

GESTION DES PLANTES INVASIVES SUR LE TERRITOIRE FRANCO-SUISSE

Synthèse finale du projet

Décembre 2022



Partenaires techniques et financiers du projet

- **ELTEL SA** : chef de file suisse du projet. Société spécialisée dans l'entretien des zones naturelles. Le processus d'injection thermique a été développé par cette société spécialisée dans l'entretien des zones naturelles. www.eltel-sa.ch
- **Espace ruraux montagnard (ERM)** : chef de file français du projet. Société spécialisée dans les travaux forestiers, les travaux en rivière, les travaux en montagne et les travaux d'accès difficile. www.erm74.com
- **Association pour la sauvegarde du Léman (ASL)** : association ayant pour objectif de sauvegarder la qualité des eaux et la biodiversité du bassin lémanique. www.asleman.org
- **Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA)** : haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) formant des ingénieur-e-s en Gestion de la nature et impliquée dans la recherche appliquée. www.hesge.ch/hepia
- **Syndicat de rivières les Usses (Syr'Usses)** : syndicat de rivière œuvrant sur le bassin versant du cours d'eau des Usses en Haute-Savoie. www.rivieres-usses.com
- **Communauté de communes du Genevois (CCG)** : communauté de communes de Haute-Savoie dans le Genevois français, à la frontière avec le canton de Genève. www.cc-genevois.fr
- **Eau bien commun Auvergne-Rhône-Alpes (EBC AuRA)** : association visant à participer à la gestion et protection de l'eau et la biodiversité dans la région AuRA. www.eau-biencommun-aura.fr
- **Services décentralisés de l'état français : conseil départemental de Haute-Savoie et conseil régional d'Auvergne-Rhône-Alpes**
- **Cantons suisses : canton de Genève, canton de Vaud, canton du Valais, canton de Neuchâtel et canton de Fribourg**

Le projet « Stop aux Invasives » a été soutenu par le programme européen de coopération transfrontalière INTERREG France-Suisse 2014-2020 et a bénéficié à ce titre de subventions allouées par :

- **Le fonds européen de développement régional (FEDER)**, couvrant 65% du coût total français
- **Le conseil départemental de Haute-Savoie**, couvrant 15% du coût total des dépenses du coût total français
- **Le conseil régional d'Auvergne-Rhône-Alpes**, couvrant 1% du coût des dépenses de ERM
- **Cantons suisses : canton de Genève, canton de Vaud, canton du Valais, canton de Neuchâtel et canton de Fribourg**, couvrant 22 % du coût total suisse et l'Interreg Fédéral, couvrant 14% du coût total suisse.

Réalisation de la synthèse

Auteurs du document

Partie A - Contexte du développement du projet

Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)

Partie B - Développement des techniques de lutte

Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)

Cyril Blondet (ERM)

Sandrine Tolivia (ELTEL)

Julie Aubert-Moulin (Syr'Usses)

Laurent Huber (HEPIA)

Nathalie Buffet (CCG)

Nicolas Balverde (Avis Vert)

Olivier Goy (ASL)

Patrice Prunier (HEPIA)

Pierre-André Frossard (HEPIA)

Partie C - Suivis scientifiques des sites expérimentaux « traités thermiquement »

Laurent Huber (HEPIA)

Julien Crovadore (HEPIA)

Amandine Fontaine (HEPIA)

Charlène Heiniger (HEPIA)

François Lefort (HEPIA)

Jane O'Rourke (HEPIA)

Patrice Prunier (HEPIA)

Comité de lecture

Cyril Blondet (ERM)

Julie Aubert-Moulin (Syr'Usses)

Laurent Huber (HEPIA)

Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)

Nathalie Buffet (CCG)

Olivier Goy (ASL)

Patrice Prunier (HEPIA)

Sandrine Tolivia (ELTEL)

Partie D - Développement des stratégies de gestion

Julie Aubert-Moulin (Syr'Usses)

Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)

Nathalie Buffet (CCG)

Nicolas Balverde (Avis Vert)

Sandrine Tolivia (ELTEL)

Suzanne Mader et Olivier Goy (ASL)

Partie E - Actions transversales du projet

Cyril Blondet (ERM)

Julie Aubert-Moulin (Syr'Usses)

Laurent Huber (HEPIA)

Nathalie Buffet (CCG)

Olivier Goy (ASL)

Patrice Prunier (HEPIA)

Sandrine Tolivia (ELTEL)

Editeur du document

Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)



Remerciements

Merci à **André Helfer** (fondateur de l'entreprise ELTEL SA - CH) pour ses idées et l'énergie investie dans la conception du prototype de la machine de traitement thermique. Merci à **Emmanuelle Favre** (Office cantonal de l'agriculture et de la nature - CH), **Barbara Molnar** (Canton du valais, section nature et paysage - CH) d'avoir bien voulu consacrer de leur temps pour partager leurs connaissances sur la législation suisse et la gestion des PEE sur leur territoire. Merci à **Pascal Sauze** (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement - FR), **Sylvie Martinant** (Conservatoire d'espaces naturels Auvergne - FR) et **François Delaquaize** (Centre de ressources espèces exotiques envahissantes - FR) d'avoir pris le temps de répondre à des questions sur la législation française et les stratégies de gestion des EEE au niveau national et au niveau de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Merci aux équipes qui ont travaillé avec les machines de traitement thermique sur le terrain, pour leur rigueur et leur implication. Merci aux **communes de Dully et Massongex** pour l'évacuation des résidus de PEE arrachés sur les sites pilotes présents sur leur territoire. Et enfin, **merci à tous les autres partenaires et personnes qui ont contribué de près ou de loin au projet « Stop aux invasives »**.

Table des matières

PARTIE A - CONTEXTE DU DEVELOPPEMENT DU PROJET	12
1 INTRODUCTION	12
1.1 PROBLEMATIQUE DES PLANTES INVASIVES	12
1.2 LE PROJET « STOP AUX INVASIVES »	13
1.3 ACTIONS DES PARTENAIRES REALISEES DANS LE CADRE DU PROJET	14
PARTIE B – DEVELOPPEMENT ET SUIVI DES TECHNIQUES DE LUTTE	18
2 TRAITEMENT THERMIQUE PROFOND – DEVELOPPEMENT DU PROTOTYPE	18
2.1 ÉVOLUTION DU PROTOTYPE – DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE	18
2.2 DETERMINATION DES MODELES ECONOMIQUES EN LEVIER DES PLANS DE GESTION	20
2.3 MISE EN PLACE DU SYSTEME DE DROITS AFIN DE PROTECTION DES PARTENAIRES	20
2.4 PERSPECTIVES DE LA MACHINE DE TRAITEMENT THERMIQUE	20
3 TRAITEMENT DES INVASIVES ET REVEGETALISATION	21
3.1 TEST DES TECHNIQUES DE LUTTE ET SUIVI DES SITES	21
3.2 CORTEGES VEGETAUX SPECIFIQUES, MISE EN ŒUVRE DES PROTOCOLES DE REVEGETALISATION	65
3.3 TRAITEMENT DES RESIDUS VEGETAUX – CADRE REGLEMENTAIRE ET TECHNIQUE	73
PARTIE C - SUIVIS SCIENTIFIQUES DES SITES EXPERIMENTAUX « TRAITES THERMIQUEMENT »	82
4 EXPERIMENTATION ET SUIVIS SCIENTIFIQUES	82
4.1 DIAGNOSTIC PREALABLE ET PROTOCOLE D’ETUDE	82
4.2 SUIVIS SCIENTIFIQUES DES SITES PILOTES ET SITES TESTS	84
PARTIE D - DEVELOPPEMENT DES STRATEGIES DE GESTION	129
5 SUIVI DIAGNOSTIC TECHNIQUE ET ECONOMIQUE. TRANSFERT VERS UN PLAN DE GESTION DES INVASIVES	129
5.1 ELABORATION D’UN PLAN DE GESTION	129
5.2 MISE EN ŒUVRE D’UN PLAN DE GESTION	137
5.3 SYNTHESE CRITIQUE DES STRATEGIES DE GESTION, DES EXPERIMENTATIONS ET AUTRES TECHNIQUES DE LUTTE A 4 ANS DE PROJET	148
6 INFORMATION, SENSIBILISATION, FORMATION, EDUCATION	150
6.1 SENSIBILISATION, ANIMATION AUPRES DES COLLECTIVITES, HABITANTS ET ACTEURS DU TERRITOIRE	150
6.2 FORMATION ELUS ET ACTEURS ECONOMIQUES REFERENTS	152
6.3 SEMINAIRES ET CAPITALISATION	153
6.4 COMMUNICATION TECHNIQUE ET SOCIO-ENVIRONNEMENTALE (TOUS ACTEURS)	155
BILAN DU PROJET	157
ANNEXES	161

Liste des figures

Figure 1. (a) stade d'une invasion biologique de l'espèce introduite à l'espèce invasive d'après Goudard (2007) (b) Processus d'envahissement des xénophytes, Rombaldoni (2004) adapté d'après Radosevich (2004).....	12
Figure 2. Schéma synthétique de la construction du projet « Stop aux invasives » développé par le COPIL	13
Figure 3. Premier prototype de machines adaptées à la méthode de lutte thermique.....	18
Figure 4. Prototype deuxième génération pour la lutte thermique contre les PEE	19
Figure 5. Méthodes de suivi mises en œuvre pour les différentes catégories de sites traités	23
Figure 6. Nombre de sites testés par modalité de traitement.....	24
Figure 7. Surface cumulées des sites testés par modalité de traitement	24
Figure 8. Carte de répartition des sites du projet en France et en Suisse par gestionnaire	26
Figure 9. Carte de répartition des sites du projet en France et en Suisse par technique	26
Figure 10. Part de l'occupation des sols (a) et des espèces exotiques traitées (b) sur l'ensemble des sites du projet	32
Figure 11. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites	33
Figure 12. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par technique et combinaison de techniques	33
Figure 13. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par groupes de techniques (a) en valeur absolue, (b) en valeur relative	34
Figure 14. Taux moyen de réussite globale des sites REX (a) par technique et combinaison de techniques testés, (b) sur l'ensemble des sites	34
Figure 15. Rapport entre la surface d'un chantier et (a) son coût global (b) son coût au mètre carré toutes techniques et espèces confondues (sites REX) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF	35
Figure 16. Distribution du coût au mètre carré des chantiers (a) par technique de lutte (b) par espèce (sites REX) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF.....	36
Figure 17. Coûts des techniques testées dans le cadre du projet (a) coût surfacique moyen (b) coût moyen d'installation de chantier (source : Syr'Usses, ELTEL et ERM) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF.....	37
Figure 18. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par espèce traitée.....	38
Figure 19. Schéma type d'implantation de boutures de saules	67
Figure 20. Exemple de technique hybride	69
Figure 21. Schéma type de la mise en place de lits de plans et plançons	70
Figure 22. Schéma type de mise en place de branches à rejets.....	71
Figure 23. Evolution d'un site colonisé par les renouées, aménagé en couches de branches à rejets, à Contamine-Sarzin	72
Figure 24. Recommandations de l'AGIN sur l'évacuation des résidus végétaux de PEE classées dans la liste noire et la watch list d'InfoFlora (novembre 2015).....	75
Figure 25. Carte des sites expérimentaux classifiés par type de suivi	83
Figure 26. Préparation des rhizomes (haut gauche), traitement (bas gauche) et mise en culture (droite)	86
Figure 27. Taux de reprise en fonction de la température (°C)	86
Figure 28. Etat des rhizomes de l'essai E4 en fin de période de culture (7 semaines)	87
Figure 29. Taux de reprise en fonction de la durée d'exposition (min)	88
Figure 30. Taux de reprise en fonction de la température (ordonnée) et de la durée d'exposition (série).....	88
Figure 31. Schéma d'implantation des loggers pour les dispositifs de types "site" et "cluster"	90
Figure 32. Diagrammes représentant l'influence de l'injection (SU_P1, SU_P2, VS_P1)	91
Figure 33. Températures maximales atteintes et dispersion par profondeur pour les deux campagnes	92
Figure 34. Températures témoin et dispersion par profondeur pour les deux campagnes.....	93
Figure 35. Moyennes des températures témoin par site et par profondeur pour les deux campagnes	93
Figure 36. Températures maximales atteintes par site et par campagnes pour les profondeurs -20 (gauche) et -40 cm (droite).....	94

Figure 37. Représentation de l'échantillonnage de la surface et du volume des sites	96
Figure 38. Tarière d'échantillonnage (gauche) et le séquenceur Illumina MiniSeq du laboratoire.....	98
Figure 39. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Dully (VD_P2)	99
Figure 40. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Murières (SU_P2)	99
Figure 41. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Desingy-Usinens (SU_P1).....	100
Figure 42. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Dully (Profondeur 1 et 2 confondues).....	101
Figure 43. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Murières (Profondeurs 1 et 2)	102
Figure 44. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Desingy-Usinens (Profondeur 1 et 2 confondues).....	103
Figure 45. Quatre exemples d'espèces de Collembolés présentes en Suisse.....	105
Figure 46. Illustration d'un extracteur Berlese (à gauche) et schéma de fonctionnement de l'appareil (à droite).....	106
Figure 47. Moyennes de l'abondance (en haut) et de la richesse (en bas) des Collembolés pour les quatre sites aux quatre périodes d'échantillonnage	108
Figure 48. Répartition des espèces de Collembolés (tous sites confondus) aux quatre dates de prélèvement.	109
Figure 49. Illustration des deux profils de sol observés. A gauche, le profil creusé en dehors de la zone d'emprise du traitement et à droite, le profil creusé dans la zone d'emprise du traitement. Les lignes blanches indiquent les limites des horizons décrits.	111
Figure 50. Taux de matière organique (%) en fonction de la profondeur (cm), pour tous les horizons des deux profils de sol ; en orange, le sol en dehors de la zone d'emprise du traitement et en bleu, le sol dans la zone d'emprise du traitement.	112
Figure 51. Taux d'argile dans la terre fine (%) en fonction de la profondeur (cm), pour tous les horizons des deux profils de sol ; en orange, le sol en dehors de la zone d'emprise du traitement et en bleu, le sol dans la zone d'emprise du traitement.	112
Figure 52. Illustration de la surface d'un sol à texture fine après le traitement, sur le site de Massongex (VS_P1). L'horizon de surface semble « colmaté » par les argiles, remontées en surface sous l'effet de la pression de l'eau due au traitement	113
Figure 53. Résultats d'éradication des sites du projet en absolu (gauche) et relatif (droite) par espèce	116
Figure 54. Evolution de l'invasion entre l'état initial et final selon les méthodes PC (gauche) et R (droite)	116
Figure 55. Efficacité par espèce selon la méthode R.....	117
Figure 56. Efficacité en fonction du nombre de répétition du traitement thermique selon les méthodes R (gauche) et PC (droite).....	118
Figure 57. Efficacité en fonction de la saison de traitement selon les méthodes R (gauche) et PC (droite)	119
Figure 58. Efficacité en fonction du nombre d'arrachages effectués selon les méthodes R (gauche) et PC (droite).....	119
Figure 59. Efficacité en fonction de la mise en place d'actions de végétalisation selon les méthodes R (gauche) et PC (droite).....	120
Figure 60. Taux de recouvrement de la végétation autre que l'invasive cible en fonction de la végétalisation selon les méthodes R (gauche) et PC (droite), état final des sites.....	121
Figure 61. Evolution de la richesse biologique selon la méthode PC	123
Figure 62. Richesse biologique en fonction de la végétalisation selon la méthode PC	124
Figure 63. Etapes de la mise en place d'un plan de gestion	130
Figure 64. Maillage du territoire de la CCG.....	131
Figure 65. Découpage du linéaire de cours d'eau du Syr'Usses par tronçon de 500 m	132
Figure 66. Cartographie de l'ensemble des foyers inventoriés en 2020 sur les cours d'eau prospectés.....	133
Figure 67. Classification des stades d'invasion et représentation pour une PEE sur le bassin versant des Usses	134
Figure 68. Echanges avec les techniciens et élus du territoire sur les PEE pendant l'élaboration du plan de gestion ...	136

Figure 69. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE sur le territoire du Syr'Usses	138
Figure 70. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire du Syr'Usses	138
Figure 71. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de la CCG.....	141
Figure 72. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire de la CCG	141
Figure 73. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutte testées contre les foyers de renouées asiatiques sur le territoire de la CCG	142
Figure 74. Bilan par espèce de la gestion des PEE sur le territoire de la CCG	143
Figure 75. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de l'ASL	144
Figure 76. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire de l'ASL	145
Figure 77. Poids mesuré de la biomasse de renouées asiatiques évacuée par an et temps consacré à l'arrachage et l'évacuation par personne et par an (données sur 705 m ²). Cas du site SL 21822 localisé à Saint-Sulpice.	145
Figure 78. Flyer de communication développé par ASL dans le cadre de l'action « Halte aux renouées ! ».....	151
Figure 79. Formation sur la mise en œuvre d'un plan de gestion EEE proposée par le Syr'Usses en 2022	152
Figure 80. Colloque final stop aux invasives : échanges et perspectives sur les stratégies de lutte contre les PEE	153
Figure 81. Programme du colloque final « Stop aux invasives ».....	154
Figure 82. Panneau « Stop aux invasives » et intervention sur chantier Usses par arrachage	156

Liste des tableaux

Tableau 1. Modalités du traitement thermique utilisées dans le cadre du projet « Stop aux invasives ».....	20
Tableau 2. Combinaisons de techniques testées dans le cadre du projet par ordre d'intervention	21
Tableau 3. Catégorisation des sites et méthode de suivi définis dans le cadre du projet.....	22
Tableau 4. Ensemble des techniques testées dans le cadre du projet, gestionnaires et sites associés	25
Tableau 5. Liste et caractéristiques des sites traités thermiquement - ^{REX} : Site avec fiche REX.....	27
Tableau 6. Liste et caractéristiques des sites traités non thermiquement - ^{REX} : Site avec fiche REX	29
Tableau 7. Coûts moyens des techniques testées dans le cadre du projet	36
Tableau 8. Techniques et combinaisons de techniques testées dans le cadre du projet et fiches REX associées	39
Tableau 9. Avantages et inconvénients des huit techniques principales testées, selon les retours d'expériences des partenaires	63
Tableau 10. Schéma d'aide à la décision des modalités de technique de lutte contre les six espèces exotiques du projet	64
Tableau 11. Coûts d'un ensemencement	66
Tableau 12. Coûts du bouturage	67
Tableau 13. Coûts de la plantation	68
Tableau 14. Coûts des lits de plans et plançons.....	70
Tableau 15. Coûts des couches de branches à rejets	71
Tableau 16. Guide pratique pour le traitement des déchets issus de la lutte contre les 6 espèces cibles du projet.....	78
Tableau 17. Evolution de la température résiduelle par rapport à la température initiale après traitement	90
Tableau 18. Valeurs clés des pics de température pour la campagne de mesure de mai 2019.....	91
Tableau 19. Valeurs clés des pics de température pour la campagne de mesure de septembre 2021.....	91
Tableau 20. Durées moyennes (en minutes) d'exposition à des températures supérieures à 55°C en 2019	95
Tableau 21. Durées moyennes (en minutes) d'exposition à des températures supérieures à 55°C en 2021	95
Tableau 22. Proportion des surfaces atteignant les valeurs seuil pour 2019	96
Tableau 23. Proportion des surfaces atteignant les valeurs seuil pour 2021	96
Tableau 24. Liste des 58 espèces de Collemboles observées durant le suivi. Abréviation et nom latin pour chaque espèce.	107
Tableau 25. Résultats des analyses pédologiques du pH, de la perte au feu (MO%) et de la granulométrie de la terre fine (Argile%, Limon% et Sable%) de tous les horizons de deux profils de sol observés.	112
Tableau 26. Indices de la méthode des recouvrements.....	114
Tableau 27. Valeurs de l'indice d'efficacité	115
Tableau 28. Récapitulatif du nombre de sites et de suivis réalisés en fonction des actions mises en place représentées de manière désagrégées.....	122
Tableau 29. Récapitulatif du nombre de suivis réalisés en fonction des actions mises en place représentées et listées de manière agrégées.....	122
Tableau 30. Espèces spontanées les plus rencontrées lors des suivis des sites pilotes (après traitement, avant végétalisation)	124
Tableau 31. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE sur le territoire du Syr'Usses	137
Tableau 32. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutte testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de la CCG.....	140
Tableau 33. Espèces traitées sur le territoire de la CCG (y compris espèces hors projet) et caractéristiques des foyers	142
Tableau 34. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de l'ASL	144

Glossaire

Fiches REX : fiches de retours d'expériences des partenaires sur des sites donnés (sites REX)

Génie végétal : mise en œuvre de techniques utilisant des végétaux et leurs propriétés mécaniques et/ou biologiques

HeatMaps : représentation graphique de données statistiques qui fait correspondre un nuancier de couleur à l'intensité d'une grandeur variable (ici l'abondance des espèces) sur une matrice à deux dimensions.

Métatranscriptomique : étude du matériel de transcription des génomes (ARNm) de l'ensemble des microorganismes faisant partie d'un milieu.

Post-traitement : méthode de lutte complémentaire mise en place après le traitement thermique

Sites REX : échantillon de sites dont les résultats de suivi et les retours d'expérience ont été détaillés

Traitement non thermique : autres techniques que le traitement thermique testées dans le projet

Traitement thermique : technique utilisant le prototype de lutte thermique développé dans le projet

Végétalisation : technique de restauration écologique se basant sur les principes du génie végétal

Listes des abréviations

ARNm : Acide RiboNucléique messenger
ASL : Association pour la Sauvegarde du Léman (FR-CH)
AuRA : Région Auvergne Rhône-Alpes (FR)
BTP : bâtiments et travaux publics (FR)
CCG : Communauté de communes du Genevois (FR)
CCPC : Communauté de communes du pays de Cruseilles (FR)
CCPG : Communauté de communes du pays de Gex (FR)
CCTP : Cahier des Clauses Techniques et Particulières (FR)
CD74 : Conseil départemental de la Haute-Savoie (FR)
CH : Suisse
CHF : franc suisse
CNR : Compagnie nationale du Rhône (FR)
DGAV : Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaire (CH)
DGE : Direction générale de l'environnement, biodiversité et forêt du canton de Vaud (CH)
DREAL : Direction départementale de l'environnement de l'aménagement et du logement (FR)
EBC AuRA : Eau bien commun Auvergne-Rhône-Alpes (FR)
EEE : espèces exotiques envahissantes
ERM : espace ruraux montagnard (FR)
EUR : euro
FR : France
HEPIA : Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (CH)
HM : "Hors Machine", dit d'un site traité par une technique non thermique
NA : non applicable
NC : non communiqué
OCAN : Office cantonal de l'agriculture et de la nature du canton de Genève (CH)
ODE : Ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (CH)
OFB : Office national pour la biodiversité (FR)
OFEV : Office fédéral de l'environnement (CH)
PC : méthode de suivi floristique des points contacts
PEE : plantes exotiques envahissantes
PLU : Plan Local d'Urbanisme (FR)
R : recouvrement (méthode de suivi floristique)
REX : retours d'expériences
SFCEP : Service des forêts, des cours d'eau et du paysage du canton de Valais (CH)
SFFN : Service de la faune des forêts et de la nature du canton de Neuchâtel (CH)
SILA : Syndicat mixte du lac d'Annecy (FR)
SM3A : Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses affluents (FR)
Syr'Usses : Syndicat de rivières les Usses (FR)
UPGE : Union Professionnelle du Génie Ecologique (FR)

PARTIE A - Contexte du développement du projet

1 Introduction

1.1 Problématique des plantes invasives

Les espèces invasives sont des espèces non-indigènes ou néophytes (arrivées dans une région donnée après l'année 1500), introduites intentionnellement ou non, qui arrivent à s'implanter dans les milieux naturels et à se répandre massivement aux dépens des espèces indigènes locales. Ces espèces exotiques, lorsqu'elles arrivent à s'implanter et à survivre dans leurs nouveaux milieux, peuvent dans certains cas passer à un stade de colonisation où la population va connaître une croissance exponentielle, puis à un stade d'envahissement où la population va atteindre le seuil limite de son expansion selon les ressources et l'espace disponible des milieux colonisés (figure 1). Dans ce cas, ces espèces deviennent des plantes invasives, ou plantes exotiques envahissantes (PEE).

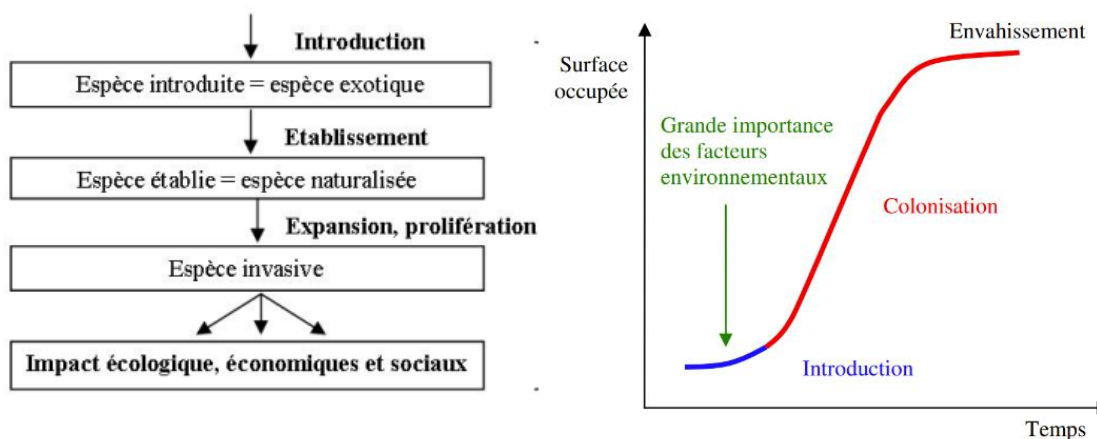


Figure 1. (a) stade d'une invasion biologique de l'espèce introduite à l'espèce invasive d'après Goudard (2007) (b) Processus d'envahissement des xénophytes, Rombaldoni (2004) adapté d'après Radosevich (2004)

Ce caractère envahissant apparaît lorsque le développement des populations n'est pas régulé dans leurs nouveaux milieux par les prédateurs, maladies et parasites. Les espèces en question présentent également des atouts écologiques, leur permettant de se développer dynamiquement. La phase de colonisation n'a en revanche pas nécessairement lieu ou ne peut avoir lieu qu'après une certaine période de latence (*time-lags*) pouvant durer jusqu'à 90 ans (Binggeli, 1999). Selon la « règle des trois dix » de Williamson (1996), pour 1000 espèces introduites, 100 arrivent à s'acclimater, 10 se naturalisent et une va devenir invasive. **En Suisse, on compte 730 espèces de plantes exotiques. Parmi elles, 41 sont classées sur liste noire** (soit 5,6% des espèces recensées) et 16 sont sur liste d'observation (*Info Flora*). **En France, on compte 3 029 espèces de plantes exotiques. Parmi elles, 260 pourraient avoir un caractère invasif** (soit 8,6% des espèces recensées) et **41 figurent dans la liste d'espèces exotiques préoccupantes pour l'Union Européenne** (soit 1,3% des espèces). En Europe, on recense plus de 6 500 espèces végétales introduites volontairement ou non par l'Homme. L'invasion des milieux naturels par ces plantes représente un préjudice écologique considérable. Le coût financier a été estimé à 12,5 milliards d'euros pour l'UE depuis les années 80 (Source : UICN, OFB et Centre de ressources des EEE).

1.2 Le projet « Stop aux invasives »

Enrayer la progression des plantes invasives est un objectif clef à atteindre si on souhaite agir efficacement sur la deuxième cause de l'effondrement de la biodiversité mondiale (Centre de ressources des EEE). Pour cela, il est indispensable d'avoir une vision globale de l'évolution des espèces les plus problématiques et de mutualiser les expériences afin de rationaliser les moyens de lutte. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet « Stop aux invasives » sur le territoire frontalier franco-suisse (cantons romands et Haute-Savoie). Initié par ELTEL (société suisse de travaux en milieux naturels) et par son homologue français ERM 74, le projet vise à développer une technique innovante de traitement thermique contre les invasives. Il a rassemblé les gestionnaires et scientifiques concernés par la problématique afin de mutualiser les expériences de gestion et de lutte : la Haute Ecole du Paysage d'Ingénierie et d'Architecture de Genève (HEPIA) en Suisse ; le Syndicat de rivières les Ussets (Syr'Ussets), la Communauté de Communes du Genevois (CCG) et l'association Eau Bien Commun Auvergne-Rhône-Alpes (EBC AuRA) en France ; l'Association pour la Sauvegarde du Léman (ASL) de part et d'autre de la frontière franco-suisse (figure 2).



