par placette et par date (suivi terrain, Tencin 2026).

Hauteur moyenne (cm)

Pl.	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06	22/06	29/06	06/07	13/07	20/07	27/07	03/08
T1	15,2	52,4	107,5	155,6	187,2	205,4	210,1	209,3	208	206,8	205,5	204,1	202,6
T2	14,5	55,8	110,5	155,5	183,1	201,6	206,2	205,4	204,5	203,3	202	200,8	199,5
T3	14,4	52,8	113,8	161,7	189,2	207	211,4	210,6	209,5	208,2	207	205,6	204,1
T4	15,1	56,1	105	155,6	184,4	200,5	205,3	204,6	203,7	202,5	201,4	200	198,5
G1	7,7	14,9	18,4	42,6	74,4	110,5	128,5	126	121,5	113,8	103,4	93,2	81,5
G2	8,3	13,5	16,8	40,9	75,5	108,5	126,6	124,2	119	111	100,5	89,8	78,1
G3	7,7	13,5	18,2	40,6	78,9	113,1	131,1	128,5	123,4	115	104,2	93	80,8
G4	8,1	14,6	17,8	39,4	76,7	114,6	132,6	129,9	124,5	116,4	105	94,1	82
B1	13,6	51,6	97,8	147	192,1	213,4	219,5	218	216	213,5	210,5	207	203,5
B2	14,1	51,4	101,2	151,9	196,9	219,3	226,5	225	222,8	219,8	216,2	212,7	208,9
B3	13,6	48,6	105,6	154,6	193,9	216,7	223,6	222	219,4	216,4	212,9	209,3	205,6
B4	14,4	50,5	98,8	148,6	188,6	209,1	214,8	213,3	211,7	208,7	205,3	201,8	198,1
B5	13,7	51,3	99	128,6	189,7	211,6	217,3	215,8	214,2	211,2	207,7	204,2	200,5
B6	13,4	53,1	102,5	147,6	194,6	217,1	223,9	222,4	220,7	217,7	214,2	210,6	206,9
B7	14,5	48,8	100,8	145,6	191,1	213,5	220,3	218,8	217,1	214,1	210,6	207	203,3
B8	19,2	51,1	97,2	155,4	196,2	218,2	225,6	224	222,3	219,3	215,8	212,2	208,4

Tableau 9. Hauteur moyenne (cm) relevé(e) par placette et par date (suivi terrain, Tencin 2026).

Diamètre à 10 cm du sol (cm)

Pl.	11/05	18/05	25/05	01/06	08/06	15/06	22/06	29/06	06/07	13/07	20/07	27/07	03/08
T1	0,5	1,6	2,9	3,7	4,5	5	5,3	5,2	5,2	5,1	5	4,9	4,8
T2	0,5	1,5	1,7	2,2	2,8	3,4	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,5
T3	0,5	1,4	3,1	4,4	4,9	5,2	5,5	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5
T4	0,5	1,5	2,9	4,4	4,8	5,1	5,4	5,4	5,3	5,2	5,2	5,1	5
G1	0,5	0,6	1,1	1,4	1,8	2	2,1	2	1,9	2,1	1,8	1,3	1,1
G2	0,7	0,4	1	1,4	1,7	1,9	2	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1
G3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,8	2	2,1	2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1
G4	1,2	1,5	1,2	1,6	1,8	2	2	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1
B1	1,8	3,5	3,8	4,1	4,6	4,9	5,2	5,1	5,1	5	4,9	4,8	4,7
B2	2	3,7	4,2	4,2	4,7	5	5,3	5,2	5,2	5,1	5	4,9	4,8
B3	2,6	3,2	3,8	4,1	4,6	4,9	5,2	5,1	5,1	5	4,9	4,8	4,7
B4	2,4	4	4,2	4,5	4,9	5,2	5,4	5,3	5,3	5,2	5,1	5	4,9
B5	2,6	3,1	4,6	4,9	5,1	5,3	5,5	5,4	5,4	5,3	5,2	5,1	5
B6	3,1	4,3	4,1	4,3	4,7	5	5,2	5,1	5,1	5	4,9	4,8	4,7
B7	2,9	3,8	3,9	4	4,5	4,8	5,1	5	5	4,9	4,8	4,7	4,6
B8	2,4	4	4,2	4,2	4,6	4,9	5,2	5,1	5,1	5	4,9	4,8	4,7

Tableau 10. Diamètre à 10 cm du sol (cm) relevé(e) par placette et par date (suivi terrain, Tencin 2026).

Traitement statistique. L'ensemble des analyses (ANOVA, test de Tukey HSD, ANCOVA, aire sous la courbe, eta-carré et Kruskal-Wallis) a été réalisé sous R version 4.3.3 (R Core Team, 2024) à partir de ces données. Le script d'analyse est disponible auprès de l'auteur.