Figure 2. Schéma synthétique de la construction du projet « Stop aux invasives » développé par le COPIL

Le projet est axé sur six espèces invasives. Le choix de ces espèces a été réalisé au regard de leur dynamique, des impacts sur la biodiversité, la santé ou la production agricole qu'elles engendrent, ainsi que de l'importance de l'ancrage de leur système racinaire : les renouées asiatiques, le buddléia de David, la berce du Caucase, le souchet comestible, le bunias d'Orient et les solidages américains.

1.3 Actions des partenaires réalisées dans le cadre du projet

Le projet « Stop aux invasives » vise à apporter une contribution à la lutte contre les PEE via l'expérimentation et l'évaluation de l'impact sur l'environnement de la technique de traitement thermique « profond », ainsi que via la diffusion des différentes expériences des partenaires gestionnaires du projet. Fort de ces objectifs, les partenaires ont ainsi cherché, à travers ce projet, à répondre à des questions de divers ordres :

- **La technique de traitement thermique sur le plan technique et économique :**
Quels sont les enjeux et limites d'utilisation de cette technique ? Quels sont les retours d'expériences à l'issue du projet ? Forts de ces acquis, quelles peuvent être les évolutions possibles pour l'utilisation de cette technique ?
- **La technique de traitement thermique sur le plan fondamental :**
Quels sont les impacts de la technique de traitement thermique profond sur les populations de néophytes, sur la structure de la végétation indigène, sur le sol et ses communautés microbiennes, sur la faune invertébrée ? Que peut apporter le génie végétal dans le processus de reconstitution écosystémique des sites colonisés ?
- **La gestion des invasives :**
Quels sont les retours d'expériences régionaux consécutifs à la mise en place d'une stratégie de lutte contre les PEE ? Comment hiérarchiser ces mesures de lutte ? Quels sont les avantages et inconvénients de chacune de ces mesures ? Est-ce avantageux de combiner certaines mesures ?

Pour répondre à ces questions, le développement du projet s'est construit en sept grands axes¹ :

- **AXE I.** État des lieux régional - Niveaux de dispersion des néophytes sur le territoire - Choix des espèces à traiter
- **AXE II.** Prototype de stérilisation thermique
- **AXE III.** Traitement des invasives, revégétalisation
- **AXE IV.** Suivi scientifique, expérimentation/modélisation des protocoles de génie végétal
- **AXE V.** Suivi diagnostic technique et économique. Transfert vers plan de gestion invasive
- **AXE VI.** Information, éducation, sensibilisation
- **AXE VII.** Management et gestion du projet

Pour chacun de ces axes, des objectifs et des résultats attendus ont été définis. Le présent rapport recueille l'ensemble des actions réalisées dans le cadre du projet pour répondre aux objectifs de ces sept grands axes (détails ci-après et en annexe 1a). Il présente également les retours d'expériences des partenaires après quatre ans de projet.

¹ Par rapport aux axes définis initialement, l'AXE V est un nouvel axe extrait de l'AXE IV qui comprenait à la fois les suivis scientifiques et les suivis diagnostic technique et économique. Cette extraction permet de mieux dissocier deux parties qui traitent de deux sujets différents (un sur les suivis expérimentaux et l'autre sur les stratégies de gestion) traités par des groupes de travaux différents. L'ancien AXE V devient alors l'AXE VI et l'ancien AXE VI devient l'AXE VII.

AXE I. État des lieux régional - Niveaux de dispersion des néophytes sur le territoire - Choix des espèces à traiter

Objectifs

- ▶ Analyser préalablement les conflits d'usages et les convergences des différentes modalités d'éradication, de revégétalisation et de traitement de la biomasse résiduelle
- ▶ Déterminer des modèles de gestion à étudier
- ▶ Déterminer des milieux prioritaires

Résultats attendus

- ▶ Détermination des modes de convergence des différentes techniques d'éradication et de traitement des résidus végétaux
- ▶ Mise en place des cadres de protocoles techniques et de génie végétal pour expérimentations à suivre en année I
- ▶ Choix des sites de projet

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

- le rapport *Gestion des invasives sur le territoire franco-suisse - Etat des lieux des outils et pratiques*
- le corps du présent rapport en PARTIE A - Contexte du développement du projet :
 - Chapitre 1. Introduction - p12
- les annexes du présent rapport : annexe 1a, 2a et 2b

AXE II. Prototype de traitement thermique

Objectifs

- ▶ Construire une 2^{ème} génération d'engins de traitement thermique francosuisse en année I
- ▶ Réaliser un développement technologique et une rationalisation des engins en année II et III
- ▶ Déterminer un modèle économique de dissémination en année III
- ▶ Mettre en place du système de droits à fins de dissémination des séries à l'échéance 2020

Résultats attendus

- ▶ Deux engins construits en année I, puis développés pendant trois ans
- ▶ Un hectare et 50 sites de 200 m² traités et évalués en année II et III
- ▶ Mise en place du process économique et industriel de la présérie en année III
- ▶ Publication du modèle économique et de pré-commercialisation en année III

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

- le corps du présent rapport en PARTIE B – Développement et suivi des techniques de lutte :
 - Chapitre 2. Traitement thermique profond – développement du prototype - p18

AXE III. Traitement des invasives et revégétalisation

Objectifs

- ▶ Mettre en œuvre des opérations intégrées des techniques d'éradication à mettre en œuvre sur les sites
- ▶ Développer des techniques de traitement des résidus végétaux
- ▶ Développer des techniques de génie végétal et des assemblages de végétation adaptés aux sites
- ▶ Réaliser des expérimentations in-situ
- ▶ Réaliser un suivi technique et économique

Résultats attendus

- ▶ Modélisation sur 4 km de rives ou linéaires traitées sur Suisse, autant sur France, de 10 hectares de zones alluviales ou remblais sur Suisse, autant sur France

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

- le corps du présent rapport en PARTIE B – Développement et suivi des techniques de lutte :
 - Chapitre 3. Traitement des invasives et revégétalisation - **p21**
- les annexes du présent rapport : annexes 1b, 1c, 4, 5, 12 et 13

AXE IV. Suivi scientifique, expérimentation/modélisation des protocoles de génie végétal

Objectifs

- ▶ Réaliser un suivi scientifique des différents protocoles techniques de traitement
- ▶ Réaliser un suivi scientifique botanique, faunistique et pédologique des sites pilotes
- ▶ Réaliser un suivi botanique et protocoles des sites de dissémination

Résultats attendus

- ▶ Conventions de sites et fiches de traçabilité
- ▶ Publication des protocoles de suivis et des designs expérimentaux, modélisation scénarios des plans de gestion
- ▶ Evaluation écologique et protocoles pour transfert aux plans de gestion de lutte et de revégétalisation
- ▶ Evaluation et modélisation économique pour transfert aux plans de gestion
- ▶ Publication des modèles écologique et économique de traitement adaptés aux différents milieux

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

- le corps du présent rapport en PARTIE C - Suivis scientifiques des sites expérimentaux « traités thermiquement »
 - Chapitre 4. Expérimentation et suivis scientifiques - **p82**
- les annexes du présent rapport : annexes 3, 7, 8, 9, 10 et 14

AXE V. Suivi diagnostic technique et économique. Transfert vers plan de gestion invasive

Objectifs

- ▶ Développer un plan de gestion et une stratégie de gestion contre les PEE sur les territoires des partenaires / gestionnaires
- ▶ Mener un ensemble d'actions de lutte reprenant les techniques principales du projet
- ▶ Réaliser un suivi des sites traités sur les territoires de gestion et présenter les résultats
- ▶ Effectuer une synthèse des retours d'expérience des partenaires/gestionnaires

Résultats attendus

- ▶ Transfert et intégrations des modèles vers les plans de gestion des gestionnaires
- ▶ Synthèse critique des expérimentations et autres techniques de lutte à 4 ans de projet
- ▶ Communication auprès des gestionnaires sur les bonnes pratiques (techniques et choix des traitement), transfert vers les plans de gestion

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

→ le corps du présent rapport en PARTIE D - Développement des stratégies de gestion :

- Chapitre 5. Suivi diagnostic technique et économique. Transfert vers un plan de gestion des invasive - p129

AXE VI. Information, éducation, sensibilisation, éducation

Objectifs

- ▶ Communiquer auprès des gestionnaires sur les bonnes pratiques
- ▶ Mener des actions de sensibilisation, d'éducation et de formation des acteurs, maitres ouvrages et propriétaires fonciers de la zone transfrontalière
- ▶ Sensibiliser les acteurs économiques, techniques et professionnels

Résultats attendus

- ▶ Communication professionnelle et maitrise d'ouvrage en années II et III, site, fiches techniques
- ▶ Sensibilisation propriétaires, usagers fonciers, habitants et acteurs économiques, site, brochures
- ▶ Publication des protocoles, des référentiels techniques, cahier pédagogique en année II et III
- ▶ Séminaires de dissémination en année II et III
- ▶ Colloque scientifique en année III
- ▶ Actions de sensibilisation, d'éducation et de formation des acteurs, maitres ouvrages et propriétaires

Les résultats de cet axe sont présentés dans :

→ le corps du présent rapport en PARTIE D - Développement des stratégies de gestion :

- Chapitre 6. Information, sensibilisation, formation, éducation - p150

PARTIE B – Développement et suivi des techniques de lutte

2 Traitement thermique profond – développement du prototype

2.1 Évolution du prototype – développement technologique

Depuis 1981, ELTEL SA est une entreprise familiale active dans l'entretien de zones naturelles humides. Sur le terrain, au contact des enjeux écologiques et des contraintes techniques, l'entreprise suisse innove pour trouver des solutions adaptées et efficaces. Les machines sont ainsi construites, développées et améliorées dans les ateliers de l'entreprise. En 2014, ELTEL se lance le défi de développer une technologie innovante afin de lutter contre les néophytes sans produit chimique.

L'équipe d'ELTEL s'investit et imagine des solutions en partant de l'existant : une méthode de stérilisation des sols utilisée dans le maraîchage. Elle emprunte une vieille machine auprès d'un voisin pour les premiers essais. Il s'agit d'une « cloche » reliée à une citerne pour l'alimentation en eau. Cette dernière est chauffée grâce à un moteur volumineux. L'eau chaude arrive dans la cloche qui diffuse la vapeur et maintient la chaleur en surface. L'installation est conséquente, peu mobile et ne convainc pas vraiment. Des essais sont effectués sur du solidage avec le nettoyeur haute pression de l'atelier.

Ces premiers essais ont permis de définir le cahier des charges de la future machine. Si l'on veut traiter les renouées asiatiques notamment, il faut être capable d'aller en profondeur, la machine doit être mobile et adaptée aux terrains accidentés. Il serait intéressant de laisser le sol en place afin de diminuer les risques de contamination lors des mouvements de terre. Forts de ces premières réflexions, il est décidé d'effectuer des essais plus significatifs avec du matériel répondant à la majorité des points évoqués précédemment : traiter en profondeur, être mobile, ne pas déplacer les terres. L'entreprise investit donc dans du matériel pour mener à bien des essais « réalistes ».

Les premiers tests ont été effectués avec plusieurs éléments techniques permettant d'obtenir de l'eau à 140°C et 450 bar afin de l'injecter dans le sol (figure 3). La pique d'injection a été construite dans l'atelier de la société. L'investissement total des premiers essais se chiffre à 200 000 CHF. Les travaux avec cette installation ont mis en évidence les problématiques techniques à améliorer. Au niveau du travail sur le terrain, s'agissant d'une innovation, aucune littérature n'était disponible. Il a donc fallu imaginer les meilleures conditions : période de l'année, durée de l'injection, profondeur, espacement entre les injections. Ces conditions d'injection ont donc été calibrées de manière empirique par les concepteurs.



Figure 3. Premier prototype de machines adaptées à la méthode de lutte thermique

Le Canton de Vaud a décidé de soutenir ces premières expérimentations en engageant un bureau d'étude pour assurer le suivi biologique des essais (Golay & Stuber, 2017). Les premiers résultats, au niveau de l'éradication des invasives, ont montré que la technique était prometteuse. Forts de ces observations, l'entreprise a eu besoin de soutien financier pour investir dans le développement d'une machine plus professionnelle. Face aux défis de cette innovation, la constitution du projet Interreg « Stop aux invasives » est apparue comme une opportunité pour la PME suisse. En effet, cela permettait de conduire des essais à grande échelle, de réunir des acteurs de différents horizons et de garantir un suivi scientifique pertinent : « tout seul on va plus vite, ensemble, on va plus loin ».

A partir du moment où Cyril Blondet, fondateur de la société ERM, s'est investi dans cette aventure et que le projet Interreg a été accepté, un prototype a été développé. L'année 2018 a permis le développement technologique d'une machine en vue de son utilisation en 2019. En effet, les données et l'expérience acquise depuis 2015 ont permis de dessiner la nouvelle machine. Ce qui était, dans la phase d'essai, un assemblage complexe de machines et d'outils est analysé et réfléchi de façon à rendre l'installation fonctionnelle.

Pour ce faire, ELTEL a eu plusieurs échanges avec les concepteurs qui sont venus voir le fonctionnement du prototype. L'équipe d'ELTEL s'est aussi rendue à l'usine des concepteurs en Belgique pour s'assurer que la construction corresponde bien aux attentes et aux besoins de l'entreprise. Le dispositif de chauffe est assemblé dans une remorque compacte et mobile, pouvant être tracté par une camionnette. La deuxième camionnette permet de transporter la pelle hydraulique d'une largeur de 1,5 m et munie d'un marteau hydraulique pour pénétrer le sol avec la pique d'injection. Au niveau de l'injection, un travail de développement important a été mené pour que la pique résiste aux forces en présence : pression et chaleur. Ces contraintes sont telles que l'outil doit être moulé. L'intégration des buses fait aussi l'objet d'un savoir-faire spécifique. Le prototype de deuxième génération est né. **Ce dispositif permet de traiter les invasives dans des terrains relativement plats** (ou terrain régulier avec une pente maximum de 20%) **avec un accès véhicule à maximum 200 m** (figure 4).



Figure 4. Prototype deuxième génération pour la lutte thermique contre les PEE

2.2 Détermination des modèles économiques en levier des plans de gestion

En tant qu'entreprises privées, ELTEL et ERM ont défini un modèle économique intégrant l'investissement, l'amortissement et les coûts des consommables ainsi que ceux des hommes (tableau 1).

Tableau 1. Modalités du traitement thermique utilisées dans le cadre du projet « Stop aux invasives »

Modalités du traitement thermique utilisées										
Ressources	Coût par jour	Plantes concernées	Température	Distance entre les injections	Durée par injection	Profondeur	Volume d'eau	Surface traitée par jour	Coût moyen au m ² FR	Coût moyen au m ² CH
1.Pelle retro 1.Chauffage/pression 2.Camionnette-remorque 2.Hommes	CH : 3500 CHF FR : 2500 EUR	Renouées asiatiques Solidages américains Buddléia de David Berce du Caucase Souchet comestible Bunias d'Orient	140°C	30 cm	1 min.	30 cm ¹ 50 cm	255 litres/m ²	40 m ²	62,5 EUR	80 CHF
¹ pour le traitement des solidages américains										

2.3 Mise en place du système de droits afin de protection des partenaires

En 2019, ELTEL SA et ERM ont signé un contrat de Joint-Venture précisant les termes de leur partenariat dans le cadre du projet « Stop aux invasives ». Ce contrat a été rédigé auprès d'un avocat spécialiste. L'objectif principal étant de définir les termes de la collaboration pour mettre à la disposition de l'autre partenaire l'expertise technique et professionnelle de chacun en vue d'expérimenter la technologie développée par ELTEL SA.

2.4 Perspectives de la machine de traitement thermique

Un développement futur envisagé est de rendre ce dispositif plus adéquat aux types des terrains envahis : bords de cours d'eau en pente, éloignés d'une voie de circulation. L'idée serait de travailler avec une pelle araignée pour accéder aux terrains très pentus et de compacter les chaudières sur un véhicule tout terrain. De plus, il est impératif de travailler à la diminution de la consommation d'eau et à l'optimisation des émissions de carbone. La réduction du diamètre des buses d'injection permettrait de diminuer la quantité d'eau nécessaire pour un même traitement. Le réchauffement de l'eau avec une énergie renouvelable permettrait également d'améliorer le bilan énergétique de la machine.

D'autres réflexions ont été menées pour utiliser plusieurs piques d'injection pour une même machine (jusqu'à 4 piques) pour traiter des plus grandes surfaces en une même journée d'intervention, ainsi que pour maintenir la température du sol traité avec par exemple des bâches isothermes.

Comme souligné précédemment, aucune littérature n'était disponible sur la meilleure manière de traiter les néophytes sur le terrain. Ce processus d'injection a donc été optimisé au cours du projet sur la base du suivi scientifique. En fonction des résultats scientifiques, la méthode a été ajustée.

3 Traitement des invasives et revégétalisation

3.1 Test des techniques de lutte et suivi des sites

Une des volontés du projet « Stop aux invasives » est de multiplier et diversifier les techniques et typologies de sites traités en vue d'enrichir les retours d'expériences sur la lutte contre les PEE sur le territoire franco-suisse. Dans ce cadre, un ensemble de sites et de techniques a été défini par les partenaires. Les différentes actions ont ainsi impliqué une multitude de gestionnaires.

3.1.1 Méthode de suivi et typologie des sites

Les sites « traités thermiquement », soit où la machine de lutte thermique a été testée, ont été distingués des sites « traités non thermiquement ». Pour ces derniers, huit autres techniques de lutte ont été testées : arrachage, fauche, coupe-dessouchage-broyage, criblage-concassage, bâchage, pâturage, décapage et végétalisation. Ces différentes techniques et leurs combinaisons ont permis de tester plusieurs modalités de traitement. On distingue ainsi :

Les sites traités thermiquement

- Traitement thermique seul
- Traitement thermique combiné avec une ou plusieurs techniques non thermiques

Les sites traités non thermiquement

- Technique non thermique seule
- Technique non thermique combinée avec une ou plusieurs techniques non thermiques

Parmi les techniques non thermiques testées et combinées, la végétalisation est une technique de post-traitement utilisée pour accélérer le retour des végétations indigènes des sites infestés (chapitre 3.2). On utilise également la fauche, l'arrachage et/ou le bâchage en combinaison (tableau 2).

Tableau 2. Combinaisons de techniques testées dans le cadre du projet par ordre d'intervention

1 ^{ère} intervention	2 ^{ème} intervention	3 ^{ème} intervention	4 ^{ème} intervention
Traitement thermique (t1)	+ fauche (t3)		
	+ arrachage (t2)		
	+ arrachage (t2)	+ végétalisation (t9)	
	+ arrachage (t2)	+ bâchage (t6)	+ végétalisation (t9)
	+ végétalisation (t9)		
	+ végétalisation (t9)	+ arrachage (t2)	
	+ végétalisation (t9)	+ fauche (t3)	
Traitement non thermique	+ bâchage (t6)	+ arrachage (t2)	
	fauche (t3)	+ arrachage (t2)	
		+ bâchage (t6)	+ arrachage (t2)

Parmi les sites traités thermiquement, on distingue trois catégories de sites, définies dans le chapitre 4.1 : les sites pilotes (**4 sites**), les sites compartimentés (**6 sites**) et les sites tests (**28 sites**). Les sites pilotes et une partie des sites compartimentés bénéficient d'un suivi scientifique complet détaillé dans le chapitre 4. Par ailleurs, un échantillon de sites compartimentés (**4 sites**), de sites tests (**16 sites**), de sites traités non thermiquement (**12 sites**), ainsi que les sites pilotes **bénéficient de retours d'expérience (REX)** (tableau 3 & figure 5). Dans le cadre du projet, le traitement thermique a été testé sur la berce du Caucase, le buddléia de David et le souchet comestible au sein des sites tests, sur les solidages américains au sein des sites tests et compartimentés, ainsi que sur les renouées asiatiques pour toutes les catégories de sites traités

thermiquement. Par ailleurs, le criblage-concassage, le bâchage et le pâturage ont été testés exclusivement sur les renouées asiatiques, le décapage sur les solidages américains et les techniques de coupe-dessouchage-broyage sur le buddléia de David. En outre, l'arrachage a été testé sur les renouées asiatiques, les solidages américains, la berce du Caucase et le buddléia de David. La fauche et la végétalisation ont été testées sur les renouées asiatiques et les solidages américains. La végétalisation a aussi été testée sur le buddléia de David. Le bunias d'Orient a été traité ponctuellement, mais n'entre pas dans un site ayant bénéficié de suivi (tableau 3).

Tableau 3. Catégorisation des sites et méthode de suivi définis dans le cadre du projet

	Technique testée	Espèces concernées	Type de site
Sites traités thermiquement	t1. Traitement thermique (combinée ou non avec fauche, arrachage, bâchage et/ou végétalisation)	Renouées asiatiques	Sites pilotes
		Renouées asiatiques et solidages américains	Sites compartimentés
		Renouées asiatiques, solidages américains, berce du Caucase, buddléia de David et souchet comestible	Sites tests
Sites traités non thermiquement	t2. Arrachage (seul ou combiné)	Renouées asiatiques, solidages américains, berce du Caucase et buddléia de David	Sites traités non thermiquement
	t3. Fauche (seule ou combinée)	Renouées asiatiques et solidages américains	
	t4. Coupe-dessouchage-broyage	Buddléia de David	
	t5. Criblage-concassage	Renouées asiatiques	
	t6. Bâchage (seul ou combiné)	Renouées asiatiques	
	t7. Pâturage	Renouées asiatiques	
	t8. Décapage	Solidages américains	
	t9. Végétalisation (combinée)	Renouées asiatiques, solidages américains, et buddléia de David	

Le succès du test des techniques et de leur combinaison est mesuré grâce à quatre méthodes d'évaluation quantitatives et/ou qualitatives :

• **Évaluation qualitative de la réussite globale** : évaluation qualitative simplifiée de la reprise de l'espèce EE cible, standardisé en 4 catégories :

- **Pas de reprise** : éradication totale du foyer de PEE, pas de reprise de pieds observée
- **Reprise partielle** : éradication partielle du foyer de PEE, diminution de son recouvrement
- **Foyer stable** : absence d'évolution du foyer de PEE
- **Foyer en augmentation** : expansion du foyer de PEE

• **Évaluation semi-quantitative du taux de réussite globale** : évaluation de l'amélioration globale de la naturalité du milieu en référence aux objectifs fixés par le gestionnaire pour le site concerné (par exemple éradication ou stabilisation). Cette valeur, sur une échelle semi-quantitative (0, 10%, 20%... à 100%), prend en compte plusieurs paramètres, tels que la régression des PEE (espèce cible et autres) et/ou le retour de la végétation autochtone.

• **Suivi floristique (complet ou précis)** : analyse quantitative de l'évolution de l'espèce EE cible par rapport aux autres espèces, selon deux méthodes distinctes (recouvrements - R et points contacts – PC) présentées dans le chapitre 4.2.6. L'efficacité des mesures est une valeur entre 0 et 100%, calculée selon le rapport de l'invasion de l'espèce cible (recouvrement PEE / recouvrement total de la végétation) à l'état initial (T0) et à l'état final. La précision de l'estimateur est variable : +/-1% pour la méthode PC et de l'ordre de +/-20% pour la méthode R du fait des classes de recouvrement. L'invasion résiduelle correspond au pourcentage de recouvrement de la PEE cible sur la surface du site à l'état final. L'évolution de la richesse spécifique représente l'évolution du nombre d'espèces constatées entre les états initial et final (indigènes et exotiques confondues). Les résultats qualitatifs (dominance des espèces) ne sont disponibles que pour les sites pilotes au suivi détaillé.

• **Suivi scientifique (complet ou précis)** : analyse des températures, bactéries, champignons, entomofaune, structure du sol et flore (chapitre 4). Le choix des méthodes dépend du type de site : les sites pilotes bénéficient d'un suivi scientifique complet et d'un suivi floristique précis, une partie des sites compartimentés bénéficient d'un suivi floristique précis et une partie des sites tests et des sites traités non thermiquement bénéficient d'un suivi floristique simplifié. La totalité des sites a bénéficié d'une évaluation qualitative de la réussite des techniques sur les foyers de PEE. Par ailleurs, les sites pilotes, un échantillon de sites compartimentés (**4 sites**), de sites tests (**16 sites**) et de sites non traités thermiquement (**12 sites**) bénéficient d'une évaluation semi-quantitative de la réussite des techniques sur les foyers de PEE, présentée dans les fiches de retours d'expérience (REX) (annexe 1c, annexe 3 & figure 5). Parmi le total de **132 sites**, on compte **36 sites bénéficiant de fiches REX, soit un échantillon de 27% des sites.**

		Sites non traités thermiquement	Sites traités thermiquement		
			Sites tests	Sites compartimentés	Sites pilotes
		94 sites	28 sites	6 sites	4 sites
Suivi scientifique complet		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
					tous les sites
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
				3 sites (REX)	tous les sites
Suivi floristique simplifié		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2 sites (REX)			
Evaluation de la réussite globale	Semi-Quantitatif	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Qualitatif	tous les sites	tous les sites	tous les sites	tous les sites
		12 sites (REX)	16 sites (REX)	4 sites (REX)	

Figure 5. Méthodes de suivi mises en œuvre pour les différentes catégories de sites traités

Les résultats du suivi des sites et les retours d'expériences des partenaires sont documentés :

- dans les **chapitres 3.1.2, 3.1.3, et 3.1.4** pour les sites n'ayant pas bénéficié de suivis détaillés ;
- dans le **chapitre 4.2** pour les sites ayant bénéficié de suivis scientifiques détaillés, **p84** ;
- dans le **chapitre 5.2** pour des sites dont les gestionnaires ont établi un plan de gestion, **p137** ;
- dans le **chapitre 5.3** pour l'ensemble des sites, dans une synthèse des retours d'expériences, **p148** ;
- en **annexe 3** pour les sites bénéficiant d'une fiche de retours d'expériences (REX).

3.1.2 Matériel et mise en œuvre du traitement des sites

On compte un total de **132 sites** où ont été testées neuf techniques et des combinaisons de techniques sur une surface totale de **82 292 m²**.

Sites traités thermiquement : la technique de traitement thermique est testée sur **38 sites**, soit **19 sites** en Suisse et **19 sites** en France (tableau 5 & tableau 6). Une surface totale de **47 860 m²** a été traitée. Sur l'ensemble de ces sites, la technique de traitement thermique seule a été testée sur **18 sites**, elle a été combinée avec d'autres techniques sur **18 autres sites** (figure 6 & figure 7).

Sites traités non thermiquement : les huit techniques de traitements non thermique ont été testées sur **94 sites**, soit **21 sites** en Suisse et **73 sites** en France (tableau 5 & tableau 6). Une surface totale de **34 432 m²** a été traitée. Sur l'ensemble de ces sites, les techniques ont été testées seules sur **73 sites** et combinées sur **21 autres sites** (figure 6 & figure 7).

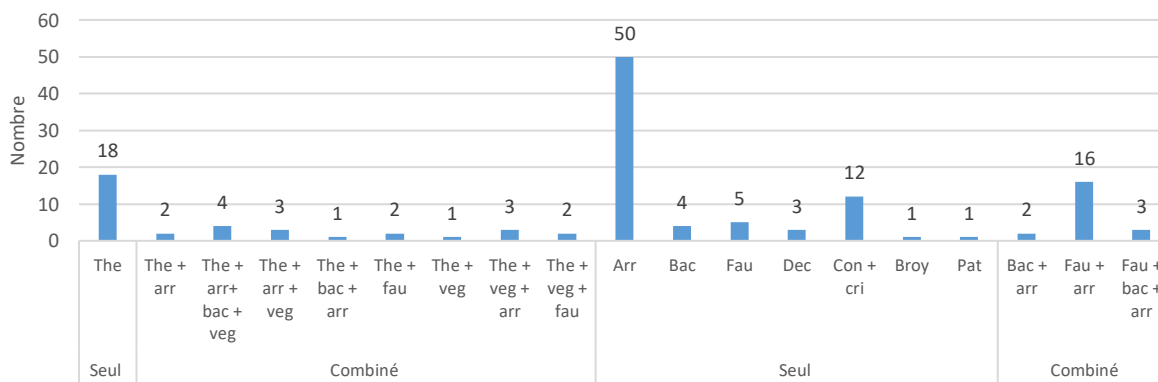


Figure 6. Nombre de sites testés par modalité de traitement

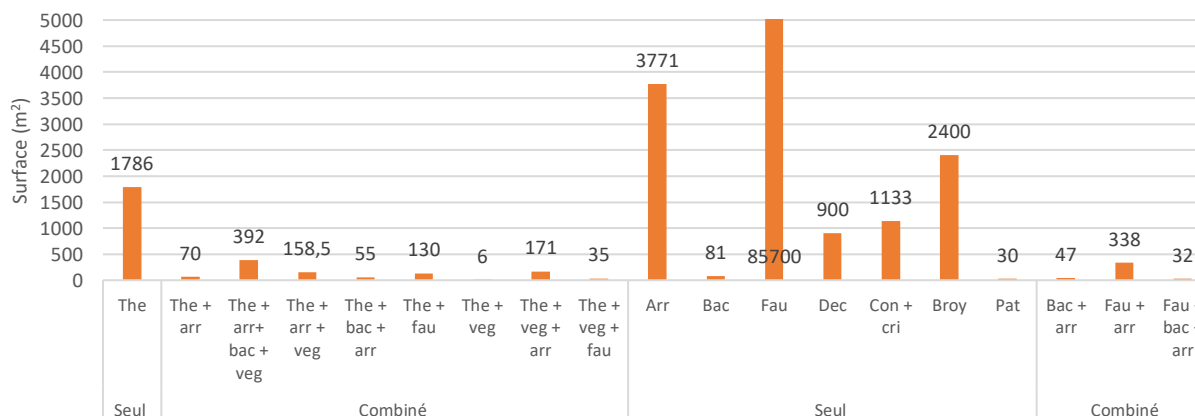


Figure 7. Surface cumulées des sites testés par modalité de traitement

Légende : **The** : traitement thermique (t1) - **Arr** : arrachage (t2) - **Bac** : bâchage (t3) - **Broy** : broyage (t4) - **Dec** : décapage (t5) - **Con + cri** : criblage-concassage (t6) - **Pat** : pâturage (t7) - **Fau** : fauche (t8) - **Veg** : végétalisation (t9)

Les sites sont répartis de part et d'autre de la frontière franco-suisse : sur les cantons de Genève, de Vaud, du Valais et de Neuchâtel côté suisse et sur le département de la Haute-Savoie côté français (tableau 4, figure 8 & figure 9). Les gestionnaires suisses impliqués dans le traitement de ces sites sont : les communes d'Ollon et de Noville (canton de Vaud), l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN) du canton de Genève, le Service de la faune des forêts et de la nature (SFFN) du canton de Neuchâtel, le Service des forêts, des cours d'eau et du paysage (SFCEP) du Canton de Valais, les Directions générales de l'environnement division biodiversité et paysage (DGE-BIODIV) et de la forêt (DGE-Forêt), ainsi que la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires (DGAV) du canton de Vaud. Les gestionnaires français impliqués sont : le Syndicat de rivières les Usses (Syr'Usses), la communauté de communes du Genevois (CCG), la Communauté de communes du pays de Cruseilles (CCPC), la Communauté de communes du pays de Gex (CCPG), le Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses affluents (SM3A), Thonon agglomération, le Conseil départemental de la Haute-Savoie (CD74), la Compagnie nationale du Rhône (CNR) et le Syndicat mixte du lac d'Annecy (SILA). En outre, l'Association pour la sauvegarde du Léman (ASL) est un gestionnaire franco-suisse. D'autres zones ont été traitées dans le cadre du projet. Ces dernières traitent des techniques et/ou espèces autres que celles présentées et/ou n'ont pas bénéficiées de suivi. Elles seront présentées ponctuellement dans les retours d'expériences des partenaires.

Tableau 4. Ensemble des techniques testées dans le cadre du projet, gestionnaires et sites associés

Technique	Gestionnaires	Sites associés	
		Techniques seules	Combinaisons de techniques
t1. Traitement thermique	Genève / OCAN, CCPG, Neuchâtel / SFFN, Neuchâtel / SFFN, Neuchâtel / SFFN, Commune Ollon, Privé, SM3A, ASL, Syr'Usses, CCPC, CNR, SILA, CD74, Vaud / DGE-Biodiv, Valais / SFCEP, Vaud / DGE-Forêt	GE004, GE006, GX001, NE002 ^{rex} , NE004 ^{rex} , NE005, OL002C ^{rex} , OL003, pr001, SA001, SL001 ^{rex} , SU022-1 ^{rex} , SU030, VD001, VD002, VD008 ^{rex} , VD016, DF002,	SU004-2 ^{rex} , SU020 ^{rex} , SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} , SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} , SU_P2 ^{rex} , SU021C, SU022-2C, SU007 ^{rex} , SU003 ^{rex} , SU004-1 ^{rex} , SU008 ^{rex} , SU005 ^{rex} , SU023 ^{rex}
t2. Arrachage	CCG, Syr'Usses, CCPC, CNR, SILA, ASL, Vaud / DGE-Biodiv, Valais / SFCEP,	SU AC1, SU F8, SU F9, SU U2, SU U20, SU U3, SU U4, SU FORNANT, SU USSES 1, SU FORNANT, SU USSES 2, SU USSES 3, SU025-HM ^{rex} , CG 1057, CG 1075, CG 138 ^{rex} , CG 1949, CG 2000 ^{rex} , CG 2386, CG 2445, CG 2542, CG 2547, CG 2548, CG 2553, CG 307, CG 4001 ^{rex} , CG 4022, CG 4024, CG 4025 ^{rex} , CG 5001, CG 5002, CG 5009, CG 5010, CG 5011, CG 696, CG 952, SL 10401, SL 10501, SL 10502, SL 10510 ^{rex} , SL 10520 ^{rex} , SL 10904, SL 10910, SL 23001 ^{rex} , SL 21822, SL 23508, SL 22404, SL 23102, SL 41509, SL 41201 ^{rex}	SU CS12, SU SC1, SU C6, SU CS10, SU CS11, SU CS2, SU M11, SU M2, SU M3, SU M4, SU M5, SU M6, SU M7, SU M8, SU M9, SU S1, SU S9, CG 597, SU C2, SU CS6_a, SU CS9, SU004-2 ^{rex} , SU020 ^{rex} , SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} , SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} , SU_P2 ^{rex}
t3. Fauche	Syr'Usses, ELTEL	EL GB1, EL GB2, EL GB3, EL GB4, EL Pe2	SU C6, SU CS10, SU CS11, SU CS2, SU M11, SU M2, SU M3, SU M4, SU M5, SU M6, SU M7, SU M8, SU M9, SU S1, SU S9, CG 597 ^{rex} , SU C2, SU CS6_a, SU CS9, SU021C, SU022-2C
t4. Coupe, dessouchage et broyage	ELTEL	EL Pe1	
t5. Criblage-concassage	CCG, Syr'Usses, ELTEL	SU U8, CG 1550, CG 1892, CG 437, CG 594, CG 596, CG 761, CG 810, CG 811, CG 830, CG 831 ^{rex} , EL Va2, CG 138 ^{rex}	
t6. Bâchage	CCG, Syr'Usses	CG 296, CG 309, CG 4002, CG 4023	SU_P2 ^{rex}
t7. Pâturage	Syr'Usses	SU011-HM ^{rex}	
t8. Décapage	ELTEL	EL BM1, EL BM2, EL BM3	
t9. Végétalisation	Syr'Usses, Vaud / DGE-Biodiv, Valais / SFCEP, CNR, CCPC	SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} , SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} , SU003 ^{rex} , SU004-1 ^{rex} , SU008 ^{rex} , SU005 ^{rex} , SU023 ^{rex}	

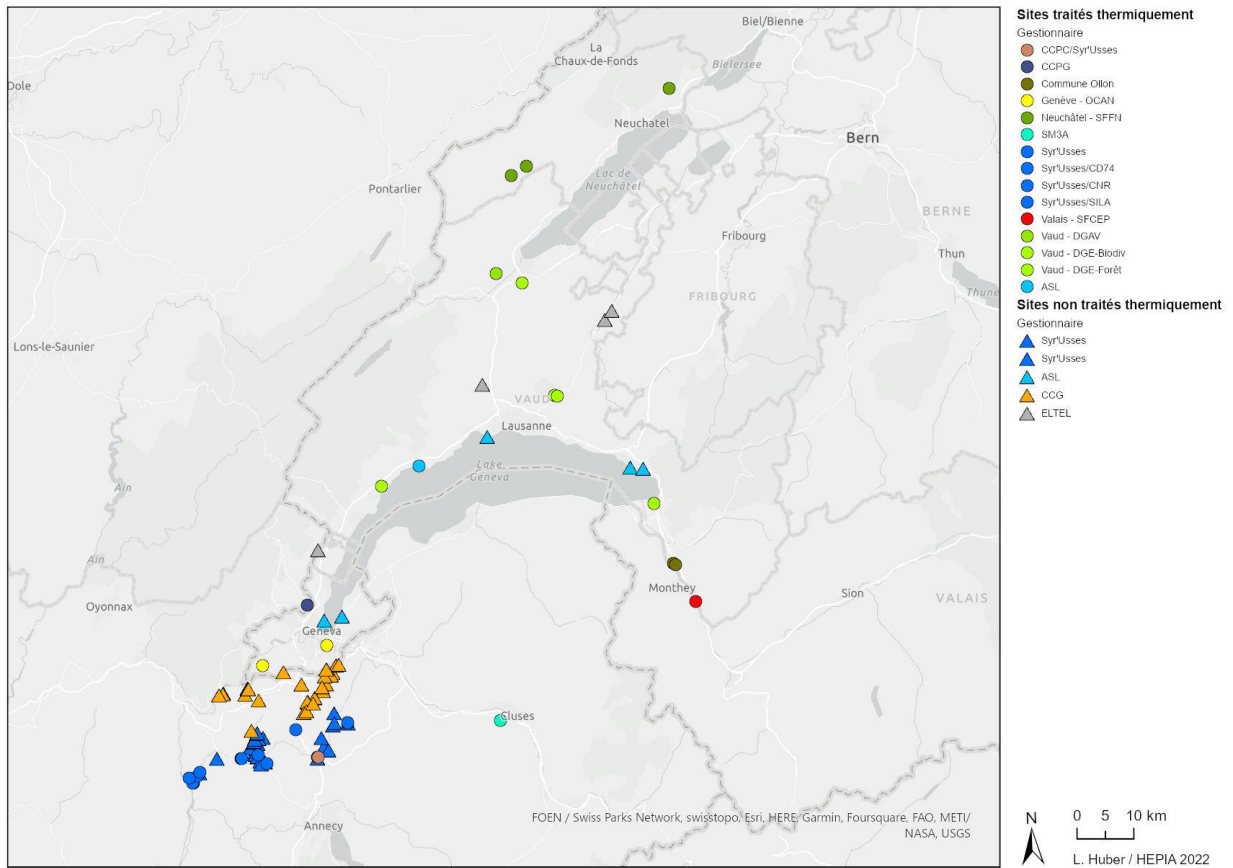


Figure 8. Carte de répartition des sites du projet en France et en Suisse par gestionnaire

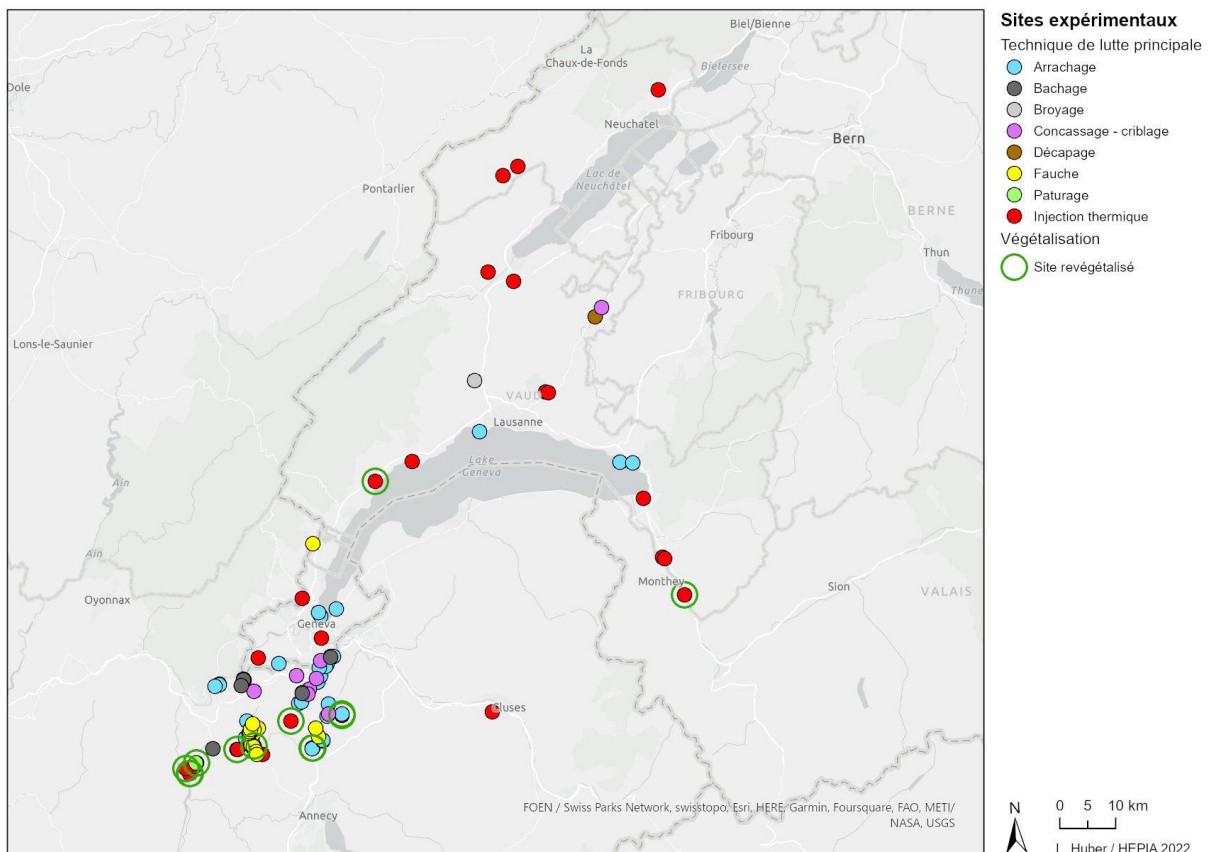


Figure 9. Carte de répartition des sites du projet en France et en Suisse par technique

Tableau 5. Liste et caractéristiques des sites traités thermiquement - REX : Site avec fiche REX

Sites traités thermiquement					
Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Type de milieu	Post-traitement
Genève / OCAN					
GE006	Genève (CH)	Renouées	142 m ²	Friche urbaine	Non
GE004	Avully (CH)	Renouées	26 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Non
CCPG					
GX001	Gex (FR)	Solidages	160 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Non
Neuchâtel / SFFN					
NE002 ^{REX}	Saint-Blaise (CH)	Solidages	69 m ²	Talus routier et ferroviaire	Non
NE004 ^{REX}	Val-de-Travers (CH)	Berce du Caucase	150 m ²	Forestier	Non
NE005	Val-de-Travers (CH)	Renouées	170 m ²	Agricole	Non
Commune d'Ollon					
OL002C	Ollon (CH)	Solidages	434 m ²	Forestier	Non
OL003	Ollon (CH)	Renouées	40 m ²	Forestier	Non
Privé					
pr001	Contamines-sur-Arve (FR)	Renouées	70 m ²	Agricole	Non
SM3A					
SA001	Sconzier (FR)	Renouées	112 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Non
ASL					
SL001 ^{REX}	Allaman (CH)	Renouées	68 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Non
Syr'Usses (co-géré avec : ¹ CCPC / ² CNR / ³ CD74 / ⁴ SILA)					
SU_P1	Desingy (FR)	Renouées	99 m ²	Agricole	Arrachage et végétalisation
SU_P2	Musièges (FR)	Renouées	55 m ²	Agricole	Bâchage et arrachage
¹ SU002-1 ^{REX}	Allonzier la Caille (FR)	Renouées	5,5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage et végétalisation
¹ SU002-2 ^{REX}	Allonzier la Caille (FR)	Renouées	54 m ²	Forestier	Arrachage et végétalisation
SU003 ^{REX}	Contamine Sarzin (FR)	Renouées	126 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Végétalisation et arrachage
SU004-1 ^{REX}	Copponex (FR)	Renouées	35 m ²	Agricole	Végétalisation et arrachage
SU004-2 ^{REX}	Copponex (FR)	Berce du Caucase	35 m ²	Agricole	Arrachage
² SU005 ^{REX}	Bassy (FR)	Buddléia	20 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Végétalisation et fauche
SU007 ^{REX}	Menthonex en Bornes (FR)	Solidages	6 m ²	Agricole	Végétalisation
SU008 ^{REX}	Menthonex en Bornes (FR)	Solidages	10 m ²	Agricole	Végétalisation et arrachage

Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Type de milieu	Post-traitement
² SU009 ^{REX}	Bassy (FR)	Renouées	170 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Végétalisation, arrachage et fauche
⁴ SU020 ^{REX}	Sallenôves (FR)	Renouées	35 m ²	Friche urbaine	Arrachage
⁴ SU021C	Sallenôves (FR)	Solidages	100 m ²	Agricole	Fauche
³ SU022-1 ^{REX}	Seyssel (FR)	Renouées	40 m ²	Talus routier et ferroviaire	Non
³ SU022-2C	Seyssel (FR)	Solidages	30 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche
SU023 ^{REX}	Bassy (FR)	Renouées	15 m ²	Talus routier et ferroviaire	Végétalisation et fauche
SU030	Musièges (FR)	Renouées	13 m ²	Friche urbaine	Non
Vaud (¹ DGE-Biodiv / ² DGE-Forêt) / Valais ³ SFCEP)					
¹ VD P2 ^{REX}	Dully (CH)	Renouées	40 m ²	Agricole	Arrachage, bâchage et végétalisation
¹ VD001	Lausanne (CH)	Renouées	33 m ²	Talus routier et ferroviaire	Non
¹ VD002	Lausanne (CH)	Renouées	34,5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Non
¹ VD008 ^{REX}	Noville (CH)	Buddléia	226 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Non
¹ VD015C ^{REX}	Dully (CH)	Renouées	157 m ²	Agricole	Bâchage, arrachage, fauche et végétalisation
¹ VD016	Suscévaz (CH)	Souchet	42,5 m ²	Agricole	Non
² DF002	Gressy (CH)	Renouées	33 m ²	Talus routier et ferroviaire	Non
³ VS_P1 ^{REX}	Massongex (CH)	Renouées	40 m ²	Agricole	Arrachage, bâchage et végétalisation
³ VS006C ^{REX}	Massongex (CH)	Renouées	142 m ²	Agricole	Bâchage, arrachage, fauche et végétalisation
³ VS006-2C ^{REX}	Massongex (CH)	Renouées	142 m ²	Agricole	Arrachage, bâchage et végétalisation

Tableau 6. Liste et caractéristiques des sites traités non thermiquement - REX : Site avec fiche REX

Sites traités non thermiquement					
Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Occupation du sol	Modalité technique
ASL					
SL 10401	Cologny (CH)	Renouées	38 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10501	Genève (CH)	Renouées	3 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10502	Genève (CH)	Renouées	51 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10510 ^{REX}	Genève (CH)	Renouées	197 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10520 ^{REX}	Genève (CH)	Renouées	20 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10904	Versoix (CH)	Renouées	14 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 10910	Versoix (CH)	Renouées	12 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 23001 ^{REX}	La-Tour-de-Peilz (CH)	Renouées	98 m ²	Autre	Arrachage
SL 21822	Saint-Sulpice (CH)	Renouées	47 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 23508	Ecublens (CH)	Renouées	10 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 22404	Puidoux (CH)	Renouées	94 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 23102	Montreux (CH)	Renouées	1037 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 41509	Chens-sur-leman (CH)	Renouées	145 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SL 41201 ^{REX}	Yvoire (CH)	Renouées	31 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CCG					
CG1057	Collonges-sous-Salève (FR)	Renouées	6 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG1075	Collonges-sous-Salève (FR)	Renouées	5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG138 ^{REX}	Archamps (FR)	Renouées	10 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG1550	Neydens (FR)	Renouées	10 m ²	Autre	Criblage-concassage
CG1892	Presilly (FR)	Renouées	140 m ²	Talus routier et ferroviaire	Criblage-concassage
CG1949	Presilly (FR)	Renouées	50 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG2000 ^{REX}	Saint-Julien-en-Genevois (FR)	Solidages	100 m ²	Zone agricole	Arrachage
CG2386	Savigny (FR)	Renouées	1 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG2445	Valleiry (FR)	Renouées	5 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
CG2542	Valleiry (FR)	Buddléia	3 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG2547	Valleiry (FR)	Renouées	3 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG2548	Valleiry (FR)	Renouées	3 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG2553	Valleiry (FR)	Solidages	20 m ²	Friche urbaine	Arrachage

Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Occupation du sol	Modalité technique
CG296	Beaumont (FR)	Renouées	15 m ²	Talus routier et ferroviaire	Bâchage
CG307	Beaumont (FR)	Renouées	3 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG309	Beaumont (FR)	Renouées	5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Bâchage
CG4001 ^{REX}	Valleiry (FR)	Renouées	1 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG4002	Valleiry (FR)	Renouées	1 m ²	Friche urbaine	Bâchage
CG4022	Beaumont (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG4023	Beaumont (FR)	Renouées	60 m ²	Talus routier et ferroviaire	Bâchage
CG4024	Neydens (FR)	Renouées	15 m ²	Autre	Arrachage
CG4025 ^{REX}	Neydens (FR)	Renouées	140 m ²	Autre	Arrachage
CG437	Beaumont (FR)	Renouées	20 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG5001	Bossey (FR)	Renouées	8 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG5002	Bossey (FR)	Renouées	80 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG5009	Chevrier (FR)	Solidages	300 m ²	Zone agricole	Arrachage
CG5010	Etrembières (FR)	Renouées	10 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG5011	Valleiry (FR)	Solidages	50 m ²	Friche urbaine	Arrachage
CG594	Bossey (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG596	Bossey (FR)	Renouées	500 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG597 ^{REX}	Bossey (FR)	Renouées	80 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
CG696	Bossey (FR)	Renouées	90 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
CG761	Chenex (FR)	Renouées	15 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG810	Chevrier (FR)	Renouées	6 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG811	Chevrier (FR)	Renouées	30 m ²	Talus routier et ferroviaire	Concassage - criblage
CG830	Chevrier (FR)	Renouées	10 m ²	Forestier	Concassage - criblage
CG831 ^{REX}	Chevrier (FR)	Renouées	100 m ²	Agricole	Concassage - criblage
CG952	Collonges-sous-Salève (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
ELTEL					
EL GB1	Gd-Bataillard (CH)	Solidages	20000 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche
EL BM1	Broye moyenne (CH)	Solidages	2000 ml	Aquatique et semi-aquatique	Décapage
EL BM2	Broye moyenne (CH)	Solidages	2000 ml	Aquatique et semi-aquatique	Décapage
EL BM3	Broye moyenne (CH)	Solidages	2000 ml	Aquatique et semi-aquatique	Décapage
EL Va2	Vaumarcus (CH)	Renouées	50 m ²	Forestier	Criblage

Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Occupation du sol	Modalité technique
EL Pe1	Penthaz (CH)	Buddléia	2400 m ²	Friche urbaine	Broyage
EL Pe2	Penthaz (CH)	Solidages	5700 m ²	Friche urbaine	Fauche
Syr'Usses					
SU AC1	Allonzier-la-caille (FR)	Renouées	10 m ²	Talus routier et ferroviaire	Arrachage
SU C2	Cruseilles (FR)	Renouées	10 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche, bâchage, arrachage
SU C6	Cruseilles (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU CS10	Contamine sarzin (FR)	Renouées	1 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU CS11	Contamine sarzin (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU CS12	Contamine sarzin (FR)	Renouées	2 m ²	Talus routier et ferroviaire	Bâchage et arrachage
SU CS2	Contamine sarzin (FR)	Renouées	5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU CS6_a	Contamine sarzin (FR)	Renouées	20 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche, bâchage et arrachage
SU CS9	Contamine sarzin (FR)	Renouées	2 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche, bâchage et arrachage
SU F8	Chaumont (FR)	Renouées	110 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU F9	Chaumont (FR)	Renouées	10 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU M11	Minzier (FR)	Renouées	1 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU M2	Minzier (FR)	Renouées	10 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M3	Minzier (FR)	Renouées	5 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M4	Minzier (FR)	Renouées	2 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M5	Minzier (FR)	Renouées	1 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M6	Minzier (FR)	Renouées	2 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M7	Minzier (FR)	Renouées	1 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Fauche et arrachage
SU M8	Minzier (FR)	Renouées	5 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU M9	Minzier (Fr)	Renouées	1 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU S1	Sallenoves (FR)	Renouées	100 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU S9	Sallenoves (FR)	Renouées	120 m ²	Talus routier et ferroviaire	Fauche et arrachage
SU SC1	Desingy (FR)	Renouées	45 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Bâchage et arrachage
SU U2	Menthonnex-en-Bornes (FR)	Renouées	1 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU U20	Le Sappey (FR)	Renouées	35 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU U3	Groisy (FR)	Renouées	5 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU U4	Groisy (FR)	Renouées	5 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU U8	Menthonnex-en-Bornes (FR)	Renouées	250 m ²	Talus routier et ferroviaire	Criblage/concassage, bâchage et arrachage

Code site	Commune (Pays)	Espèce	Surface/ linéaire	Occupation du sol	Modalité technique
SU FORNANT	Minzier, Savigny, Chaumont, Jonzier-Epagny, Contamine-Sarzin (FR)	Renouées	395 m ² , 20 ml	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU USSES1	Cruseilles, Allonzier-la-Caille, Groisy, Villy le Bouveret, Vovray-en-Bornes, Menthonnex-en-Bornes, Arbusigny, Le Sappey, Villy-le-Pelloux (FR)	Renouées	310 m ² 9 ml	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU FORNANT	Minzier, Savigny, Chaumont, Jonzier-Epagny, Contamine-Sarzin (FR)	Buddléia	42 m ² , 20 ml	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU USSES2	Cruseilles, Allonzier-la-Caille, Groisy, Villy-le-Bouveret, Vovray-en-Bornes, Menthonnex-en-Bornes, Arbusigny, Le Sappey, Villy-le-Pelloux (FR)	Buddléia	110 m ² , 9 ml	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU USSES3	Copponex, Musièges, Cruseilles (FR)	Berce du Caucase	4 m ²	Aquatique et semi-aquatique	Arrachage
SU011-HM ^{REX}	Desingy-Usinens (FR)	Renouées	30 m ²	Agricole	Pâturage
SU025-HM ^{REX}	Menthonnex-en-Bornes (FR)	Solidages	30 m ²	Autre	Arrachage

Les espèces les plus fréquemment traitées au sein des sites sont les renouées asiatiques (sur 77% des sites) et les solidages américains (sur 15% des sites). Les sites sont majoritairement localisés au sein de milieux aquatiques et semi-aquatiques (à 36%) et sur des talus routiers et ferroviaires (à 33%) ; plus rarement en zones agricoles (à 13%), sur des friches urbaines (à 10%), au sein de milieux forestiers (à 4%), ainsi que d'autres types de milieux (enrochements, plages, parcs et jardins, etc.) (à 4%) (figure 10).

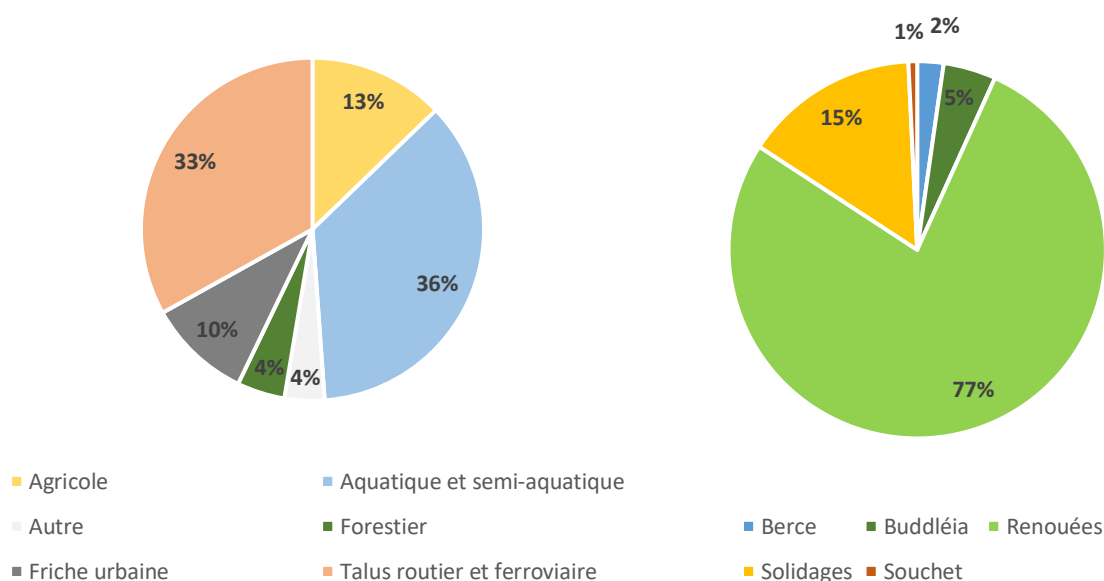


Figure 10. Part de l'occupation des sols (a) et des espèces exotiques traitées (b) sur l'ensemble des sites du projet

3.1.3 Résultats du suivi des sites

Taux de réussite par technique

Les résultats de l'évaluation qualitative du taux de réussite des **132 sites** par technique et combinaison de techniques (figure 12) ne permet pas de tirer des conclusions globales. L'hétérogénéité du nombre de site par technique complique les possibles interprétations. Les résultats sur l'ensemble des sites permettent d'observer que pour la plupart des sites (> 60%), la reprise des foyers est partielle (figure 11).

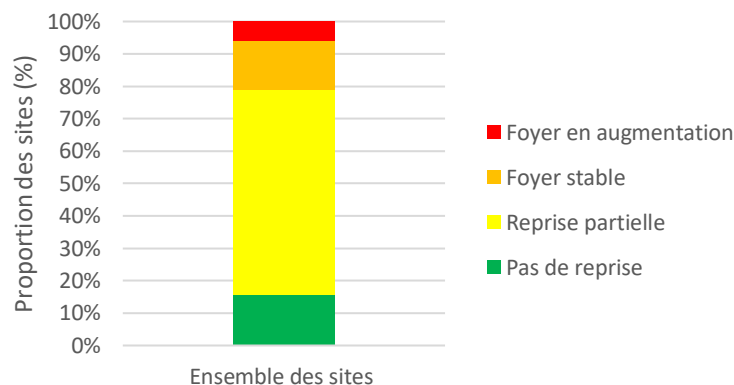


Figure 11. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites

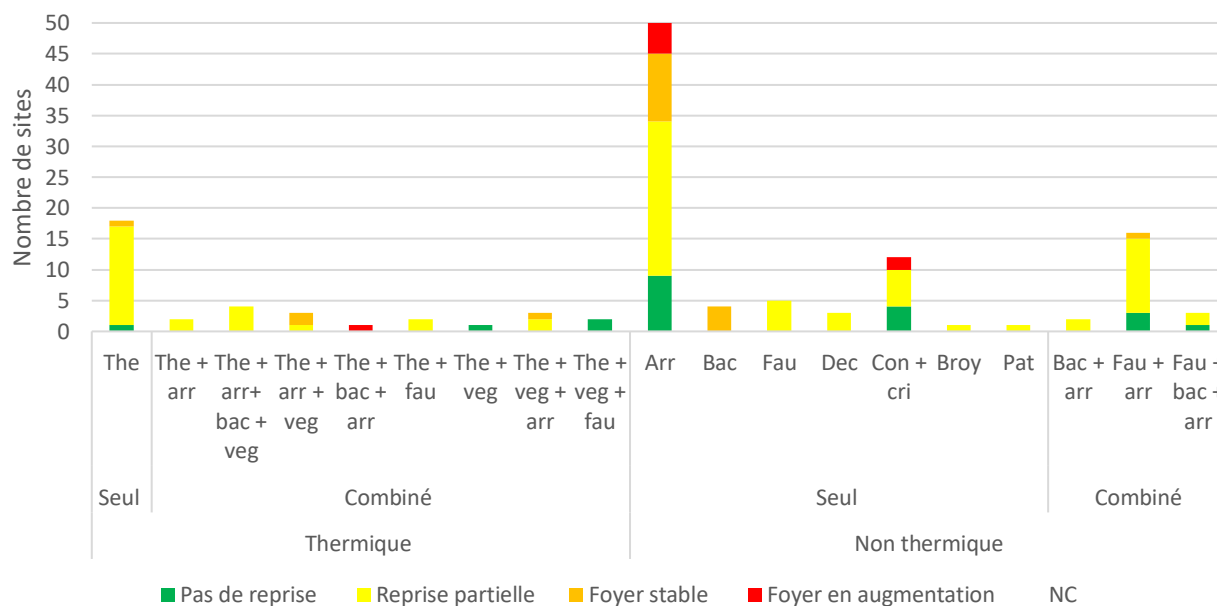


Figure 12. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par technique et combinaison de techniques

Légende : **The** : traitement thermique (t1) - **Arr** : arrachage (t2) - **Bac** : bâchage (t3) - **Broy** : broyage (t4) - **Dec** : décapage (t5) - **Con + cri** : criblage-concassage (t6) - **Pat** : pâturage (t7) - **Fau** : fauche (t8) - **Veg** : végétalisation (t9)

Une concaténation par groupe de techniques : traitement thermique seul, traitement thermique combiné, arrachage seul, fauche (seule et combinée), criblage-concassage, ainsi que « autres » (bâchage, décapage, broyage, pâturage, et bâchage + arrachage) met en valeur certaines tendances (figure 13). **On observe des proportions de taux de réussite relativement similaires sur l'ensemble des sites et pour les différents tests techniques. En effet, une absence de reprise des foyers est constatée sur 10 à 20% des sites, elle est partielle sur 50 à 70% des sites, les foyers sont stables sur 10 à 20% des sites et en augmentation sur 5 à 15% des sites.**

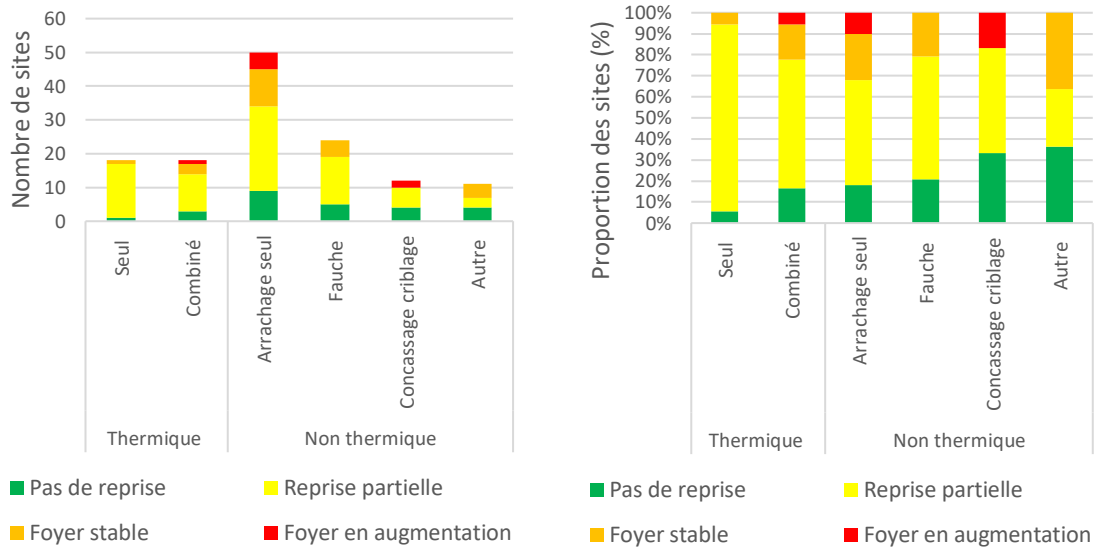


Figure 13. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par groupes de techniques (a) en valeur absolue, (b) en valeur relative

Ces résultats possèdent des limites, étant donné que l'ensemble des sites suivis n'ont pas été traités à la même période, à la même fréquence et sur la même durée et que le stade de développement initial du foyer de PEE n'est pas le même. La variabilité du taux de réussite évaluée dépend donc aussi de la variabilité d'âge des sites et de l'état initial des foyers. Elle dépend également des objectifs de gestion définis selon le contexte des sites (éradication, atténuation ou confinement et contrôle).

Par ailleurs, d'après les résultats de l'évaluation qualitative et semi-quantitative du taux de réussite des **36 sites REX** montrent que, hormis quelques résultats inférieurs à 60% (traitement thermique + bâchage + arrachage et traitement thermique + arrachage + végétalisation), liés à des sites dont un entretien est encore nécessaire pour bien traiter les PEE, les résultats sont globalement satisfaisants (70% en moyenne) (figure 14). Il est en revanche difficile de tirer plus de conclusions sur ces résultats pour les mêmes raisons que celles mentionnées précédemment (hétérogénéité des sites et des objectifs de gestion).

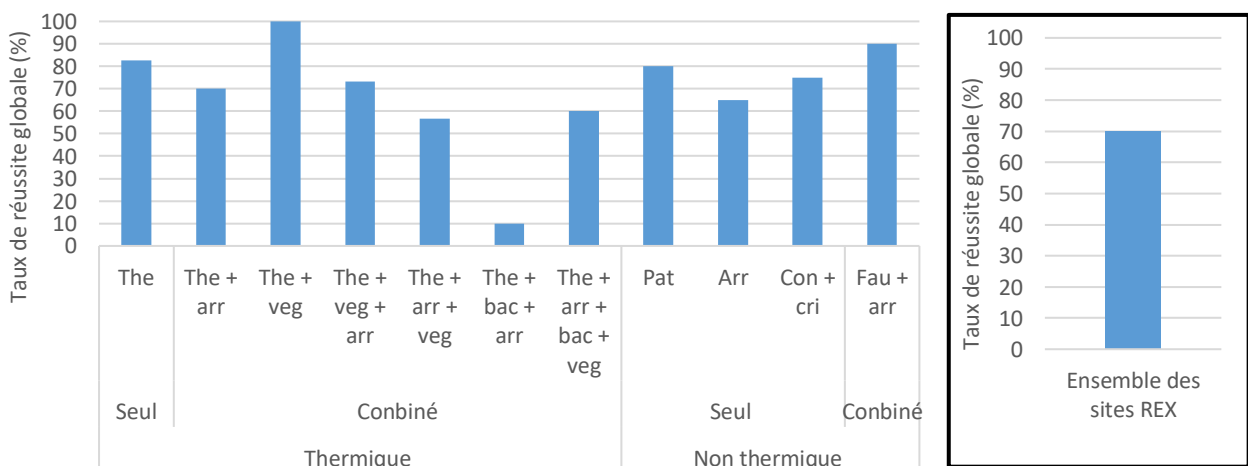


Figure 14. Taux moyen de réussite globale des sites REX (a) par technique et combinaison de techniques testés, (b) sur l'ensemble des sites

Outre la difficulté d'interprétation des données des sites, les retours d'expériences des partenaires/gestionnaires du projet permettent de préciser ces constats.

En effet, à l'appui des retours d'expériences, quatre constats émergent :

→ **Constat 1** : hormis le criblage-concassage qui présente de meilleurs résultats dans le cadre du projet, les autres techniques présentent des résultats relativement similaires. Ces similitudes entre techniques peuvent être dues à la variabilité d'âges des sites, des stades de développement initiaux des foyers et au contexte du projet (topographie, ressources humaines et financières, etc.). Ces deux derniers points sont déterminants pour le choix d'une technique et d'une combinaison de techniques.

→ **Constat 2** : la végétalisation en post-traitement favorise la régression des foyers de PEE et le retour d'espèces indigènes. La naturalité du milieu restauré est donc améliorée.

→ **Constat 3** : combiner la technique de traitement thermique avec une autre technique non thermique, adaptée au contexte du site, permet de lutter plus efficacement sur les foyers de PEE. Idéalement, il est recommandé de faucher au préalable, puis de procéder à une ou des campagnes d'arrachage après traitement. Le génie végétal est aussi une bonne option de post-traitement.

→ **Constat 4** : si l'éradication n'est pas totale, la reprise peut être très rapide s'il n'y a pas de post-traitement régulier. La technique la plus adaptée est dans ce cas l'arrachage. Initier une campagne de lutte contre les PEE suppose ainsi un engagement sur le long terme et sur plusieurs années, si l'on souhaite obtenir des résultats satisfaisants et ne pas perdre les moyens humains et financiers mis en œuvre.

Coûts de mise en œuvre

Un autre facteur déterminant dans le choix d'une technique est le coût des opérations. **Les données sur les coûts fournies ci-dessous sont inhérentes au contexte des chantiers de lutte des sites REX menés dans le cadre du projet.** D'après la figure 15a, on constate logiquement que plus la surface du chantier est importante, plus le coût des travaux est élevé. D'après la figure 15b, on observe les coûts surfaciques les plus élevés (> 400 EUR-CHF/m²) au sein des sites de petite surface (< 50 m²) et des coûts surfaciques bas (< 200 EUR-CHF/m²) au sein des sites de plus grande surface (> 100 m²).

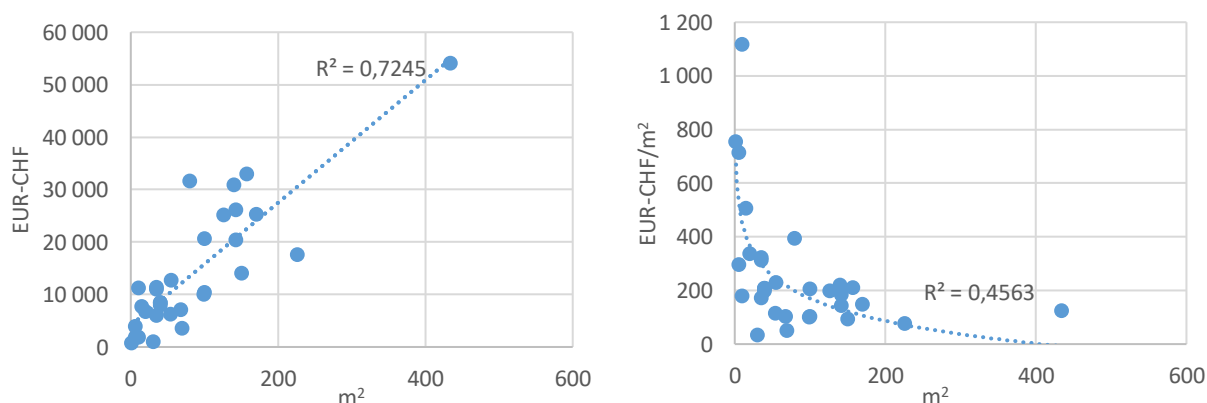


Figure 15. Rapport entre la surface d'un chantier et (a) son coût global (b) son coût au mètre carré toutes techniques et espèces confondues (sites REX) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF

D'après la figure 16, le coût moyen du traitement thermique seul est d'environ 100 EUR-CHF et celui du traitement thermique combiné est d'environ 250 EUR-CHF, soit un surcoût de plus de 100% en moyenne (selon les techniques complémentaires mise en œuvre). Le coût moyen de l'arrachage est d'environ 120 EUR-CHF et celui du criblage-concassage d'environ 200 EUR-CHF.

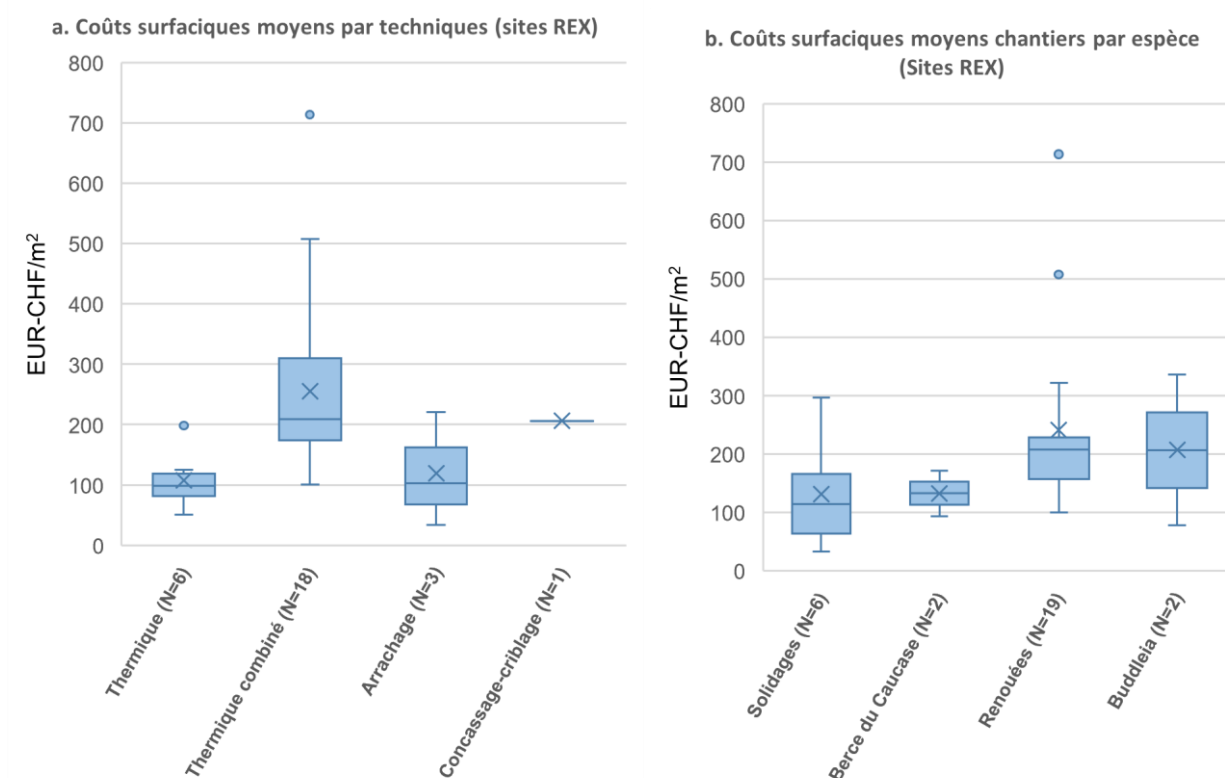


Figure 16. Distribution du coût au mètre carré des chantiers (a) par technique de lutte (b) par espèce (sites REX) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF

Il est difficile de tirer des constats plus précis du fait de la proportion inégale du nombre de site par technique et de la différence du contexte des sites (accessibilité, nature du terrain, etc.). Par ailleurs, le coût de l'installation de chantier peut augmenter significativement les coûts au mètre carré, notamment sur des chantiers de petite surface.

Les données ci-dessous présentent les coûts moyens par technique fournis par les partenaires techniques du projet détaillant les coûts surfaciques et les coûts d'installation de chantier (tableau 7 & figure 17).

Tableau 7. Coûts moyens des techniques testées dans le cadre du projet

	Coût moyen/m²		Installation de chantier	
	France	Suisse	France	Suisse
t1. Traitement thermique	62,5 EUR/m²	80 CHF/m²	600-1200 EUR	400-1000 CHF
t2. Arrachage	1,9-11 EUR/m²	2-20 CHF/m²	200 EUR	250 CHF
t3. Fauche	0,4-1,2 EUR/m² Mécanisée : 0,30 EUR/m²	0,4-1 CHF/m² Mécanisée : 0,50 CHF/m²	Mécanisée : 600-1200 EUR	Mécanisée : 1000 CHF
t4. Coupe, dessouchage et broyage	1 EUR/m² 80-100 EUR/unité	1,50 CHF/m² 35-250 CHF/unité	600-1200 EUR	400-1000 CHF
t5. Criblage - concassage	80-100 EUR/m²	140-200 CHF/m²	1000-2000 EUR	2000 CHF
t6. Bâchage	19-21 EUR /m²	34,5 CHF /m²	200 EUR	250 CHF
t7. Pâturage	NC	NC	NC	NC
t8. Décapage	5-25 EUR/m²	10-30 CHF/m²	1000-2000 EUR	2000 CHF

Source : © Syr'Usses, ELTEL et ERM

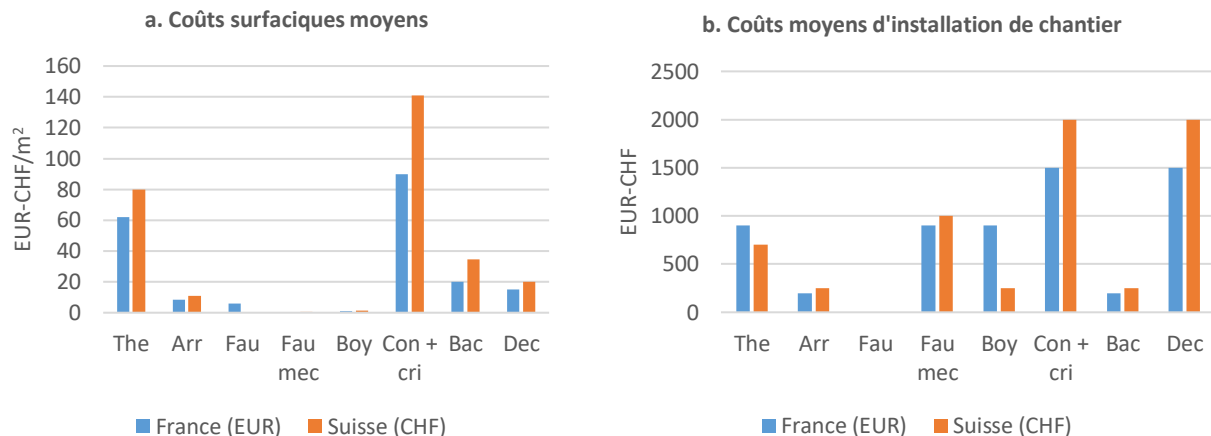


Figure 17. Coûts des techniques testées dans le cadre du projet (a) coût surfacique moyen (b) coût moyen d'installation de chantier (source : Syr'Usses, ELTEL et ERM) - Taux de change considéré : 1 EUR = 1 CHF

D'après les données fournies, le criblage-concassage et le traitement thermique sont les techniques les plus coûteuses : coût surfacique moyen (60 à 200 EUR-CHF/m²) et coût moyen d'installation de chantier (400 à 2000 EUR-CHF) inclus. Le décapage, la coupe-dessouchage-broyage et la fauche mécanisée ont des coûts importants d'installation de chantier (400 à 2000 EUR-CHF), mais des coûts surfaciques moins importants (0,3 à 30 EUR-CHF/m²). L'arrachage, la fauche manuelle et le bâchage sont les techniques les moins coûteuses : coût surfacique moyen (0,4 à 35 EUR-CHF/m²) et coût moyen d'installation de chantier (0 à 250 EUR-CHF) inclus (figure 17). Les coûts de la coupe-dessouchage-broyage peuvent être plus importants sur des petits foyers et/ou quelques pieds (35 à 250 EUR-CHF/unité) (tableau 7).

Les observations sur les données du projet et des partenaires techniques, ainsi que les retours d'expériences des partenaires/gestionnaires, permettent de souligner que :

- **Constat 5** : la technique du criblage-concassage, bien qu'elle soit la plus efficace, est aussi la plus coûteuse (80 à 200 EUR-CHF/m² et 1000 à 2000 EUR-CHF d'installation de chantier).
- **Constat 6** : le traitement thermique seul (en moyenne 100 EUR-CHF/m²) est logiquement moins coûteux que combiné (en moyenne 250 EUR-CHF/m²), mais il est souvent nécessaire d'employer des techniques de post-traitement ou de renouveler un traitement thermique pour obtenir des résultats efficaces.
- **Constat 7** : l'arrachage et la fauche sont des techniques peu coûteuses (<1 à 20 EUR-CHF/m²). Elles peuvent en revanche le devenir lorsque la fréquence nécessaire des passages est importante. L'alternative de mobiliser des citoyens pour effectuer un travail bénévole permet de réduire considérablement les coûts.
- **Constat 8** : les coûts des travaux sont souvent liés à l'accessibilité et la praticabilité du terrain, ils peuvent significativement augmenter pour les techniques mobilisant des machines complexes (traitement thermique et criblage-concassage). Le déplacement et l'utilisation de la machine de traitement thermique deviennent rapidement difficiles et coûteux sur des terrains pentus et/ou accidentés.
- **Constat 9** : globalement, plus la surface traitée est grande, plus le coût au mètre carré diminue (figure 15b). Traiter des grandes surfaces permet la plupart du temps de rentabiliser les coûts de déplacement et d'installation de chantier. Traiter plusieurs sites la même journée peut aussi permettre de minimiser les coûts.

Taux de réussite par espèces - ensemble des sites

L'évaluation qualitative de taux de réussite des sites par espèce montre également qu'il n'y a pas de tendance claire (figure 18). En outre, les proportions des quatre critères d'évaluation du taux de réussite des sites sont similaires à celle de la figure 13 (pas de reprise : 10-20%, reprise partielle : 50-70%, foyer stable : 10-20% et foyer en augmentation : 5-15%).

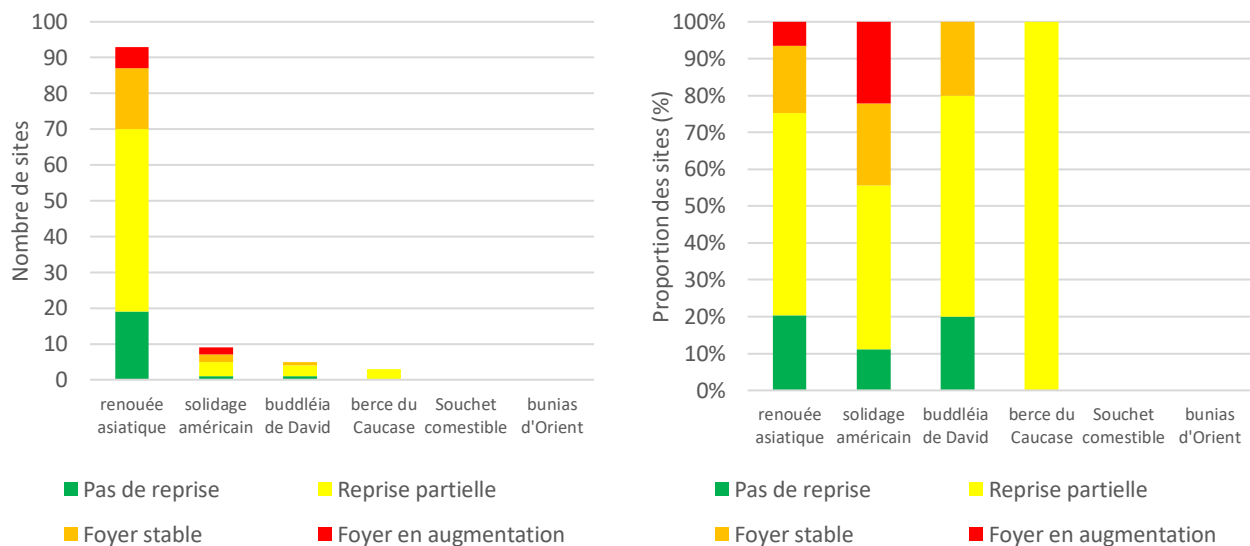


Figure 18. Evaluation qualitative du taux de réussite de l'ensemble des sites par espèce traitée

Cela met en valeur le fait que la réussite d'un traitement contre les PEE est plus associé à l'environnement du site, à la bonne gestion du chantier de lutte et au stade de développement initial du foyer qu'à l'espèce ciblée sur un site (et la technique retenue). Les gestionnaires/partenaires soulignent en revanche quelques observations sur les espèces :

- **pour les solidages américains** : l'arrachage est adapté pour lutter contre les petits foyers (surface < 100 m²), la fauche est plus adaptée pour les grands foyers (surface > 100 m²).
- **pour le buddléia de David** : l'arrachage et le traitement thermique sont efficaces sur des petites surfaces.
- **pour les renouées asiatiques** : l'éradication totale peut être assurée seulement si un suivi soutenu est appliqué durant plusieurs années après le traitement, quelles que soient les options techniques retenues.
- **pour la berce du Caucase** : les essais ne sont pas suffisants pour tirer des conclusions spécifiques.
- **pour le souchet comestible et le bunias d'Orient** : les retours d'expériences ne sont pas suffisants pour tirer des conclusions.

3.1.4 Retours d'expériences des techniques

Le projet a permis de multiplier les essais de techniques et de combinaisons de techniques sur différentes espèces exotiques et au sein de différents types de sites. Le présent chapitre présente les neuf techniques testées dans le cadre du projet sous forme de fiches techniques et d'outils d'aide à la décision (tableau 8).

Une fiche est attribuée par technique. Chaque fiche donne des informations sur :

- la mise en œuvre de la technique (parfois variable selon les espèces) ;
- les conditions de combinaison (éventuelle) avec d'autres techniques ;
- la durée et la fréquence à laquelle elle doit être appliquée pour lutter efficacement contre les PEE ;
- les avantages et inconvénients de son utilisation ;
- les retours d'expériences des partenaires sur la technique dans le cadre du projet ;
- les fiches REX associées, qui présentent les sites où la technique a été testée (annexe 1c et 3) ;
- les coûts moyens, indiqués par les partenaires techniques du projet.

Tableau 8. Techniques et combinaisons de techniques testées dans le cadre du projet et fiches REX associées

Technique	Fiches REX associées
t1. Traitement thermique	NE002 ^{rex} , NE004 ^{rex} , OL002C ^{rex} , SL001 ^{rex} , SU022-1 ^{rex} , VD008 ^{rex} + <u>arrachage</u> : SU004-2 ^{rex} , SU020 ^{rex} + <u>arrachage et végétalisation</u> : SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} + <u>arrachage, bâchage et végétalisation</u> : SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} + <u>bâchage et arrachage</u> : SU_P2 ^{rex} + <u>végétalisation et arrachage</u> : SU003 ^{rex} , SU004-1 ^{rex} , SU008 ^{rex} + <u>végétalisation et fauche</u> : SU005 ^{rex} , SU023 ^{rex}
t2. Arrachage	SU025-HM ^{rex} , CG 597 ^{rex} , CG 2000 ^{rex} , CG 4001 ^{rex} , CG 4025 ^{rex} , SL 10510 ^{rex} , SL 10520 ^{rex} , SL 23001 ^{rex} , SL 41201 ^{rex} + <u>traitement thermique</u> : SU004-2 ^{rex} , SU020 ^{rex} + <u>traitement thermique, bâchage et végétalisation</u> : SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} + <u>avec traitement thermique et végétalisation</u> : SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} , SU003 ^{rex} , SU004-1 ^{rex} , SU008 ^{rex}
t3. Fauche	+ <u>lutte thermique et végétalisation</u> : SU005 ^{rex} , SU023 ^{rex}
t4. Coupe, dessouchage et broyage	Aucune
t5. Criblage-concassage	CG 138 ^{rex} , CG 831 ^{rex}
t6. Bâchage	+ <u>traitement thermique</u> : SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex}
t7. Pâturage	SU011-HM ^{rex}
t8. Décapage	Aucune
t9. Végétalisation	+ <u>traitement thermique</u> : SU007 ^{rex} + <u>traitement thermique, arrachage et bâchage</u> : SU009 ^{rex} , VD_P2 ^{rex} , VS_P1 ^{rex} , VS006-2C ^{rex} + <u>traitement thermique et fauche</u> : SU005 ^{rex} , SU023 ^{rex} + <u>traitement thermique et arrachage</u> : SU_P1 ^{rex} , SU002-1 ^{rex} , SU002-2 ^{rex} , SU003 ^{rex} , SU004-1 ^{rex} , SU008 ^{rex}

t1. Traitement thermique



Source : ELTEL



Source : ELTEL

Espèces ciblées dans le projet : renouées asiatiques, solidages américains, berce du Caucase, buddléia de David et souchet comestible

Détail de la technique

Il s'agit d'injecter de l'eau à 140°C en profondeur dans le sol (à maximum 60 cm). Deux camionnettes sont nécessaires pour déplacer une petite pelle excavatrice munie d'un marteau hydraulique et le système de chauffage de l'eau, ainsi que deux personnes pour la mise en œuvre de cette technique.

La méthode est applicable sur des zones de taille modeste : 40 m² sont traités par jour de travail. Le site doit être relativement plat et une borne incendie doit être disponible dans un rayon de 2 km. La technique s'applique globalement de la même manière quelle que soit l'espèce traitée. Pour les espèces dont les racines ou organes reproducteurs se trouvent moins enfoui (les solidages américains par exemple), il est possible d'envisager un traitement moins profond (+/- 30 cm), mais la réelle efficacité de cette modalité reste encore à prouver. Par ailleurs, les espèces développées plus ponctuellement sur un site (comme la berce du Caucase) peuvent être traitées pied par pied. Les techniques complémentaires seront différentes selon les espèces exotiques ciblées et/ou le contexte du site.

Combinaisons de techniques possibles

- Renouées asiatiques et solidages américains :** pour les massifs de grande taille, il est possible d'effectuer une fauche préalable au traitement thermique, des parties aériennes des foyers, réalisée de façon méthodique pour éviter la dispersion de propagules, puis de recouvrir le massif à l'aide d'une bâche et/ou d'un géotextile adapté, sur la totalité de la surface du massif et jusqu'à 5 mètres en périphérie, pendant 2 à 3 ans. Un suivi annuel minutieux avec arrachage des jeunes pousses est nécessaire, si on vise une éradication de la plante. Il est à noter que la mise en place d'une bâche sur une grande surface peut avoir un côté « inesthétique ». Il est souhaitable de revégétaliser ultérieurement le secteur avec des végétaux indigènes adaptés aux conditions du site.

Durée et fréquence

Si la technique est correctement mise en œuvre et que le contexte du site est favorable, un seul traitement est suffisant. Les résultats sont plus satisfaisants lorsque le traitement est effectué en été (chapitre 4). Par ailleurs, l'effet de la technique est limité sur les sols argileux. Ces derniers sont alors exposés à un risque de colmatage en surface. L'utilisation de techniques complémentaires (fauche, arrachage, bâchage, végétalisation, etc.) permet d'optimiser les résultats, et donc de contenir le traitement thermique à un seul passage.

Avantages / inconvénients

+	-
Bons résultats sur les jeunes foyers	Consommations d'énergie et d'eau importantes
Pas de gestion des déchets de rhizomes à prévoir	Structure et stabilité du sol impactés
Pas d'utilisation de produits chimiques	Traitement de 40 m ² de surfaces infestées par jour maximum
Peu atteindre des secteurs isolés à 200 m d'une piste carrossable	Accès à une piste carrossable à 200 m nécessaire et application uniquement sur terrain peu pentu (< 20%)
Pas d'excavation de matériaux	Accès à un raccordement d'eau nécessaire (< 2 km)
	Pas adaptée à des sols trop argileux ou trop drainants

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet**ERM et ELTEL (retours techniques)**

- **Type de sol** : la lutte thermique est conditionnée par la qualité du sol. En effet, l'objectif est de monter le sol en température. Un sol argileux, par exemple, est plus difficile à traiter qu'un sol minéral conduisant davantage la chaleur. L'action de lutte thermique peut avoir un impact sur la stabilité du sol. Des mesures spécifiques doivent être prises si cette problématique est impactante pour le site. Un sol trop compact risque d'endommager le matériel d'injection : les contraintes entre la pression, la température et les vibrations du marteau hydraulique causent des dommages aux raccords.

- **Contraintes techniques** : la machine, telle que développée dans le cadre de ce projet, peut intervenir sur un terrain relativement plat (pente maximum 20%) et la remorque sur pneus doit être acheminée à maximum 200 mètres du site à traiter. Une borne incendie doit être accessible dans un rayon de 2 km environ.

ERM, ELTEL et Syr'Usses (retours par espèces)

- **Renouées asiatiques** : les jeunes sites de renouées dans un sol propice peuvent être éradiqués en un seul passage. Il est plus difficile d'atteindre les renouées présentes depuis des décennies : les rhizomes pouvant atteindre une profondeur supérieure à un mètre. De façon générale, il est impératif de prévoir des mesures d'entretien sur les sites traités. Nous recommandons de combiner les interventions : la lutte thermique permet d'éradiquer ou de diminuer fortement les volumes des repousses, ce qui facilite l'arrachage qui doit être

maintenu durant les années suivantes. Une végétalisation peut, en fonction du site, être nécessaire afin de concurrencer les repousses des invasives.

- **Buddléia de David** : la lutte thermique a rencontré de très bons résultats pour l'éradication des buddléias.
- **Solidages américains** : la lutte thermique est pertinente car elle permet de diminuer fortement le stock grainier dans la couche supérieure du sol. De façon générale, la lutte contre la solidage américaine est complexe en raison de la dissémination des graines. Lorsque l'on traite un foyer, il faut s'assurer qu'il n'y ait pas de solidages dans un rayon pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres. Si ce n'est pas le cas, il faut alors faucher ou arracher les plantes éparses pour qu'elles ne fleurissent pas.
- **Bunia d'orient** : un seul foyer de bunia d'Orient a été traité et il est difficile d'en tirer des conclusions. Des repousses sont apparues, la diminution n'a pas été quantifiée.
- **Souchet comestible** : un seul foyer de souchet a été traité sur un sol tourbeux et il est difficile d'en tirer des conclusions. Des repousses sont apparues, la diminution n'a pas été quantifiée.
- **Berce du Caucase** : deux foyers de berce du Caucase ont été traités. L'évolution du foyer n'a été quantifié que sur un site (SU004-2^{rex}) : on observe une reprise d'une dizaine de pieds de berces en 2022. La nature du substrat (remblai), a limité la mise en œuvre des technique (arrachage, traitement thermique).

Fiches de retours d'expériences associées :

Traitement thermique seul : NE002^{rex}, NE004^{rex}, OL002C^{rex}, SL001^{rex}, SU022-1^{rex}, VD008^{rex}

Combiné avec arrachage : SU004-2^{rex}, SU020^{rex}

Combiné avec arrachage et végétalisation : SU_P1^{rex}, SU002-1^{rex}, SU002-2^{rex}

Combiné avec arrachage, bâchage et végétalisation : SU009^{rex}, VD_P2^{rex}, VS_P1^{rex}, VS006-2C^{rex}

Combiné avec bâchage et arrachage : SU_P2^{rex}

Combiné avec végétalisation et arrachage : SU003^{rex}, SU004-1^{rex}, SU008^{rex}

Combiné avec végétalisation et fauche : SU005^{rex}, SU023^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** : 62,5 EUR/m² et 80 CHF/m².
- ▶ **Installation de chantier** : 600-1200 EUR et 400-1000 CHF

t2. Arrachage



Source : ASL



Source : Syr'Usses

Espèces ciblées dans le projet : renouées asiatiques, solidages américains, berce du Caucase, buddléia de David (jeune)

Détail de la technique

- **Buddléia de David (jeunes plants et très jeunes plants) :** les très jeunes plants de moins de 3 ans peuvent être arrachés. Par la suite, arracher les très jeunes plants une fois par an pour contenir le foyer. Les jeunes plants (3-5 ans), doivent être arrachés en tranchant le pivot racinaire à la pioche car l'espèce rejette vigoureusement de la souche si on la coupe (buddléia peut aussi se propager par des drageons souterrains).
- **Berce du Caucase :** par mesure de sécurité, l'opérateur doit être entièrement protégé de tout contact avec la plante (pantalon, manches longues, gants couvrants, lunettes, masque). S'il y a contact, laver la peau et éviter toute exposition au rayonnement solaire pendant au minimum 48 heures. La racine doit être coupée au moins à 10 cm en dessous du collet, voire entre 15 et 25 cm en dessous de la surface du sol. Cette technique permet d'éviter la régénération des plants. Utiliser pour ce faire une bêche à bord tranchant. Si la racine est affleurante, enfoncer la bêche obliquement pour atteindre la profondeur d'environ 10 cm. Il se peut toutefois que des mouvements de terre (notamment des dépôts d'alluvions sur les berges de rivière) couvrent le pied des plantes. Dans ce cas, et selon l'épaisseur du dépôt, sectionner plus profondément, jusqu'à 30 cm de la surface du sol. La partie sectionnée de la plante sera retirée du sol, pour être détruite ou séchée. Laver les outils utilisés (ainsi que chaussures et habits) directement sur le site envahi. Éviter tout transport de terre (risque de contenir énormément de graines) provenant de sites envahis par la berce du Caucase.
- **Renouées asiatiques :** l'arrachage manuel des jeunes plants de renouées doit être minutieux (pioche, fourche-bêche, etc.) et réalisé le plus profondément possible. Il est envisageable de laisser sécher les déchets au sol sur une bâche, en prenant garde à ce qu'ils ne puissent pas être disséminés et que des conditions météorologiques favorables soient garanties. Le point fondamental de cette technique réside dans un rythme d'arrachage régulier d'environ une fois par mois tout au long de la saison (avril-octobre). L'extraction des rhizomes et des racines améliore significativement la réussite. Ce n'est malheureusement pas toujours possible en enrochements par exemple, au contraire d'une plage de galets qui permet un accès plus aisé au réseau souterrain. L'âge des foyers semble également jouer un rôle dans la vitesse d'affaiblissement, plus il

est installé depuis longtemps, plus il résistera. Par ailleurs, il est indispensable de veiller à ce qu'aucun fragment ne reste sur le terrain après évacuation des végétaux arrachés.

- **Solidages invasifs** : l'arrachage s'applique sur des foyers de taille inférieure à 100 m². En plus des parties aériennes, les rhizomes et les racines doivent être arrachés à l'aide de pioche, griffes ou grelinettes.

Combinaisons possibles de techniques

- **Renouées asiatiques et solidages américains** : pour les massifs de grande taille, il est possible d'effectuer une fauche préalable des parties aériennes, réalisée de façon méthodique pour éviter la dispersion, puis de recouvrir le massif à l'aide d'une bâche et/ou d'un géotextile adapté à la lutte contre les renouées asiatiques mis en place sur la totalité de la surface du massif et jusqu'à 5 mètres en périphérie pendant 2 à 3 ans. Un suivi annuel minutieux avec arrachage des jeunes pousses est nécessaire si l'on vise une éradication de la PEE. Il est à noter que la mise en place d'une bâche sur une grosse surface peut avoir un côté « inesthétique ». Il est possible de revégétaliser ultérieurement le site avec des végétaux indigènes adaptés aux conditions stationnelles.

- **Toutes les espèces** : l'arrachage peut être complété par une revégétalisation ligneuse : plantation d'espèces vivaces locales couvrantes arbustives ou arborées, dynamiques (sureaux, saules...) et/ou herbacée : semer un mélange d'herbacées indigènes adaptées au territoire ; et éventuellement bâcher préalablement.

Durée et fréquence

- **Buddléia de David (jeunes plants et très jeunes plants)** : de mars à août, 1 fois par an.

- **Berce du Caucase** : en mai-juin, 1 fois par an avec suivi pendant 5 ans en été (juillet-août).

- **Renouées asiatiques** : pendant toute la période de végétation, idéalement 1-2 fois par mois pendant en moyenne 5 ans (jusqu'à 10 ans).

- **Solidages américains** : intervention entre début juin et éventuellement jusqu'à mi-juillet, surveiller ensuite les reprises en cours de saison et à la saison végétative suivante, et arracher à nouveau. Si la première coupe est réalisée avant la mise en bouton (début juin par exemple) l'effet sur la plante est moins efficace. Des retours d'expériences semblent montrer que sur certains sites la fauche semble nettement plus efficace si elle est réalisée au pic de floraison (début juillet environ). Cette méthode ne semble cependant pas être efficace partout (CEVE, 2021).

Avantages / inconvénients

+	-
Pas d'utilisation de machines	Application difficile sur des individus trop développés
Facilité de mise en œuvre, peu d'équipement nécessaire (pas d'accès à des véhicules à prévoir), applicable sur tout type de terrain	Adapté aux massifs de taille petite et moyenne (< 20 m ² à < 50 m ²). Au-delà de cette surface, privilégier la fauche si elle peut être répétée ou des techniques mécanisées plus lourdes
Sélectivité fine des espèces arrachées	Nécessité d'intervenir durant plusieurs années ce qui exige beaucoup de main d'œuvre et de respecter la périodicité
Applicable sur des sites déjà végétalisés (respecter un délai d'installation, notamment des semis)	Nécessité d'intervenir souvent durant la saison de végétation
	Gestion des déchets vert conséquente, notamment pour l'arrachage des renouées asiatiques

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet**ASL**

● **Renouées asiatiques** : l'ASL a choisi de mettre l'accent sur les renouées asiatiques, car c'est la PEE la plus présente sur les rives du lac Léman, même si plusieurs stations sont aussi situées sur des bords de rivières. Pour les campagnes de lutte, l'arrachage est favorisé car il permet d'éliminer le collet si la tige ne se casse pas au-dessus, ce qui implique alors de revenir avec un sécateur pour l'ôter. Si le substrat est plutôt meuble, il est aussi possible d'arracher un segment de rhizome avec la tige, ce qui est préférable. Une fourche-bêche, une pioche ou piochon peuvent également être utiles pour chercher les rhizomes plus profondément ou sortir les plateaux de tallage apparents dans les enrochements par exemple. Les campagnes d'arrachage demandent en revanche une main d'œuvre conséquente. Pour cela, l'ASL a mis en œuvre des appels à bénévoles qui donnent de très bons retours. À noter que les temps d'interventions diminuent sensiblement à partir de la troisième année d'intervention.

Syr'Usses

● **Solidages américains** : arrachage mis en œuvre sur un seul site dans le cadre du projet : diminution progressive de la surface du massif traité. L'arrachage permet la sélection des individus arrachés, contrairement à la fauche. La végétation indigène est ainsi favorisée plus aisément et reprend plus vite la place laissée.

● **Buddléia de David (jeunes plants) :**

- ▶ En 2021 sur le site pilote de Desingy : après le traitement thermique du site, quelques buddléias, non présents initialement, se sont implantés. Ils ont été arrachés à la main pour éviter le développement d'un foyer de buddléia à la place du foyer de renouées asiatiques. En 2022, des repousses subsistent, mais avec un faible recouvrement (< 5%).
- ▶ À partir de l'été 2022, des actions ont été ciblées sur les berges des cours d'eau dans le cadre du plan de gestion des PEE sur le bassin versant des Usses. Les résultats ne seront visibles qu'à partir de

2023-2024 ; années durant lesquelles des campagnes d'arrachages vont se poursuivre pour retirer les nouvelles pousses.

- **Berce du Caucase** : l'arrachage de berces du Caucase a été réalisé sur 1 site, en complément de traitements thermiques. L'utilisation d'un équipement de protection adapté (combinaison entière couvrante) est primordiale pour éviter toute brûlure. L'arrachage nécessite précision et attention particulières pour être efficace. Le site doit être suivi et entretenu (arrachage ou fauche) régulièrement le temps d'épuiser la banque de graines. En 2022, il restait toujours de jeunes pousses.

Fiches de retours d'expériences associés :

Arrachage seul : SU025-HM^{rex}, CG 138^{rex}, CG 2000^{rex}, CG 4001^{rex}, CG 4025^{rex}, SL 10510^{rex}, SL 10520^{rex}, SL 23001^{rex}, SL 41201^{rex}

Combiné avec traitement thermique : SU004-2^{rex}, SU020^{rex}

Combiné avec traitement thermique, bâchage et végétalisation : SU009^{rex}, VD_P2^{rex}, VS_P1^{rex}, VS006-2C^{rex}

Combiné avec traitement thermique et végétalisation : SU_P1^{rex}, SU002-1^{rex}, SU002-2^{rex}, SU003^{rex}, SU004-1^{rex}, SU008^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** :
 - Berce du Caucase : 60 EUR/unité/passage
 - Autres espèces : 1,9-11 EUR/m² et 2-20 CHF/m² (selon la vigueur des foyers)
- ▶ **Installation de chantier** : 200 EUR et 250 CHF

t3. Fauche



Source : ELTEL



Source : Syr'Usses

Espèces ciblées dans le projet : renouées asiatiques et solidages américains

Détail de la technique

- **Renouées asiatiques :** la fauche des renouées asiatiques est une opération à envisager quand l'arrachage n'est pas possible, lorsque les individus sont trop développés ou quand la surface des sites est trop importante. Le matériel utilisé pour la fauche doit être nettoyé sur place de manière rigoureuse avant d'être utilisé sur un autre site. Il est préférable d'intervenir manuellement à proximité directe des cours d'eau car la fauche mécanisée favorise la dispersion des fragments de renouées.
- **Solidages américains :** les solidages forment souvent des massifs denses étendus sur de grandes surfaces. Ils sont la plupart du temps quasiment monospécifiques. Lorsque la surface du foyer est supérieure à 100 m², il conviendra de les faucher. Si les surfaces sont inférieures, les pieds de solidage sont faciles à arracher, même bien développés.

Durée et fréquence

- **Renouées asiatiques :** il faut intervenir fréquemment si l'on souhaite éradiquer des pieds et massifs. Comme pour l'arrachage, les jeunes pousses doivent être fauchées plusieurs fois par an (2 à 10 fois).
- **Solidages américains :** à minima 2 fauches par an sont nécessaires pour réduire la vitalité des populations : la première fin juin (il faut être attentif car les plants sont moins hauts et moins identifiables) et une deuxième entre août et septembre. Ces actions sont à répéter sur plusieurs années afin d'aboutir à l'éradication du foyer. L'objectif est d'intervenir dès que les fleurs sont en boutons et avant qu'elles ne grainent.

Combinaisons possibles de techniques

La fauche seule doit être répétée à une fréquence importante si l'on souhaite obtenir des résultats satisfaisants. Autrement, la fauche est une technique bien adaptée au traitement préalable d'un foyer de PEE. Elle permet de dégager le terrain et réduire la densité globale des PEE pour permettre la mise en œuvre plus aisée d'une autre technique. La fauche a été combinée avec l'arrachage, le traitement thermique, le bâchage et/ou la végétalisation dans le cadre du projet.

Avantages / inconvénients

+	-
<p>Permet le traitement de surfaces pouvant aller jusqu'à plusieurs hectares (si mécanisée)</p> <p>Le sol n'est pas impacté si les machines utilisées ont une pression au sol adaptée au milieu et à la météorologie</p>	<p>Ne permet pas une éradication rapide, surtout une réduction de la biomasse</p> <p>Non sélectif, la végétation indigène est également impactée</p> <p>Nécessite une action répétée et rigoureuse</p> <p>Risque de dissémination (fragments, graines) si pas réalisé rigoureusement et sur les espèces adéquates</p> <p>Gestion nécessaire des matériaux de fauche conséquente</p>

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet**ELTEL**

Cette technique a été mise en œuvre dans différents milieux humides dans le canton de Vaud. Elle a permis d'éviter la propagation des PEE, mais actuellement il n'y a pas de baisse visible de l'extension des populations en place. Les zones traitées sont souvent proches d'autres zones infestées. Une recontamination par dissémination des graines des PEE est possible dans ce cas.

ASL

Le fauchage à la faux n'a pas été testé en raison de la nature des terrains des sites considérés.

CCG

Aucun foyer de renouées et de solidages fauché n'a montré une diminution de surface des populations. Trois ans de fauche ne suffisent pas à diminuer ou à éradiquer les foyers. Il faut davantage de temps pour obtenir un résultat positif. L'efficacité de l'action semble varier en fonction du nombre de passages et du moment de la saison.

Fiches de retours d'expériences associés :

Combiné avec lutte thermique et végétalisation : SU005^{rex}, SU023^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique :**
 - Fauche manuelle : 0,4-1,2 EUR/m² et 0,4-1 CHF/m²
 - Fauche mécanisée : 0,30 EUR/m² et 0,50 CHF/m² (surfaces > 2000 m²)
- ▶ **Installation de chantier** : 600-1200 EUR et 1000 CHF (fauche mécanisée)

t4. Coupe, dessouchage et broyage



Source : ELTEL



Source : ELTEL

Espèce ciblée dans le projet : buddléia de David

Détail de la technique

Pour les individus matures de buddléia de David, une opération de dessouchage avec retournement de souche ou coupe à la base et dévitalisation peut être réalisée. La dévitalisation est impérative car l'espèce rejette à partir de sa souche. Si des produits phytosanitaires peuvent être utilisés, il est préconisé d'employer des techniques traditionnelles telles que l'arrosage de la souche avec du jus d'ail ou la plantation de gousses d'ail dans des trous préalablement effectués à la perceuse : une fois recouvert d'un bouchon de terre, l'ail va germer et diffuser un produit toxique dans les racines qui dévitalisera la souche et les racines. La souche peut sinon être rognée ou broyée. Une fois l'individu traité, un suivi pendant 2 années suivant l'opération est nécessaire afin de supprimer les éventuels rejets.

Combinaisons possibles de techniques

Pour limiter la repousse des buddléias en réduisant leur accès aux ressources, un couvert végétal dense peut être mis en place. Un arrachage d'entretien doit aussi être engagé afin de retirer les éventuelles jeunes pousses de buddléia de David.

Durée et fréquence

La coupe et le dessouchage peuvent être réalisés en toutes saisons. Pour minimiser les risques de rejets, il convient d'intervenir de préférence durant la période de végétation de mars à août. Une vigilance particulière devra être portée à l'état des inflorescences lors des interventions. Si la plante est en graines, le risque de dispersion sera fort, il faudra alors prévoir de les couper au préalable.

Avantages / inconvénients

+	-
Permet de traiter des individus de buddléia développés qu'il n'est plus possible de traiter manuellement	Nécessite un accès au site suffisant pour intervenir avec du matériel permettant de dessoucher ou rogner (en cas d'accès difficile les souches peuvent être « striées »).
Efficace et ciblée	Deux interventions nécessaires : coupe manuelle, puis rognage avec machine
Peu d'impact sur la structure du sol	Gestion nécessaire des matériaux de coupe conséquente
Déchets de bois laissés sur place apportant de la matière organique au sol	

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet**Syr'Usses**

Cette technique a été mise en œuvre par le Syr'Usses en 2022 sur un massif de buddléias en berge de cours d'eau particulièrement difficile d'accès. Les buddléias ont été coupés, rognés ("striés") et des boutures de saules ont été plantées dans le massif. De nouvelles campagnes sont prévues en 2023, puis 2024, pour vérifier l'évolution du site, réintervenir si besoin sur les souches et leurs éventuels rejets, ainsi qu'arracher les jeunes pousses issues de la banque de graines. Les résultats ne sont donc pas encore visibles.

CCG

Les milliers de graines dispersés dans le sol ont levé une fois le foyer de buddléia dessouché. Il faut donc prévoir un suivi les années consécutives, en arrachant systématiquement les repousses à la pioche.

ELTEL

Une variante du dessouchage a été testé par ELTEL, le « broyage ». Il s'agit de broyer la souche et de mélanger une partie des déchets de bois au sol à mélanger à la terre.

Fiches de retours d'expériences associés :

Aucune

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** : 1 EUR/m² et 1,5 CHF/m² (surfaces > 2000 m²)
- ▶ **Coût unitaire** : 80-100 EUR/unité et 35-250 CHF/unité
- ▶ **Installation de chantier** : 600-1200 EUR et 400-1000 CHF

t5. Criblage-concassage



Source : ELTEL



Source : Syr'Usses

Espèce ciblée dans le projet : renouées asiatiques

Détail de la technique

Cette technique est essentiellement utilisée pour lutter contre les foyers de renouées asiatiques.

Elle consiste en un décaissement de terrain puis un concassage des matériaux, y compris les rhizomes pour obtenir une fraction granulométrique de 0/10mm (en fonction de la topographie, des enjeux attenants au foyer...). Il s'agit d'extraire la terre contaminée avec des engins mécaniques, puis de la transporter sur une plateforme où se situe l'atelier de criblage-concassage. Un soin particulier doit être apporté lors de l'excavation des matériaux, de leur transport (bâchage des bennes) et de leur dépôt intermédiaire avant criblage-concassage pour ne pas disséminer les racines et rhizomes de PEE.

Le criblage permet de trier toutes les fractions du sol inférieur à 10 mm (argiles, limons et sables). Les refus de criblage (fraction supérieure à 10 mm) peuvent ensuite être concassés y compris les rhizomes pour obtenir un matériau homogène correspondant à une granulométrie entre 0 et 10 mm. La terre criblée et concassée peut être retransportée à l'endroit de son excavation. Le godet et les bennes utilisés pour la première excavation auront été décontaminés avant de manipuler la terre criblée et concassée. Il convient ensuite de remettre en place sur site la terre traitée. Un suivi des repousses sur plusieurs années est nécessaire.

Combinaisons possibles de techniques

Une surface concassée et criblée peut être bâchée et/ou végétalisée. La fauche et/ou l'arrachage permet aussi de limiter la potentielle reprise des PEE.

Durée et fréquence

Le traitement peut être réalisé toute l'année, une fois par site. Pour un rendement optimum, on privilégie tout de même une intervention par temps sec, afin d'éviter le traitement de sols gorgés d'eau (risques de bourrage du crible avec les argiles). Le rendement dépend du type de substrat, mais en moyenne, il faut compter 60 m³/jour. Les années suivantes, un contrôle lors des mois de mai à septembre est à envisager pour évaluer le succès de la technique.

Avantages / inconvénients

+	-
Communs à toutes les variantes	
Peut s'appliquer sur des vieux foyers	Coût de mise en place de l'atelier important
Possibilité de traiter de grandes surfaces	Consommation d'énergie et coûts importants
Traitement des rhizomes en profondeur	Impacte la structure et la texture du sol
Impact conséquent sur les foyers de PEE	
Selon les variantes	
	Demande une logistique importante (machines lourdes et volumineuses), non applicable sur des terrains en pente
	Non adapté aux sols pierreux, ni aux sols à texture argileuse
	Plateforme conséquente à proximité du chantier

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet (variantes de la technique)

CCG

Variante 1. concassage (ou aspiratrice)-criblage-tri sur place : la variante testée par la CCG consiste à trier manuellement les rhizomes et tiges de renouées sur place après criblage-concassage. Le tri est réalisé sur une table roulante sur laquelle les matériaux concassés et criblés sont disposés. Les matériaux triés sont ensuite criblés une deuxième fois avant de remettre en place la terre. Les rhizomes et les tiges de renouées prélevés sont évacués dans des bigs bags pour exportation en déchetterie. Les matériaux terreux ne sont pas évacués avec cette variante. Elle nécessite en revanche de la place pour l'installation de chantier. La composition du sol constitue le principal facteur de reprise des renouées asiatiques. Si nous sommes sur un sol riche en argiles, alors la destruction des rhizomes reste partielle. Sur les autres sites, environ une dizaine de pieds ont à chaque fois repoussé. On peut noter que les sites effectués à l'aspiratrice n'ont pas repris. Un suivi des repousses est réalisé sur plusieurs terrains (berges de cours d'eau, décharge, bords de routes, falaise, remblai sur zone humide) et pour plusieurs années.



Godet cribleur

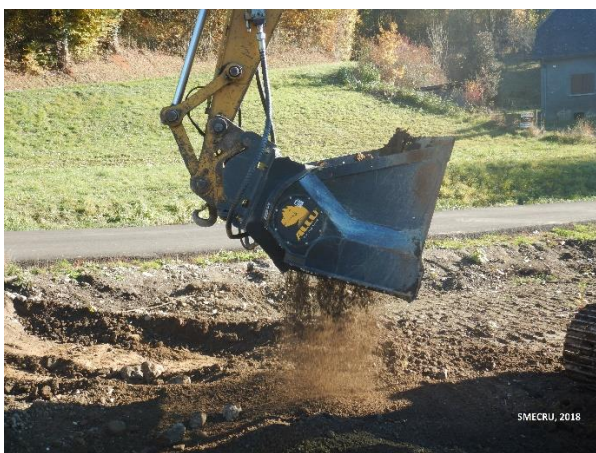


Table de tri

Syr'Usses

Variante 2. Concassage-bâchage : sur le site traité par le syndicat (450 m²), cette variante a été mise en œuvre de la manière suivante : les matériaux infestés ont été extraits sur 0,8 m à 1 m de profondeur. Ils ont été concassés avec un godet concasseur. L'opération a été répétée deux fois afin de s'assurer que les rhizomes soient réduits à des fractions inférieures à 10 mm. La zone traitée a ensuite été bâchée - en prévoyant une marge à minima de 2 m de part et d'autre de la zone traitée. La bâche qui a été utilisée sur le site traité par le syndicat était de type Plantex platinum 240 g/m². Une fois la bâche retirée (après 2 ans à minima), la zone est réensemencée de manière dense. Afin de minimiser les risques de dissémination, et parce que l'emplacement du site le permettait, l'opération a été réalisée sur place : fauche du site, dépôt d'une bâche au sol sur une moitié du site, extraction des matériaux sur l'autre moitié du site et dépôt sur la bâche. Les matériaux étaient ensuite repris et concassés directement dans la fosse d'extraction avant d'être réextraits une seconde fois pour un deuxième concassage. Une fois la fosse comblée par les matériaux concassés, la bâche était déplacée sur la moitié du site traitée et l'opération était répétée sur la seconde moitié. De cette manière, aucun mouvement de matériaux n'a eu lieu en dehors du site. À noter que la bâche utilisée pour le bâchage pendant 18 mois était différente de celle utilisée lors des opérations de concassage. Seules quelques pousses de renouées sont sorties en périphérie de la bâche l'année suivante. Elles ont été arrachées manuellement.

Les difficultés de mise en place ont été liées à la présence de réseaux souterrains (électrique et eau potable) en périphérie immédiate du site, ce qui n'a pas permis d'extraire les terres situées en périphérie de la zone. Ceci explique les quelques repousses autour de la bâche. La présence d'une souche d'arbre, pleine de cailloux a aussi été une limite, des rhizomes de renouées pouvant être coincés dedans. Cette souche a été laissée sur la bâche et surveillée avant d'être enfouie. Le résultat est donc très bon. L'opération de concassage a été menée sur environ 3 jours, pour un montant total de 4 930 €HT (en 2018).

**Godet concasseur****Matériaux traités avant bâchage**



Surface traitée et bâchée



Arrachage des pousses de renouées

ELTEL

Variante 3. Criblage-tri manuel-mise en décharge : cette variante répond à une difficulté technique de concasser les matériaux à moins de 10 mm. Les matériaux décaissés sont criblés à 0-35 mm. Les refus de criblages sont ensuite évacués en décharge (pierres et rhizomes). Les matériaux criblés sont triés manuellement. Un concassage des matériaux sur place peut être possible avec un godet concasseur. Les matériaux doivent être, au préalable, décaissés avec un godet de terrassement, les godets concasseurs ne permettant pas de terrasser en pleine masse. Une fois les matériaux mis en andains, ils peuvent être concassés. Attention de ne pas disséminer les rhizomes lors du décaissement. Les fournisseurs de ce type de godet ne peuvent généralement pas garantir avec certitude un concassage 0-10 mm. Cela n'est possible que sur un sol très sec et fin. Un contrôle des repousses et un arrachage d'entretien sont ensuite nécessaires.



Godet cribleur



Refus de criblage évacué

Fiches de retours d'expériences associés :

Criblage-concassage : CG 831^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** : 80-100 EUR/m² et 140-200 CHF/m² pour une profondeur de traitement de 1 m
- ▶ **Installation de chantier** : 1000-2000 EUR et 2000 CHF

t6. Bâchage



Source : Avis Vert



Source : Syr'Usses

Espèce ciblée dans le projet : renouées asiatiques

Détail de la technique

Le bâchage est un moyen de lutte efficace qui élimine l'accès des PEE à la lumière du jour. Pour assurer cette fonction, il faut assurer l'imperméabilité totale de la bâche. Cette technique s'applique essentiellement pour lutter contre les renouées asiatiques.

La méthodologie de pose retenue est la suivante :

- Préparation de la pose de la bâche ;
- Pose de la première nappe au fond de la tranchée, agrafée tous les 50 cm puis remblaiement de la tranchée avec le déblai d'origine ;
- Pose des nappes suivantes.

La préparation consiste en la réalisation d'une tranchée sur le pourtour de la zone à bâcher, située à 1 mètre à l'extérieur de la zone contaminée. Ces tranchées de 30 cm de profondeur hors foisonnement sont réalisées à l'aide d'une motobineuse. Les deux nappes sont superposées sur 20 centimètres minimum, puis fixées ensemble au sol en utilisant des agrafes posées en quinconce, puis la nappe supérieure est repliée pour couvrir les trous percés par les agrafes. L'utilisation de l'encollage des nappes n'est pas utile puisque le double agrafage assure leur parfaite cohésion. La dernière nappe est fixée à la précédente selon la méthode décrite ci-dessus, puis le bord extérieur est posé au fond de la tranchée, laquelle est ensuite refermée. Enfin, les deux bords de bâches restant sont à leur tour installés au fond des tranchées, puis recouvert de terre.

Combinaisons possibles de techniques

Il est intéressant d'utiliser le bâchage après intervention (fauche, arrachage, criblage-concassage, etc.) afin de réduire ou éradiquer totalement un foyer de PEE. La reprise des PEE pouvant être importante une fois la bâche retirée (volontairement ou involontairement), la végétalisation permet de favoriser le développement d'une végétation autochtone et donc de pérenniser la restauration écologique d'un site traité. En outre, un arrachage d'entretien permet d'empêcher le développement des pousses de PEE qui se développent rapidement à la moindre ouverture de bâche causée par une dégradation ou un défaut d'installation.

Durée et fréquence

Cette technique peut être réalisée toute l'année. Le suivi doit être effectué chaque année pour détecter les éventuels trous et pouvoir appliquer rapidement les rustines.

Avantages / inconvénients

+	-
Mise en œuvre peu onéreuse	Mise en œuvre nécessitant une maîtrise parfaite des modalités de pose de bâches
Efficace sur beaucoup de terrains	Impact paysager, aspect inesthétique
Complémentaire à beaucoup d'autres techniques	Utilisation de matériaux issus de la pétrochimie
	Vie du sol anéantie

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet**Syr'Usses**

Il faut prévoir un entretien des abords de la bâche par arrachage manuel des éventuelles repousses, malgré la prise d'une marge de largeur. Si la bâche doit être retirée, il est nécessaire de maintenir une surveillance poussée pour s'assurer de la non reprise des renouées asiatiques. Une revégétalisation dense et diversifiée (herbacées et ligneux) est incontournable après le retrait de la bâche.

CCG

Plusieurs sites ont bénéficié de la pose de ce type de bâche (de type Platinum, de la marque Plantex), spécialisée contre les renouées asiatiques (en berges de cours d'eau, en talus routier et à plat en zone agricole). D'une manière générale, cette dernière a repris sur tous les sites, malgré une pose de la bâche au-delà du foyer. Elle s'est développée en bordure de bâche ou dans des trous dus aux mégots de cigarette ou aux mulots. En revanche, avec un arrachage systématique, à raison de 5 fois par an, de mai à octobre, certains sites sont, à présent, exempts de renouées asiatiques.

Fiches de retours d'expériences associés :

Combiné avec arrachage : SU_P2^{rex}

Combiné avec lutte thermique, arrachage et végétalisation : SU009^{rex}, VD_P2^{rex}, VS_P1^{rex}, VS006-2C^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** : 19-21 EUR/m² et 34,5 CHF/m² (fourniture : 20 CHF/m² et pose : 14,5 CHF/m²)
- ▶ **Installation de chantier** : 200 EUR et 250 CHF

t7. Pâturage



Source : Syr'Usses



Source : Syr'Usses

Espèce ciblée dans le projet : renouées asiatiques

Détail de la technique

Selon le même principe que pour les fauches répétées, l'écopâturage par des herbivores force les renouées à repousser en utilisant leurs réserves rhizomiales et les épuise ainsi progressivement. Les petits ruminants tels que les chèvres, et les moutons (de préférence des races « rustiques ») sont particulièrement efficaces en écopâturage car ils s'adaptent facilement aux terrains et sont de bons « défricheurs ». Les chèvres semblent plus efficaces car elles broutent l'ensemble de la plante quand les moutons ont tendance à ne brouter que les feuilles et jeunes pousses.

Dans le respect des règles propres à l'élevage caprin ou ovin (soins aux animaux, abris, nombre de bêtes par surface, etc.), notons quelques spécificités pour lutter efficacement contre les renouées asiatiques :

- Pour les premières saisons végétatives, la pression peut être augmentée sur le site soit en augmentant le nombre d'animaux par unité de surface, soit en les forçant à consommer la PEE (enclot sur le massif) ;
- Il est nécessaire de changer régulièrement les animaux de site, durant la période de végétation. Cela permet de limiter les problèmes sanitaires et de mieux lutter contre les PEE (elles repoussent plusieurs fois donc s'affaiblissent).

Combinaisons possibles de techniques

Le pâturage n'a pas été combiné avec une autre technique dans le cadre du projet, mais il pourrait être complémentaire à d'autres techniques, dans la mesure où il est possible de clôturer un site et d'y installer et gérer du bétail. En revanche, des précautions particulières seraient à prendre en combinaison avec la technique de végétalisation car les jeunes végétaux implantés pourraient être consommés par le bétail.

Durée et fréquence

Cette technique peut être effectuée pendant toute la période de végétation.

Avantages / inconvénients

+	-
Pas d'utilisation de machine nécessaire	Gestion d'animaux vivants (soins, abris, maladie, etc.) nécessaire
Pédagogique et ludique pour le grand public	Nécessite une présence quasi quotidienne (déplacement, surveillance des animaux)
Méthode adaptée à différentes configurations (zones escarpées, petit et gros massifs)	

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet

Retours du Syr'Usses : un seul site a fait l'objet d'un traitement par pâturage caprin durant le projet. Si cette opération montre des résultats positifs, l'essai mené au cours du projet reste néanmoins trop anecdotique pour permettre de mettre en avant une comparaison fiable vis-à-vis des autres méthodes, notamment du traitement thermique.

Fiches de retours d'expériences associés :

SU011-HM rex

Coûts moyens (HT)

NC

t8. Décapage



Source : ELTEL



Source : ELTEL

En Suisse, dans le canton de Vaud, sur le site marécageux du Grand-Bataillard le long de la Versoix, différentes campagnes de décapage ont été menées afin de lutter contre les solidages. Un horizon de 15 cm de terre a été retiré (la valorisation des matériaux a fait l'objet de l'onglet compostage). Différents tests de profondeurs ont montré que le décapage sur 15 cm est suffisant pour lutter contre cette PEE. Ces tests ont été suivi par le DGE Biodiv du canton de Vaud. Des décapages ont aussi été réalisés sur des berges de rivière, comme la Broye, où les solidages américains s'étaient installés.

Le décapage a plusieurs vocations. D'une part il permet de retirer le stock grainier présent dans le sol et, d'autre part, il permet de reconstituer des milieux pionniers et très humides dans le marais. Les surfaces décapées s'apparentent à de grands étangs. Cette action, qui combine deux objectifs, est tout à fait pertinente et efficace comme moyen de lutte contre les solidages américains. En effet, ces derniers se multiplient par leurs graines et ne se développent pas dans l'eau. Il est recommandé de végétaliser les terrains décapés exempts de végétation pour favoriser le retour d'une végétation indigène et limiter le retour d'espèces indésirables.

Fiches de retours d'expériences associés :

Aucune

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Coût surfacique** : 5-25 EUR/m² et 10-30 CHF/m²
- ▶ **Installation de chantier** : 1000-2000 EUR et 2000 CHF

t9. Végétalisation



Source : HEPIA



Source : HEPIA

Espèce ciblée dans le projet : renouées asiatiques

Détail de la technique

Cette famille de techniques se caractérise par l'implantation de matériel végétal sous différentes formes (végétative ou sexuée), afin de protéger les sols de l'érosion et/ou de l'implantation d'espèces exotiques envahissantes, en initiant un processus de succession écologique. Elle est donc complémentaire aux méthodes de lutte actives et se met en place généralement ultérieurement (sauf interventions ciblées). Selon le contexte, différentes techniques peuvent être mises en œuvre par des entreprises spécialisées : des plus simples, telles que l'ensemencement, le bouturage et la plantation, aux plus complexes, telles que les lits de plants et plançons et les couches de branches à rejet. La mise en œuvre de ces techniques est détaillée dans le chapitre 3.2.

L'objectif principal est d'installer un couvert végétal stable qui domine rapidement et durablement. Pour cela il s'agit d'utiliser une forte densité de ligneux pour atteindre un effet de compétition, et/ou un ensemencement herbacé concurrentiel qui constituera une première couverture.

L'objectif secondaire est d'y parvenir tout en générant une plus-value écologique de par l'utilisation de matériel vivant indigène, souvent collecté en milieu naturel à proximité du site traité.

Combinaisons possibles de techniques

Dans le cadre du projet, la végétalisation a été combinée avec le traitement thermique. La végétalisation permet de favoriser la reprise d'une végétation autochtone au détriment des PEE qui ont été affaibli par le traitement. Il est possible de combiner la végétalisation avec toutes les techniques dans la mesure où le contexte du site permet la croissance/reprise des végétaux implantés. Pour favoriser la croissance/reprise des végétaux autochtones, un arrachage des pousses de PEE est conseillé les premières années suivant les travaux.

Durée et fréquence

Globalement, la végétalisation s'effectue en une fois postérieurement au traitement, en veillant à planifier correctement la mise en œuvre pour ne pas réintervenir sur le site, notamment avec des machines. Un arrachage ciblé peut être réalisé après végétalisation, pour autant que le semis mis en place (le cas échéant) soit suffisamment développé pour résister au piétinement.

Pour une meilleure garantie de reprise, cette technique doit être mise en œuvre en période de repos végétatif, soit entre octobre et mars.

Avantages / inconvénients

+	-
Utilisation de matériel végétal, écologique, peu d'intervention de machines selon la complexité de la technique mise en œuvre	Intervention ultérieure avec technique active (non ciblée) pouvant engendrer la destruction de l'aménagement constitué
Favorise la biodiversité indigène et adaptée au site (nécessite des connaissances en botanique et de connaître la traçabilité du matériel)	Mise en œuvre limitée à la période octobre-mars (ligneux), pour une meilleure efficacité
Collecte de matériel végétal en milieu naturel à proximité du chantier, à faible coûts.	Travail de recherche et de collecte de matériel végétal adapté (idéalement avec traçabilité), nécessitant des connaissances en botaniques
Aménagement évoluant naturellement dans le temps vers une couverture concurrençant les PEE	Résultats tributaires des conditions climatiques des 1-2 premières années
	Offres de semences locales/écotypes du marché limitées et/ou onéreuses.

Retours d'expériences des partenaires dans le cadre du projet

Dans le cadre du projet, 13 sites ont été végétalisés, après traitement selon diverses techniques complémentaires. Dans la plupart des cas, des ensemencements ont été effectués. Dans certains contextes particuliers, des techniques complexes de couches branches à rejet ont été mises en œuvre. Si dans le cadre du projet les mesures de végétalisation n'ont pas pu toutes être mises en œuvre, des préconisations ont été effectuées (chapitre 3.2). Globalement, les résultats d'analyse du suivi scientifique indiquent que la couverture indigène et la biodiversité sont plus élevées en fin de projet pour les sites végétalisés que pour les autres sites.

Fiches de retours d'expériences associés :

Combiné avec traitement thermique : SU007^{rex}

Combiné avec traitement thermique, arrachage et bâchage : SU009^{rex}, VD_P2^{rex}, VS_P1^{rex}, VS006-2C^{rex}

Combiné avec traitement thermique et fauche : SU005^{rex}, SU023^{rex}

Combiné avec traitement thermique et arrachage : SU_P1^{rex}, SU002-1^{rex}, SU002-2^{rex}, SU003^{rex}, SU004-1^{rex}, SU008^{rex}

Coûts moyens (HT)

- ▶ **Ensemencement** : 3 EUR/m² et 4 CHF/m²
- ▶ **Aménagement de génie végétal complexe** : 80 EUR/m² et 100 CHF/m²

3.1.5 Synthèse des retours d'expériences, critères décisifs des techniques

Fort des expériences des partenaires, dans le contexte socio-économique et environnemental du projet, il est possible de mettre en place des outils d'aide aux choix des techniques (tableau 9 & tableau 10). Les critères de choix déterminants sont : la surface du site à traiter, la nature du terrain et du sol, l'accessibilité au site, le milieu naturel traité, les PEE ciblées et leur stade de développement, les coûts des opérations, et d'autres critères spécifiques, inhérents à la bonne mise en œuvre d'une technique. **Pour chaque choix de technique, un ou plusieurs de ces critères sont déterminants :**

→ **Pour le traitement thermique**, un raccordement en eau est nécessaire à proximité du site (à moins de 2 km), le terrain doit être plat et accessible et le sol ne doit pas être argileux. Il n'est pas possible de traiter une surface de plus de 40 m² par jour. Par ailleurs, cette technique est coûteuse : en moyenne 62,5 EUR/m² (FR) et 80 CHF/m² (CH), ainsi que 600-1200 EUR (FR) et 400-1000 CHF (CH) pour l'installation de chantier.

→ **Pour l'arrachage**, les individus à arracher ne doivent pas être trop développés, sinon cela devient difficile voire impossible. De plus, le traitement d'une grande surface (> 100 m²) est laborieux, sauf s'il est possible de mobiliser beaucoup de main d'œuvre (bénévolat). Cette technique coûte en moyenne 1,9-11 EUR/m² (FR) et 2-20 CHF/m² (CH), ainsi que 200 EUR (FR) et 250 CHF (CH) pour l'installation de chantier.

→ **Pour la fauche**, la mécanisation est possible. Dans ce cas, de grandes surfaces peuvent être traitées (> 100 m²), mais le terrain doit être accessible et praticable. La fauche manuelle peut aussi être difficile sur des terrains pentus et/ou accidentés. La fauche manuelle coûte en moyenne 0,4-1,2 EUR/m² et 0,4-1 CHF/m² et la fauche mécanisée, 0,30 EUR/m² et 0,50 CHF/m² avec +/- 1000 EUR-CHF d'installation de chantier.

→ **Pour la coupe, dessouchage et broyage** de ligneux, il faut que les pieds à traiter soit accessibles avec la/les machine(s) concernée(s) Le coût moyen de la technique est de 1 EUR/m² (FR) et 1,50 CHF/m² (CH), ainsi que de 600-1200 EUR (FR) et 400-1000 CHF (CHF) pour l'installation de chantier.

→ **Pour le criblage-concassage**, le terrain doit être plat, accessible, pas trop accidenté et le sol ne doit pas être trop pierreux pour permettre la bonne mise en œuvre de la technique. La technique est moins efficace sur des foyers développés. Par ailleurs, cette technique est coûteuse : en moyenne 80-100 EUR/m² (FR) et 140-200 CHF/m² (CH) ainsi que 1000-2000 EUR (FR) et 2000 CHF (CH) pour l'installation de chantier.

→ **Pour le bâchage**, il faut que le terrain soit adapté à la pose et la fixation de la bâche. Le bâchage coûte en moyenne 20 EUR/m² (FR) et 34,5 CHF/m² (CH), ainsi que +/- 200 EUR-CHF pour l'installation de chantier.

→ **Pour le pâturage**, le contexte du site doit permettre la mise en pâture et la bonne gestion du bétail.

→ **Pour le décapage**, il faut que le terrain soit praticable et exempt d'obstacles à la bonne mise en œuvre de la technique. Cette technique coûte en moyenne 5-25 EUR/m² (FR) et 10-30 CHF/m² (CH), ainsi que +/- 1500 EUR-CHF pour l'installation de chantier.

→ **Pour la végétalisation**, il est important d'intervenir à la bonne période (entre octobre et mars pour l'implantation de ligneux) pour assurer la bonne reprise des végétaux implantés. Selon les modalités de mise en œuvre et le matériel végétal utilisé, le coût de mise en œuvre peut varier de 3 EUR/m² (FR) ou 4 CHF/m² (CH) (ensemencement) à environ 80 EUR/m² (FR) ou 100 CHF/m² (CH) (aménagements complexes).

Tableau 9. Avantages et inconvénients des huit techniques principales testées, selon les retours d'expériences des partenaires

	Avantages	Inconvénients
t1. Traitement thermique	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Bons résultats sur les jeunes foyers ▲ Pas de gestion des déchets de rhizomes à prévoir ▲ Pas d'utilisation de produits chimiques ▲ Pas d'excavation de matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Consommation d'énergie et d'eau importantes ; accès à un raccordement d'eau nécessaire ▼ Structure et la stabilité du sol impactés ; pas adaptée à des sols trop argileux ▼ Traitement de 40 m² de surfaces infestées par jour maximum ▼ Nécessite un accès à une piste carrossable à 200 m et un terrain peu pentu (pente < 20%)
t2. Arrachage	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Pas d'utilisation de machines ▲ Facilité de mise en œuvre ▲ Sélectivité fine des espèces arrachées ▲ Applicable sur des sites déjà végétalisés 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Application difficile sur des individus trop développés ▼ Adapté aux massifs de taille petite et moyenne ▼ Nécessité d'intervenir souvent durant la saison de végétation ▼ Gestion nécessaire des déchets verts conséquente
t3. Fauche	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Permet de traiter des sites de plusieurs hectares ▲ Le sol n'est pas impacté si les machines utilisées ont une pression au sol adaptée au milieu et à la météorologie 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Risque de dissémination si pas réalisé rigoureusement et sur les espèces adéquates ▼ Nécessite une action répétée et rigoureuse ▼ Non sélectif, la végétation indigène est également impactée ▼ Ne permet pas une éradication rapide, surtout une réduction de la biomasse ▼ Gestion nécessaire des matériaux de fauche conséquente
t4. Coupe, dessouchage et broyage	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Efficace et ciblée, impactant peu la structure du sol ▲ Permet de traiter des individus de buddléia développés ▲ Débris de bois laissés sur place apportant de la matière organique au sol 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Nécessite un accès au site suffisant pour intervenir avec du matériel permettant de dessoucher ou rogner ▼ Deux interventions nécessaires : coupe manuelle, puis rognage avec machine ▼ Gestion nécessaire des matériaux de coupe conséquente
t5. Criblage - concassage	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Peut s'appliquer sur des vieux foyers ▲ Possibilité de traiter de grandes surfaces ▲ Traitement des rhizomes en profondeur ▲ Impact conséquent sur les foyers de PEE 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Coût de mise en place de l'atelier important ▼ Consommation d'énergie et coûts importants ▼ Impacte la structure et la texture du sol ▼ Plateforme conséquente à proximité du chantier (selon variante) ▼ Demande une logistique importante, non applicable sur terrain en pente (selon variante) ▼ Criblage et tri difficile sur sol pierreux (selon variante)
t6. Bâchage	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Mise en œuvre peu onéreuse ▲ Efficace sur beaucoup de terrains ▲ Complémentaire à beaucoup de techniques 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Vie du sol anéantie ▼ Impact paysager, aspect inesthétique ▼ Utilisation de matériaux issus de la pétrochimie ▼ Mise en œuvre nécessitant une maîtrise parfaite des modalités de pose de bâches
t7. Pâturage	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Pas d'utilisation de machine nécessaire ▲ Pédagogique et ludique pour le grand public ▲ Méthode adaptée à différentes configurations (zones escarpées, petit et gros massifs) 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Gestion d'animaux vivants (soins, abris, maladie, etc.) nécessaire ▼ Nécessite une présence quasi quotidienne (déplacement, surveillance des animaux)
t9. Végétalisation	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Utilisation de matériel végétal, écologique, peu d'intervention de machines ▲ Favorise la biodiversité indigène et adaptée au site ▲ Collecte de matériel végétal en milieu naturel à proximité du chantier, à faible coûts ▲ Aménagement évoluant naturellement dans le temps vers un milieu plus concurrentiel pour les PEE 	<ul style="list-style-type: none"> ▼ Travail de recherche et de collecte de matériel végétal ▼ Offres de semences locales/écotypes du marché limitées et/ou onéreuses. ▼ Intervention avec une technique active non ciblée menaçant l'aménagement constitué ▼ Résultats tributaires des conditions climatiques les 1-2 premières années ▼ Mise en œuvre limitée à la période octobre-mars (ligneux)

Les retours d'expériences sur le décapage (t8) ne sont pas suffisants pour inclure la technique dans les outils d'aide aux choix des techniques

Partie B - Développement des techniques de lutte

Tableau 10. Schéma d'aide à la décision des modalités de technique de lutte contre les six espèces exotiques du projet

Techniques de lutte		t1. Traitement thermique	t2. Arrachage	t3. Fauche	t4. Coupe, dessouchage et broyage	t5. Criblage - concassage	t6. Bâchage	t7. Pâturage	
Espèce	Berce du Caucase								
	Buddléia de David								
	Bunias d'orient								
	Renouées asiatiques								
	Solidages américains								
	Souchet comestible								
Milieu	Semi-aquatique/Zones humides								
	Talus routier et ferroviaire								
	Friches urbaines								
	Agricole								
	Forestier								
	Enrochement bord de rive								
Sol	Sol argileux								
	Sol non argileux								
Pente	Nulle - faible (<10 %)								
	Moyenne (10-20 %)								
	Forte (> 20 %)								
Accessibilité	Facile								
	Moyenne								
	Difficile								
Raccordement	Absence réseau eau								
	Absence réseau électrique								
Surface	0-100 m ²								
	100-300 m ²								
	> 300 m ²								
Coût	Coût surfacique moyen (HT)	FR	62,50 EUR/m ²	1,9-11 EUR/m ²	0,4-1,2 [*] ou 6 ^{**} EUR/m ²	80-100 EUR/unité	80-100 EUR/m ²	19-21 EUR/m ²	NC
		CH	80 CHF/m ²	2-20 CHF/m ²	0,4-1 [*] ou 8 ^{**} CHF/m ²	35-250 CHF/m ²	140-200 CHF/m ²	34,5 CHF/m ²	NC
	Coût installation de chantier (HT)	FR	600-1200 EUR	200 EUR	600-1200 ^{**} EUR	600-1200 EUR	1000-2000 EUR	200 EUR	1000-2000 EUR
		CH	400-1000 CHF	250 CHF	400-1000 ^{**} CHF	400-1000 CHF	2000 CHF	250 CHF	2000 CHF

* Fauche mécanisée

** Fauche manuelle

	Adapté
	Peu adapté
	Non adapté
	Non testé ou non concerné

Les retours d'expériences sur le décapage (t8) ne sont pas suffisants pour inclure la technique dans les outils d'aide aux choix des techniques. Les techniques de végétalisations sont présentées dans un chapitre spécifique (3.2).

3.2 Cortèges végétaux spécifiques, mise en œuvre des protocoles de revégétalisation

Parmi les techniques testées dans le cadre du projet, la revégétalisation s'avère être une technique qu'il est possible de combiner aux autres, afin d'optimiser la restauration d'un milieu naturel colonisé.

3.2.1 Le génie végétal - Généralités

Les techniques de génie végétal ont historiquement surtout pour objectif la protection des sols contre l'érosion. Elles utilisent pour cela une majorité d'espèces indigènes à caractère pionnier qui présentent une croissance initiale dynamique, couvrent rapidement le sol pour le protéger efficacement et développent des systèmes racinaires qui produisent un effet d'ancrage en profondeur. Ces opérations de végétalisation permettent d'initier un processus de succession écologique en choisissant les plantes qui paraissent les plus efficaces pour atteindre les objectifs de l'aménagement et les plus adaptées aux conditions du milieu. Le comportement de ces espèces indigènes présente également un intérêt pour limiter l'implantation spontanée d'espèces végétales indésirables. Leur implantation est par conséquent une action complémentaire aux traitements d'éradication des espèces néophytes envahissantes.

- **Situation pionnière** : la situation après traitement contre une EEE correspond à une situation pionnière (post-perturbation), avec notamment un substrat/sol nu et une situation de pleine lumière. La suppression d'une espèce invasive ne suffit pas toujours à favoriser le retour spontané de la végétation native et le rétablissement du bon fonctionnement de l'écosystème. Une intervention active pour restaurer une communauté végétale diversifiée dans les zones envahies peut donc s'avérer nécessaire.
- **Effet de compétition** : plusieurs études et des observations de terrain ont confirmé que les renouées asiatiques sont sensibles à la compétition pour la lumière et qu'en situation ombragée, leur croissance est limitée. Le génie végétal peut accélérer les successions végétales sur les zones envahies et soumettre les espèces exotiques envahissantes à la compétition interspécifique en installant rapidement un couvert végétal stable. L'espace aérien disponible ainsi réduit par des espèces à croissance rapide, permet de priver au maximum les invasives de lumière.
- **Matériel** : les techniques de génie végétal ont pour but d'installer un couvert végétal stable et dense durablement. Pour cela, il s'agit d'utiliser une forte densité de ligneux et/ou d'herbacées pour atteindre un effet de compétition, ainsi qu'un ensemencement concurrentiel qui constituera une première couverture le temps du développement des ligneux. La communauté végétale compétitive devra être installée par la plantation et/ou le semis d'espèces natives. Il est essentiel d'accompagner l'aménagement par de l'arrachage durant le développement des végétaux mis en place.
- **Techniques** : différentes techniques de génie végétal peuvent être employées. Les parties suivantes présentent les techniques de végétalisation identifiées et applicables aux sites du projet. Trois principaux types de végétalisation simples dans leur mise en œuvre ont été identifiés : l'ensemencement, le bouturage et la plantation. Les paragraphes suivants détaillent leurs objectifs, mise en œuvre et listes d'espèces génériques préconisées. D'autres techniques plus complexes dans leur mise en œuvre sont ensuite abordées. Ces protocoles sont génériques dans la mesure où ils peuvent couvrir les différentes situations envahies dans le secteur étudié. Des préconisations par site ont cependant été énoncées afin de maximiser l'effet de végétalisation tout en s'adaptant au contexte particulier du site (tableau des préconisations en annexe 4).

3.2.2 Ensemencement concurrentiel

La mise en place d'un semis concurrentiel après traitement est souvent indispensable (même si des aménagements ligneux sont effectués). Il assure le développement rapide d'un couvert herbacé dense afin de limiter au mieux les possibilités de recolonisation par les plantes invasives.

Mélange grainier

Dans le cadre du projet un mélange (MG1) a été développé par HEPIA et produit par l'entreprise OHS. Il s'agit d'un mélange unique, à relativement large spectre, mais adapté pour des terrains plutôt terreux. L'expression de celui-ci dépend des conditions du site ensemencé.

Il est composé de 13 espèces indigènes (détail complet du mélange en annexe 5) et deux variantes à écotypes CH-Plateau ou CH-Genève (autant que possible, voir détail en annexe), dont :

- 95% de graminées (8 espèces) ;
- 3% de légumineuses (3 espèces) ;
- 2% d'autres dicotylédones (2 espèces).

La variante aux écotypes CH-Genève a été utilisée pour les sites genevois et français, tandis que la variante aux écotypes CH-Plateau a été utilisées pour les autres cantons suisses.

Mise en œuvre

L'ensemencement est mis en œuvre selon les indications suivantes :

- ▶ Semis manuel à la volée
- ▶ Qualité : écotypes CH-Plateau ou CH-GE
- ▶ Densité : 10 g/m²
- ▶ Période : dès 1 semaine après traitement

La mise en place d'un **treillis de jute** sur toute la surface est fortement recommandée. Il favorise la croissance végétale herbacée et ligneuse, évite le ravinement de surface, marque les limites de l'aménagement.

Estimation des coûts

Selon la complexité du mélange, le fournisseur et l'utilisation d'écotypes locaux (ce qui est recommandé), les tarifs de fourniture peuvent varier. A titre d'exemple, la fourniture du mélange MG1 établi sur-mesure a coûté 93,70 CHF/kg soit un coût de 0,94 CHF par mètre carré ensemencé (tableau 11).

Tableau 11. Coûts d'un ensemencement

Estimation au m ²	France	Suisse
Fourniture	0,96 EUR	0,94 CHF (mélange sur-mesure et écotypes locaux)
Mise en œuvre	1,50 à 2,00 EUR	2,50 à 3,00 CHF (manuel)

3.2.3 Bouturage

Dans des contextes de berges de cours d'eau ou en bordures de zones marécageuses, une végétation ligneuse à croissance rapide peut être mise en place afin d'augmenter la concurrence vis-à-vis de l'espèce néophyte envahissante. Cet objectif peut être obtenu en utilisant des boutures de saules, c'est-à-dire des fragments de tiges correspondant aux descriptifs ci-dessous. L'avantage de cette technique est de pouvoir se fournir de ce matériel végétal en milieu naturel ; à noter que cette technique peut être mise en place en substrat grossier, mais elle nécessite une proximité avec l'eau (nappe, cours d'eau) pour que la croissance initiale soit rapide.

Liste d'espèces pouvant être utilisée pour le bouturage

Plusieurs listes d'espèces des saules (*Salix* spp.) peuvent être utilisées selon le contexte général du site :

Eau courante, sol grossier :

- *S. purpurea* (pourpre)
- *S. elaeagnos* (drapé)
- *S. myrsinifolia* (noircissant)
- *S. alba** (blanc)

Eau courante, sol fin :

- *S. triandra* (trois étamines)
- *S. viminalis* (des vanniers)
- *S. purpurea* (pourpre)
- *S. alba** (blanc)

Eau stagnante, sol fin :

- *S. cinerea* (cendré)
- *S. purpurea* (pourpre)
- *S. viminalis* (des vanniers)
- *S. alba** (blanc)

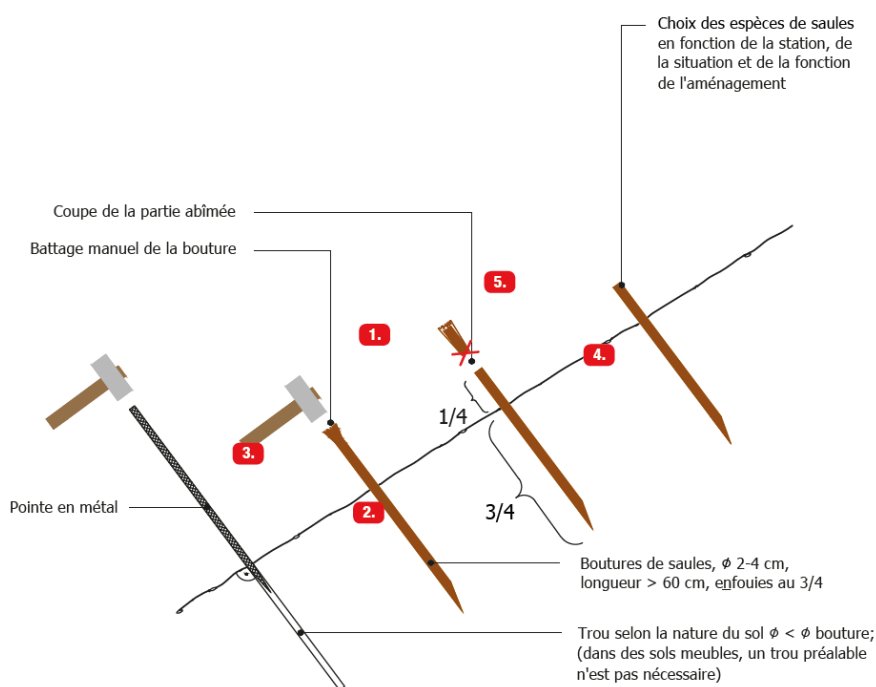
* A noter que la pertinence de la mise en place de *Salix alba* doit être évaluée sur le site, cette espèce présentant un port arboré et pouvant atteindre des tailles importantes (largement supérieures à 10 m de haut).

Le matériel végétal utilisé se doit d'être indigène, et le plus local possible afin de mettre en place des écotypes locaux adaptés aux conditions des sites.

Mise en œuvre

Le bouturage est mis en œuvre selon les indications et le schéma technique suivants (figure 19) :

- ▶ Période : octobre – mars
- ▶ Densité : 5 boutures par m²
- ▶ Qualité : boutures de 2-5 cm de diamètre et de longueur > 60 cm



Source : © HEPIA

Figure 19. Schéma type d'implantation de boutures de saules

Estimation des coûts

Le tableau 12 détaille les coûts de mise en œuvre de la technique de bouturage.

Tableau 12. Coûts du bouturage

Estimation à la pièce	France	Suisse
Fourniture	1,5 à 2 EUR	2 à 3 CHF
Mise en œuvre	1,5 à 2 EUR	2 à 3 CHF

3.2.4 Plantation

Dans des situations forestières ou d'autres situations permettant la mise en place de végétation ligneuse, la plantation de plants forestiers à croissance rapide peut être mise en place pour augmenter la concurrence vis-à-vis de l'espèce néophyte envahissante ; à noter que la plantation peut être difficile et donner des résultats aléatoires sur substrats très grossiers.

Liste d'espèces

Une liste d'espèces communes adaptées à la plantation, à croissance rapide et à grande amplitude écologique (condition du sol, exposition et humidité) est proposée ci-dessous :

Nom scientifique	Non vernaculaire
<i>Ligustrum vulgare</i>	Troène commun
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin
<i>Salix caprea</i>	Saule marsault
<i>Populus tremula</i> *	Peuplier tremble
<i>Betula pendula</i> *	Bouleau verruqueux

* A noter que la pertinence de la mise en place de ces espèces doit être évaluée sur le site car elles présentent un port arboré pouvant atteindre des tailles importantes (largement supérieures à 10 m de haut).

À cette liste peuvent être ajoutées des essences de moins grande amplitude selon les conditions d'humidité :

Tendance humide

Nom scientifique	Non vernaculaire
<i>Alnus incana</i> *	Aulne blanc
<i>Prunus padus</i>	Cerisier à grappes
<i>Prunus avium</i> *	Merisier
<i>Viburnum opulus</i>	Viorne obier
<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir

Tendance sèche

Nom scientifique	Non vernaculaire
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Argousier
<i>Viburnum lantana</i>	Viorne lantane

* A noter que la pertinence de la mise en place de ces espèces doit être évaluée sur le site car elles présentent un port arboré pouvant atteindre des tailles importantes (largement supérieures à 10 m de haut).

Le matériel végétal utilisé se doit d'être indigène, et le plus local possible, afin de mettre en place des écotypes adaptés aux conditions des sites.

Mise en œuvre

La plantation est mise en œuvre selon les indications suivantes :

- ▶ Période : octobre - mars
- ▶ Qualité : plants forestiers racines nues 40/60 cm
- ▶ Densité : 3 plants par m² (espacement 50 cm)

Estimation des coûts

Le tableau 13 détaille les coûts de mise en œuvre de la technique de plantation.

Tableau 13. Coûts de la plantation

Estimation à la pièce	France	Suisse
Fourniture	2 à 5 EUR (plant) 7 à 40 EUR (baliveau)	3 à 6 CHF (plant) 18 à 70 CHF (baliveau)
Mise en œuvre	2 à 4 EUR (plant) 10 à 15 EUR (baliveau)	3 à 5 CHF (plant) 15 à 20 CHF (baliveau)

3.2.5 Technique hybride

Afin d'exercer une concurrence et un recouvrement végétal théoriquement supérieurs, il est possible de **combinaison des deux techniques de bouturage et de plantation**. Les listes d'espèces et détails de mise en œuvre sont identiques à ceux présentés plus haut, mis à part les caractéristiques de densité (figure 20).

Mise en œuvre

La mise en œuvre prend en considération les densités suivantes :

- ▶ Densité de plantation : 0.5 plant /m²
- ▶ Densité de bouturage : 2 boutures / m²



Source : © P.-A. Frossard

Figure 20. Exemple de technique hybride

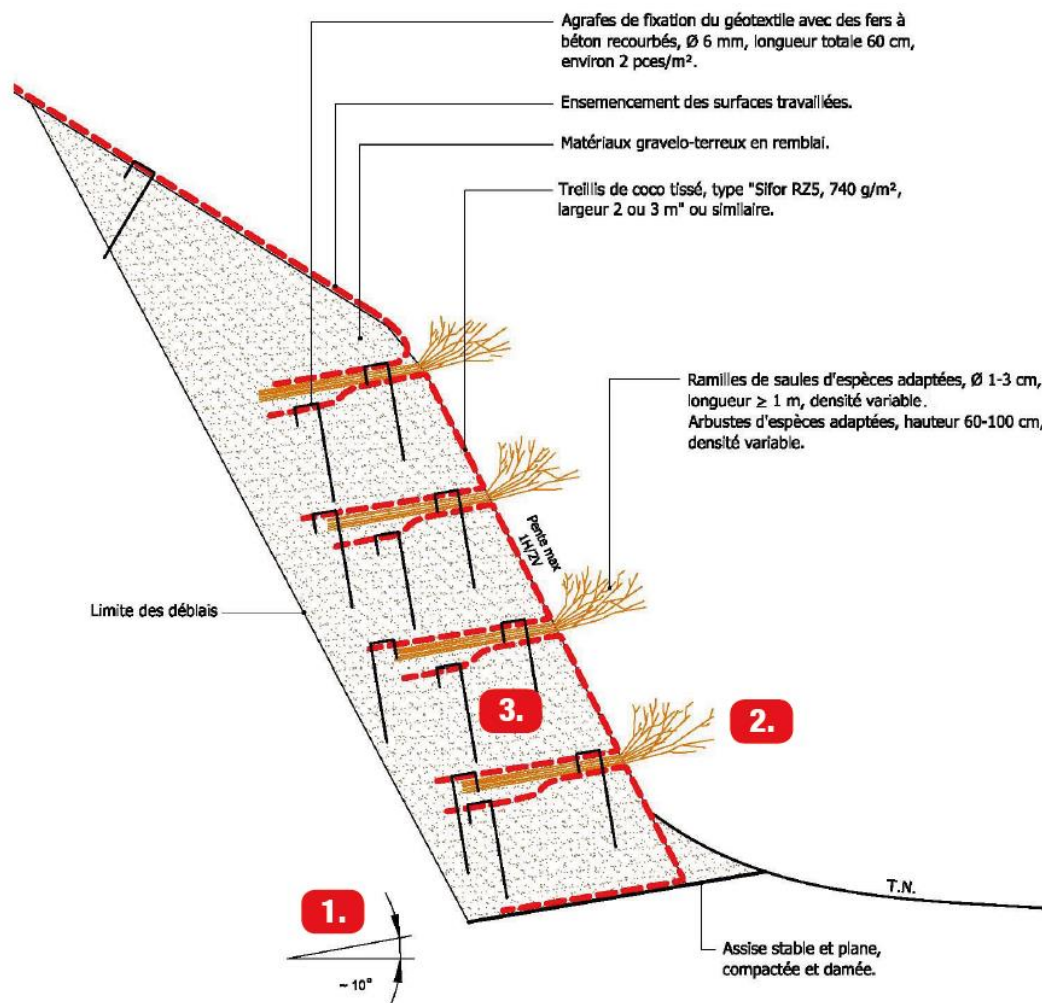
3.2.6 Techniques de génie végétal complexes

Si les techniques présentées ci-avant sont des techniques simples, certaines autres techniques de génie végétal peuvent s'avérer adéquates dans des contextes présentant des contraintes particulières (risques de crues, stabilisation de pente, etc.). Comme elles dépendent de la situation particulière des sites, ces techniques spécialisées de génie végétal sont moins détaillées dans ce rapport.

Lits de plants et plançons

Cette technique, particulièrement adaptée aux pentes et berges de cours d'eau, consiste à enfouir partiellement diverses essences végétales ligneuses (adaptées aux conditions) en racines nues ou en ramilles (pour les saules). Un large choix d'essences peut être effectué, ce qui permet de s'adapter à de nombreuses situations. La croissance est très vigoureuse et les plants sont moins exposés à la sécheresse de par leur enfouissement partiel.

Cette technique nécessite des travaux de terrassement importants et une quantité de matériel végétal très importante (figure 21).



Source : © HEPIA

Figure 21. Schéma type de la mise en place de lits de plans et plançons

Estimation des coûts

Le tableau 14 détaille les coûts de mise en œuvre de la technique de lits de plants et plançons.

Tableau 14. Coûts des lits de plans et plançons

Prix au ml par niveau	France	Suisse
Total	Env. 80 EUR	Env. 100 CHF

Couches de branches à rejets

Cette technique, principalement adaptée aux berges de cours d'eau, consiste à plaquer au sol des branches de saules qui en rejetant produisent un effet de couverture homogène et un développement dense (figure 22 & figure 23).

La mise en œuvre nécessite une maîtrise importante de la technique et une quantité de matériel végétal très importante.

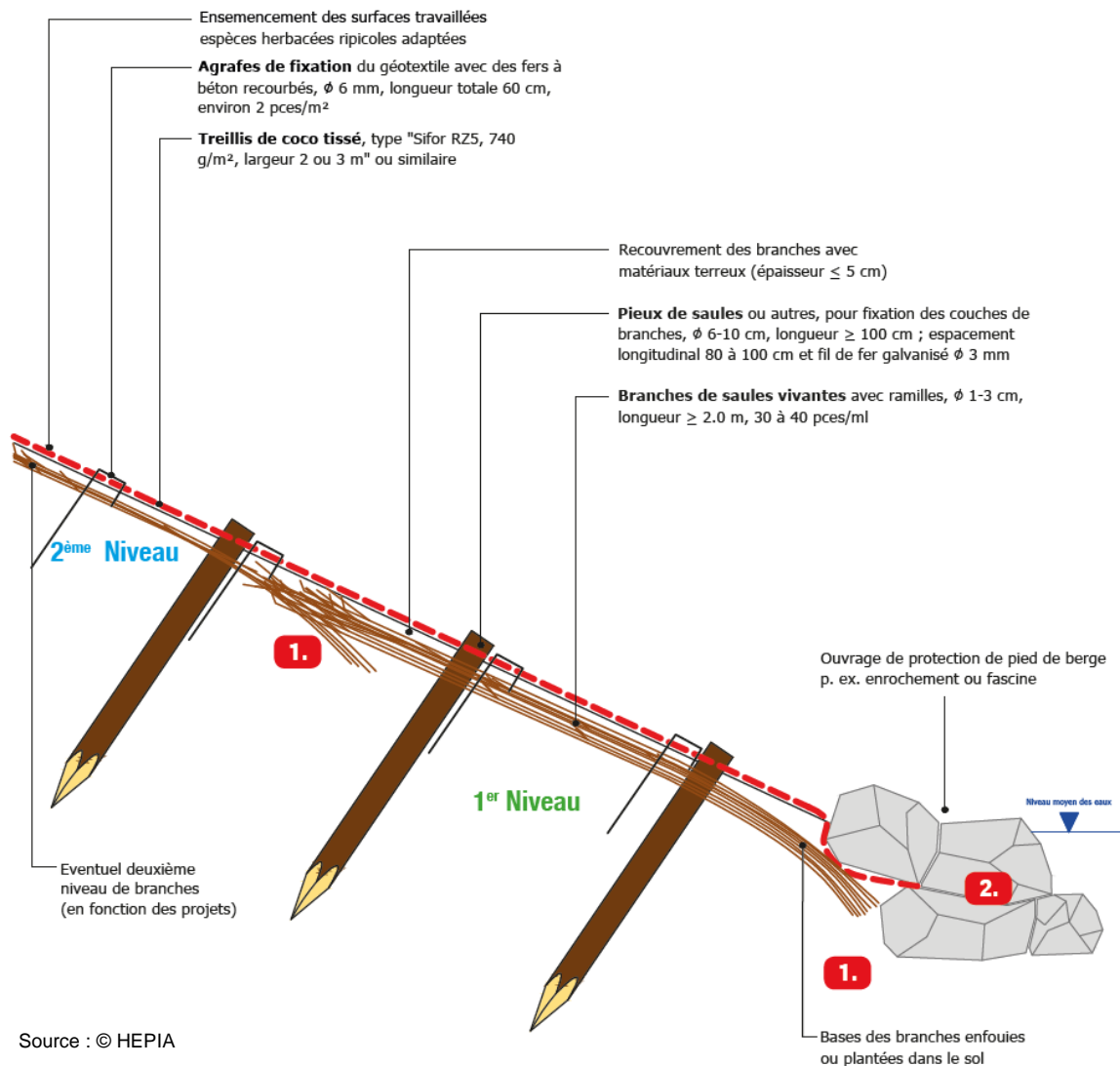


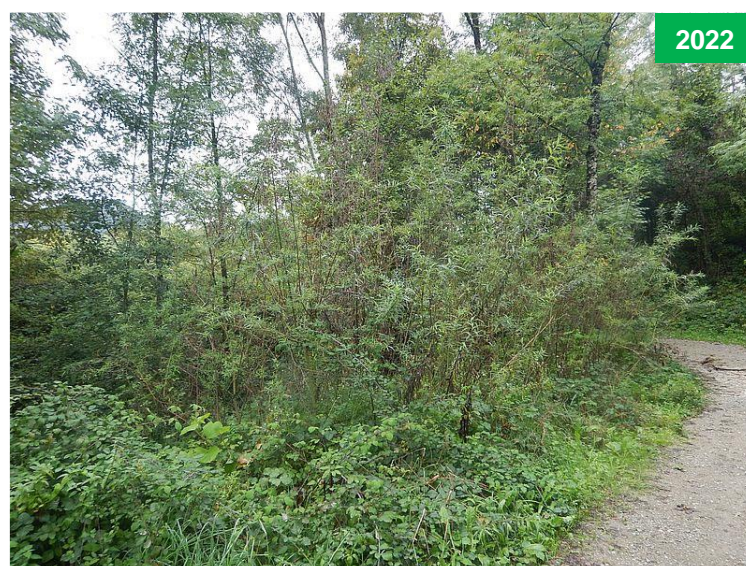
Figure 22. Schéma type de mise en place de branches à rejets

Estimation des coûts

Le tableau 15 détaille les coûts de mise en œuvre de la technique de couches de branches à rejets.

Tableau 15. Coûts des couches de branches à rejets

Prix au m ²	France	Suisse
Total	Env. 80 EUR	Env. 100 CHF



Source : © Syr'Usses

Figure 23. Evolution d'un site colonisé par les renouées, aménagé en couches de branches à rejets, à Contamine-Sarzin

3.3 Traitement des résidus végétaux – cadre réglementaire et technique

3.3.1 Cadre réglementaire – En France

Le traitement des déchets végétaux issus de la lutte contre les PEE (graines, feuilles, tiges et/ou parties souterraines) fait partie intégrante de la stratégie de gestion de ces plantes sur un territoire.

La stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes recommande de prendre en compte le risque de dissémination des plantes invasives à toutes les étapes de la gestion : lors de l'arrachage des végétaux, lors du transport des déchets verts en résultant, ainsi que lors du stockage et du traitement de ces déchets.

Selon les espèces considérées, les résidus (parties aériennes et/ou souterraines) :

- peuvent présenter un risque de reprise plus ou moins élevé en cas de dissémination dans le milieu naturel, et peuvent donc être à l'origine du développement de nouveaux foyers ;
- peuvent être détruits avec plus ou moins de facilité.

La gestion des déchets végétaux issus de la lutte contre les plantes invasives constitue ainsi une difficulté en soit. En effet :

- laisser les résidus sur place nécessite de respecter un certain nombre de conditions pour éviter tout risque de dissémination et/ou de reprise sur site ;
- le transport des déchets vers des centres de stockage et/ou de traitement présente un risque de dissémination élevé dans des milieux non infestés tout au long du trajet ;
- la valorisation nécessite généralement des équipements permettant une gestion à grande échelle et adaptée aux caractéristiques des espèces considérées.

Le rapport de la mission d'information sur la prolifération des plantes invasives et les moyens pour endiguer cette situation (N° 4391) enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 21 juillet 2021 aborde la problématique que constitue le traitement des déchets végétaux issus de la lutte contre les PEE, en France, de manière claire.

Pour accompagner le traitement des déchets de plantes exotiques envahissantes en France, le Centre de ressources sur les EEE (co-piloté par le Comité français de l'UICN et l'Office français de la biodiversité), en collaboration avec SUEZ, a également publié un guide technique en 2022.

Enfin, le Syr'Usses a élaboré un plan de gestion des plantes exotiques envahissantes sur son territoire en 2021 (CEVE, 2021). Au cours du processus d'élaboration, des échanges avec les acteurs du territoire ont permis de mettre à jour de nouvelles perspectives de traitement des résidus végétaux sur le territoire.

Ces documents ont permis d'alimenter en grande partie les paragraphes qui suivent.

En France, par principe, les déchets de plantes invasives relèvent de la catégorie des biodéchets².

² Tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable

L'obligation de valorisation des biodéchets pour les gros producteurs est entrée en vigueur le 1er janvier 2012 (article L. 541-1-1 du code de l'environnement), imposant le tri à la source et la valorisation. Pour les professionnels produisant un minimum de dix tonnes de déchets par an, cette valorisation est obligatoire depuis 2016.

L'obligation de valorisation des biodéchets deviendra effective pour toute personne détenant plus de cinq tonnes de biodéchets par an à partir du 1er janvier 2023.

Au 31 décembre 2023, l'obligation du tri à la source, de la collecte et de la valorisation elle-même des biodéchets sera généralisée à l'ensemble des producteurs et détenteurs de biodéchets, **quel que soit le tonnage des déchets produits**, y compris aux collectivités territoriales et aux établissements publics et privés.

Tout producteur ou détenteur de déchets reste responsable de la gestion des déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, quand bien même le déchet serait transféré à un tiers à des fins de traitement (article L. 541-2 du code de l'environnement).

Cette obligation de valorisation s'applique déjà aux collectivités gestionnaires qui gèrent des quantités importantes de déchets verts.

Dans le cas des espèces exotiques envahissantes, la valorisation a l'avantage d'éliminer les résidus végétaux, évitant ainsi leur dissémination, tout en permettant leur réutilisation après transformation et leur entrée dans un circuit économique.

Rappelons qu'en France, il est interdit de brûler les déchets verts à l'air libre. Des dérogations à cette interdiction peuvent être attribuées, individuellement et exceptionnellement, dans certaines conditions très spécifiques et pour certaines espèces végétales ou biodéchets. Le préfet peut permettre de déroger cette interdiction de brûler sur proposition de l'autorité sanitaire et après avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST). Cela dans des cas où aucune solution alternative efficace d'élimination, garantissant un niveau de sécurité environnementale équivalent sur le plan du risque de dispersion de vecteurs contaminants, n'existe.

Les difficultés à trouver des solutions de transports sûres pour les déchets verts et des méthodes de valorisation à grandes échelles et sans risque, à des coûts raisonnables, empêchent également d'imposer des obligations trop fortes aux propriétaires privés.

C'est dans ce contexte que sont recherchés des filières de traitement des PEE à l'échelle des territoires, afin d'assurer un traitement différencié des déchets issus des PEE.

3.3.2 Cadre réglementaire – En Suisse

En Suisse, le traitement des résidus végétaux est cadré par l'Ordonnance sur la Limitation et l'Élimination des Déchets : l'OLED (814.600) datant du 4 décembre 2015 (état le 1^{er} janvier 2021). Elle régit le transport des matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la

provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires (article L. 541-1-1 du code de l'environnement)

couche sous-jacente du sol. Ils ne peuvent être valorisés s'ils contiennent des substances étrangères, ni d'organismes exotiques envahissants.

Par ailleurs, l'article 6 de l'Ordonnance sur la Dissémination dans l'Environnement : l'ODE (814.911) du 10 septembre 2008 (état le 1^{er} janvier 2022) précise que « *quiconque utilise des organismes dans l'environnement autrement qu'en les mettant en circulation doit agir avec les précautions que la situation exige afin que ces organismes, leurs métabolites ou leurs déchets :*

- a. *ne puissent pas mettre en danger l'être humain, les animaux ou l'environnement ;*
- b. *ne portent pas atteinte à la diversité biologique ni à l'utilisation durable de ses éléments.*

Les prescriptions spécifiques ainsi que les instructions et les recommandations du remettant doivent être respectées ».

Outre cette base légale, le groupe de travail néobiota invasifs (AGIN) précédant le cercle exotique suisse, souligne que pour toutes les espèces de la liste noire et la *watch list* d'InfoFlora, le matériel végétal issu de PEE peut être composté, traité par fermentation anaérobie ou laissé à l'endroit de la coupe s'il n'est plus en mesure de se multiplier. Il sera autrement évacué en compostage décentralisé, compostage en bord de champ, en co-digestion sans hygiénisation, en compostage professionnel en tas ou en box, en co-digestion avec hygiénisation, en méthanisation thermophile ou en usine d'incinération des déchets (UID). Les renouées asiatiques seront en revanche uniquement traitées en compostage professionnel en tas ou en box, en co-digestion avec hygiénisation, en méthanisation thermophile ou en usine d'incinération des déchets et ses rhizomes uniquement en UID (figure 24).

Procédure de traitement	Parties aériennes, sans graines, ni fruits ni fleurs		Parties végétales aptes à se multiplier, c'est-à-dire qui comportent des graines, des fruits, des fleurs ou des racines et des rhizomes	
	Exceptions:	Uniquement 4, 5, 6 et 7 autorisés	Exceptions:	INCINERATION OBLIGATOIRE (UID)
	<ul style="list-style-type: none"> • Renouées asiatiques • Ailante • Puéraire hérissée 		<ul style="list-style-type: none"> • Ambroisie • vinaigrier, sumac (racines) • Renouées asiatiques (rhizomes) • Ailante (racines) 	
1. Compostage décentralisé (p.ex. jardins familiaux ou de quartiers)		✓		✗
2. Compostage en bord de champ		✓		✗
3. Co-digestion mésophile (32–42 °C, 20–40 jours) sans hygiénisation		✓		✗
4. Compostage professionnel en tas ou en box (55 °C, 21 jours ou 65 °C, 7 jours)		✓		✓
5. Co-digestion mésophile (32–42 °C, 20–40 jours) avec hygiénisation		✓		✓
6. Méthanisation thermophile de substrats liquides ou solides (55 °C, 14 jours)		✓		✓
7. Usine d'incinération des déchets (UID)		✓		✓

Figure 24. Recommandations de l'AGIN sur l'évacuation des résidus végétaux de PEE classées dans la liste noire et la *watch list* d'InfoFlora (novembre 2015)

Des précisions et préconisations sont alors apportées par les cantons. Par exemple, le canton du Valais précise qu'il faut incinérer les fleurs ainsi que toutes les parties des néophytes susceptibles d'assurer leur reproduction et qu'elles ne doivent jamais être entreposées dans le compost de jardin ou en bordure de champ. Pour les parties des plantes non susceptibles d'assurer leur reproduction, elles peuvent être éliminées avec le compost ou laissées sur place. Il est en revanche nécessaire d'incinérer tous les déchets issus de l'ambroisie et des renouées asiatiques, ainsi que les parties souterraines de toutes les espèces du projet (renouées asiatiques, berce du Caucase, buddléia de David, bunias d'Orient,

solidages américains et souchet comestible). Les déchets verts peuvent aussi être incinérés sur place, mais uniquement dans des cas exceptionnels, avec l'autorisation du Service de l'environnement.

3.3.3 Cadre technique

Les méthodes de traitement et de valorisation industrielles des déchets verts issus de la lutte contre les PEE les plus connues sont menées dans des installations spécifiques, agréées pour leur activité : incinération (en France = installations IPCE 2771), méthanisation (en France = installations IPCE 27810) et compostage (en France = installations IPCE 2780).

Ces trois méthodes nécessitent :

- de transporter les biodéchets, ce qui implique la prise de précaution accrue lors du transport de déchets de PEE (nettoyage des engins sur place avant départ, bâchage des engins pendant le transport) ;
- une gestion adaptée aux espèces considérées. Des circuits et procédés de traitement spécifiques devant être adaptés pour les plantes invasives afin d'éviter de contaminer la chaîne de valorisation des autres biodéchets ;
- une gestion à moyenne ou grande échelle, un certain volume de matériaux étant nécessaire pour que la filière de valorisation soit viable.

Dans tous les cas, pour certaines espèces végétales particulièrement résistantes, les gestionnaires doivent être vigilants quant à l'efficacité des méthodes de traitement.

Précision faite qu'en France, aucune autorisation n'est nécessaire pour transporter les spécimens de plantes exotiques envahissantes prélevés vers les sites de destruction.

Actuellement, la stratégie nationale met en avant que le compostage (de proximité ou en installation autorisée selon le tonnage) et la méthanisation sont les voies de traitement à privilégier.

Toutefois, les conditions d'acceptation des déchets de PEE par une installation sont définies par l'exploitant lui-même au regard du risque que représente l'espèce considérée et des procédés à respecter. En effet, le traitement doit pouvoir être réalisé dans le respect des obligations en matière de protection de l'environnement (dont la garantie de non-dissémination et de suppression du risque de dissémination). Ainsi, il est mis en avant par le guide de UICN Comité français, Suez Recyclage et Valorisation France (2022) que si ces déchets ne peuvent pas être admis et traités dans une installation de compostage ou de méthanisation, il convient de se tourner vers les installations de valorisation énergétique ou d'élimination.

D'autres techniques de valorisation sont en cours de développement, principalement pour les renouées asiatiques, qui sont celles dont les déchets sont les plus difficiles à gérer. Sur le territoire savoyard, il s'agit de la valorisation des molécules issues des rhizomes de renouées asiatiques.

Soulignons que la renouée du Japon est une plante dont certaines parties sont comestibles. Elle est depuis longtemps reconnue pour ses vertus thérapeutiques et est inscrite dans la pharmacopée de la

médecine traditionnelle chinoise. Elle est ainsi cultivée en Asie à la fois pour l'alimentation, mais aussi pour ses vertus thérapeutiques.

En Savoie, l'Université Savoie Mont Blanc, travaille sur ce sujet à travers le projet « Renouer », mis en place en 2017. Il vise l'étude de l'utilisation des propriétés chimiques des renouées du Japon (*Reynoutria japonica*) qui contiennent dans leurs rhizomes une molécule, dite resvératrol, aux propriétés antioxydantes. Celle-ci peut servir dans des produits cosmétiques, ainsi qu'être utilisée pour ses vertus thérapeutiques.

Ce projet vise à se servir des plants de renouées arrachés, portés au laboratoire par des gestionnaires. Les plants doivent sécher et les feuilles sont retirées pour extraire les molécules de resvératrol des rhizomes et des racines. Si le procédé développé par l'Université ne traite que de petites quantités de renouée, il démontre l'intérêt à extraire de ces espèces végétales, avant leur élimination ou transformation totale, des molécules dites d'intérêt.

Le laboratoire a donc développé une technique d'extraction et noué un partenariat avec la start-up Rhizomex, installée au Bourget-du-Lac. La start-up utilise le procédé du laboratoire et cherche à développer l'extraction des molécules des rhizomes dans des quantités intéressantes pour l'industrie.

Le projet « Renouer » a permis de développer des recherches sur d'autres espèces exotiques envahissantes particulièrement présentes en Savoie.

Pour l'instant, rien n'a été mis en place sur les sites traités par la CCG.

La valorisation des plantes invasives pourrait permettre d'encourager leur coupe et/ou leur arrachage. Ceci permettrait d'en limiter la prolifération, tout en finançant partiellement les traitements de lutte (surtout les renouées asiatiques).

Les différents acteurs de la gestion des PEE mettent cependant en garde sur le fait que la valorisation des déchets issus de plantes invasives ne doit pas donner naissance à un marché lucratif pouvant potentiellement desservir les objectifs de lutte initiaux. Ces rendements financiers devraient permettre de financer et atténuer les coûts de traitement, mais en aucun cas d'inciter à la culture volontaire de certaines PEE pour leur rentabilité économique.

3.3.4 Sur le territoire du projet « Stop aux invasives »

Le tableau qui suit présente les différents traitements des déchets issus de la lutte contre les PEE mis en œuvre sur le territoire pour les six espèces cibles du projet « Stop aux invasives », ainsi que leurs principales caractéristiques (tableau 16).

Tableau 16. Guide pratique pour le traitement des déchets issus de la lutte contre les 6 espèces cibles du projet

Méthode	Espèces ciblées	Principales conditions de mises en œuvre	Principaux avantages	Principaux inconvénients	Mise en œuvre durant le projet « Stop aux Invasives »
LAISSES LES RESIDUS SUR PLACE	Solidages américains Buddléia de David	<ul style="list-style-type: none"> • Sans graines, ni fleurs. (si présence : évacuer pour incinération) 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu coûteux. • Pas d'évacuation (pas de risque de dissémination lors du transport). 	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de dépôt à surveiller pour s'assurer qu'il n'y a pas de reprise ultérieure. 	Oui <ul style="list-style-type: none"> • Syr'Usses : solidages et buddléia de David. • CCG : solidages et buddléia de David.
	Renouées asiatiques	Sans graines, ni fleurs. (si présence : évacuer pour incinération) <ul style="list-style-type: none"> • Hors sol (de sorte que les résidus ne touchent pas le sol en direct ; coincé entre des palettes par exemple). • À l'abri de toute dissémination possible (vent, eau, etc.). 		<ul style="list-style-type: none"> • Risque de reprise en cas de contact au sol. • Risque zéro de dissémination rarement assuré. • Zone de dépôt à surveiller pour s'assurer qu'il n'y a pas de reprise ultérieure des plantes invasives. 	Oui <ul style="list-style-type: none"> • Syr'Usses : sur 1 site résidus laissés sur place sur une bâche fixée pour plusieurs années. • CCG : résidus laissés sur bâche pour les surfaces arrachées.
METHANISATION	Renouées asiatiques Solidages américains Berce du Caucase Souchet comestible (peu documenté)	<ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que le processus mis en œuvre respecte bien le procédé décrit par les retours d'expériences menées sur l'espèce considérée³. • Privilégier les périodes sans graines (mesure de précaution relative à la réutilisation du digestat). 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement des parties aériennes et souterraines (dépourvues de terre). • La méthanisation permet à l'issue du processus de produire une matière organique réutilisable en remplacement d'engrais (le digestat), ainsi qu'une source d'énergie (biogaz). 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à suivre les zones d'épandage du digestat pour s'assurer d'une élimination totale du risque de dissémination. • La présence de terre sur les parties souterraines peut rendre l'intégration difficile (confirmation à avoir avec l'exploitant). • Les résidus doivent être amenés avant qu'ils aient commencé à fermenter (stockage intermédiaire court). 	Non <ul style="list-style-type: none"> • Perspective à l'étude sur le territoire d'intervention du Syr'Usses (Bassy, FR) pour les renouées asiatiques. • Quelques éléments logistiques à prévoir en amont, tel que le broyage préalable des déchets, sur une plateforme dédiée afin d'éviter toute dissémination des résidus.

³ Détails des procédés expérimentés dans le guide *UICN Comité français, Suez Recyclage et Valorisation France. (2022). Accompagner le traitement des déchets de plantes exotiques envahissantes issus d'interventions de gestion. Guide technique. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN Comité français & Office français de la biodiversité. 136 pages - http://especies-exotiques-envahissantes.fr/guide-technique_dechets_pee_tableau/*

Méthode	Espèces ciblées	Principales conditions de mises en œuvre	Principaux avantages	Principaux inconvénients	Mise en œuvre durant le projet « Stop aux Invasives »
	Buddleia de David	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenir toute dissémination lors du transport. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'installation déjà existantes mutualisées pour la gestion des biodéchets. 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non conseillée pour des parties aériennes trop lignifiées (cas du buddléia). 	<ul style="list-style-type: none"> • Seul le coût du transport est à prévoir, ainsi que celui du pré-traitement si besoin (broyage).
COMPOSTAGE INDUSTRIEL	Renouées asiatiques Buddleia de David Solidages américaines Souchet comestible Berce du Caucase	<ul style="list-style-type: none"> • Sans fleurs, ni graines, ni rhizomes/racines (tolérance sur les parties souterraines selon les procédés). • S'assurer que le processus mis en œuvre respecte bien le procédé décrit par les retours d'expériences menées sur l'espèce considérée³. • Privilégier les périodes sans graines (mesure de précaution relative à la réutilisation du compost). • Prévenir toute dissémination lors du transport. 	<ul style="list-style-type: none"> • Favorise le retour au sol de la matière organique et contribue au maintien de la fertilité des sols. • Utilisation d'installation déjà existantes mutualisées pour la gestion des biodéchets. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à suivre les zones d'épandage du compost pour s'assurer d'une élimination totale du risque de dissémination. • La présence de terre sur les parties souterraine peut rendre l'intégration difficile. Certaines installations n'acceptent pas les rhizomes. 	<p>Non</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perspective à l'étude par le Syr'Usses. • Une filière de compostage industriel est présente sur Voglans en Savoie (Suez). • Elle n'a pas à ce jour été visée lors des évacuations de résidus végétaux de PEE. • Environ 40€/T (hors transport).

Méthode	Espèces ciblées	Principales conditions de mises en œuvre	Principaux avantages	Principaux inconvénients	Mise en œuvre durant le projet « Stop aux Invasives »
INCINERATION ⁴	Toutes espèces en cas de présence de graines, de racines et/ou en cas d'absence d'autre technique possible.	<ul style="list-style-type: none"> • S'assurer de la bonne prise en charge des végétaux • Prévenir toute dissémination lors du transport • Les résidus peuvent être séchés avant incinération pour en réduire les volumes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement des parties aériennes et souterraines (dépourvues de terre) en toute saison • Élimination du risque de dissémination post-traitement • Utilisation de filière existantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts environnementaux et sanitaires liés aux rejets de polluants dans l'atmosphère • Plus coûteux (à la tonne déposée) • Energivore si les végétaux sont verts. 	<p>Oui</p> <ul style="list-style-type: none"> • Syr'Usses : ensemble des résidus de lutte contre les renouées asiatiques (hors 1 site). Les filières de valorisations autre n'étant pas encore stabilisées sur son territoire, ainsi que les résidus de berce du Caucase et les inflorescences de buddléia de David (en fleurs et/ou graines). En moyenne 150€/T (hors transport) • CCG : pour les sites en concassage, gérés par le prestataire • ASL : mise en sac et incinération du produit d'arrachage des renouées asiatiques.

⁴ Pour le transport vers le centre d'incinération, les résidus de PEE ont été déplacés : en big bag fermés du site vers le lieu de stockage temporaire (benne de 9 m³) ; puis en benne fermée du site de stockage temporaire vers le centre d'incinération.

Autres essais dans le cadre du projet

En Suisse, différents essais, suivi par Sol Conseil, ont démontré que les matériaux comprenant un important stock grainier de solidages peuvent être valorisé en agriculture traditionnelle moyennant leur compostage préalable. Des essais ont été effectués, que ce soit avec les matériaux terreux issus du décapage ou avec ceux issus de la fauche de solidages avant floraison ou en début de floraison. Les matériaux sont broyés et compostés avant leur épandage sur les terres agricoles. Suite à l'épandage, le travail agricole « normal » peut continuer. Aucune reprise n'a été constatée ces 10 dernières années.

Conclusion

Il est souligné par les gestionnaires, qu'au-delà de la valorisation des résidus végétaux de PEE, ce qui est recherché est de minimiser autant que possible l'impact environnemental de la lutte contre les PEE.

L'évacuation des résidus végétaux n'est pas comptabilisée dans les coûts indiqués dans le cadre du projet. Cette opération peut en revanche augmenter considérablement les coûts d'un chantier selon la modalité de traitement des déchets retenue.

La lutte contre les PEE nécessite en soit de nombreux déplacements, des interventions d'engins de chantiers, voir des destructions de milieux qui seront restaurés par la suite. La gestion des résidus végétaux issus de la lutte peut, elle aussi, être à l'origine d'impacts environnementaux lors de leur transport, puis de leur traitement (gaz d'échappement, dissémination si stockage non-maitrisé, etc.). **Le choix de la stratégie de traitement des résidus végétaux est lui-aussi soumis à un équilibre coût-bénéfice écologique et économique.**

Dans le cadre du projet "Stop aux invasives", les recherches et essais sur le développement de filières de valorisation des résidus des PEE sur le territoire franco-suisse se limitent aux éléments précédemment décrits. Néanmoins, de nouvelles perspectives seront mises en oeuvre par les partenaires dans les années à venir.

PARTIE C - Suivis scientifiques des sites expérimentaux **« traités thermiquement »**

4 Expérimentation et suivis scientifiques

Le suivi scientifique mis en place a pour objectif de répondre à différentes questions liées à la mise en œuvre du traitement thermique. Les questions de recherche principales énoncées sont les suivantes :

- quelle est l'**efficacité globale** de la méthode de traitement thermique ?
- la **répétition** du traitement augmente-t-elle l'efficacité d'éradication ?
- quelle **saison d'intervention** assure la meilleure efficacité d'éradication ?
- quel **post-traitement** assure la meilleure efficacité d'éradication ?
- quelles sont les éventuelles **incidences** du traitement thermique sur différentes composantes de l'environnement ?

Pour répondre à ces questions, des sites d'expérimentation ont été identifiés. Une sélection d'indicateurs et un état initial de ces sites *in situ* (chapitre 4.1) ont été effectués, puis plusieurs composantes de l'environnement (chapitre 4.2) ont été suivies puis analysées. Parallèlement, des expérimentations en laboratoire (*ex situ*) ont été menées afin d'étudier et évaluer en détail le processus de traitement thermique.

4.1 Diagnostic préalable et protocole d'étude

4.1.1 Diagnostic et sélection des sites expérimentaux *in situ*

Afin de répondre aux questions de recherche et satisfaire les contraintes techniques d'application de la technique, un processus de sélection des sites expérimentaux a été mis en place en début de projet. Ces sites expérimentaux en conditions réelles sur les territoires du projet sont regroupés sous le terme de sites expérimentaux *in situ*, par opposition aux expérimentations en laboratoire *ex situ*. Les étapes de sélection sont les suivantes :

A. Proposition par les gestionnaires

Par le biais d'un questionnaire en ligne, les gestionnaires des différents territoires concernés (communes, cantons, communautés de communes, groupements forestiers, syndicats de rivières, etc.) ont été invités à proposer des sites envahis par une PEE étudiée → **92 sites potentiels** ont été ainsi proposés en début de projet.

B. Vérification de la faisabilité technique du traitement thermique sur ces sites

Une campagne de sélection des sites a été menée à la fois en France et en Suisse. Ce travail a été conduit par les entreprises ERM et ELTEL avec HEPIA. Cette campagne a aussi permis un état des lieux et la récolte des données essentielles de description des sites → **40 sites sélectionnés** respectaient les critères de sélection :

- distance à une borne incendie de moins de 5 km ;

- situation plane (conditions identiques et homogènes des flux de chaleur, des bactéries, des semences et invertébrés sur les sites) ;
- accessibilité par la route ;
- milieux alentours ouverts (opérabilité technique et scientifique) ;
- diversité de contextes entre les sites ;
- diversité des espèces cibles entre les sites.

La liste détaillée des sites sélectionnés est disponible en annexe 6. La figure 25 représente la répartition spatiale de ces sites.

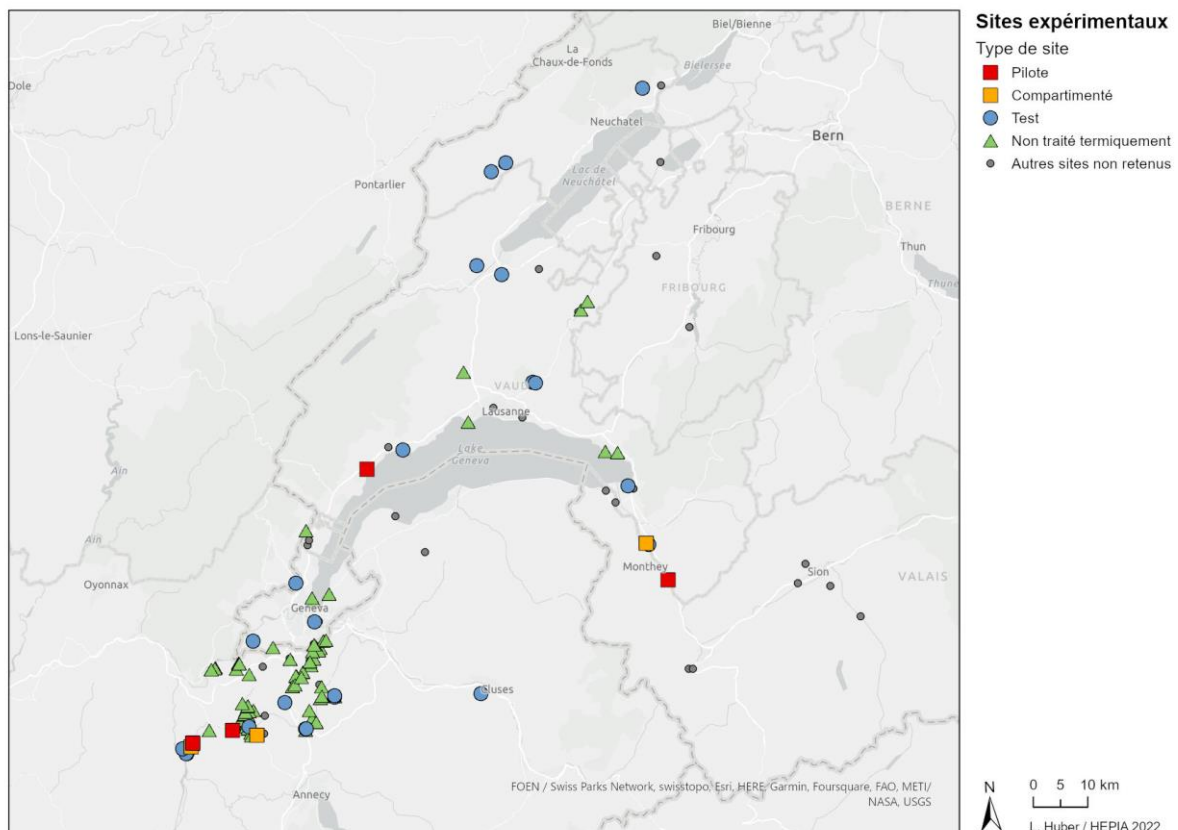


Figure 25. Carte des sites expérimentaux classifiés par type de suivi

4.1.2 Catégorisation des sites et types de suivis

Les différentes questions de recherche nécessitent la mise en place de protocoles de suivis différents, c'est pourquoi plusieurs types de sites sont définis. Ces différents sites sont représentés spatialement en figure 25. Les catégories suivantes ont été identifiées :

Sites pilotes

Ces quatre sites répartis équitablement entre la Suisse et la France sont le siège d'un suivi détaillé qui a pour principale vocation d'étudier **les éventuelles incidences des traitements thermiques sur différents composants de l'environnement** en comparant l'état initial (t0) avec des états pendant et après traitements.

Les suivis scientifiques suivants y ont été réalisés :

- suivi des températures du sol ;
- suivi bactérien et fongique du sol ;
- suivi de l'entomofaune du sol ;
- étude de la structure du sol ;
- suivi précis de la flore.

Ces sites sont caractérisés par des contextes similaires : une surface plane d'environ 40 m² traitée en une fois, en zone agricole, avec les renouées asiatiques comme espèces cibles.

Sites tests

Ces sites, au nombre de 23, possèdent des caractéristiques variables et sont traités selon des modalités variables (période, répétitions), ce qui permet globalement de déterminer **l'efficacité de la méthode** de traitement thermique en regard de ces caractéristiques. Un suivi simplifié de la flore a été mis en place, sur la base des données récoltées par les gestionnaires des territoires.

Sites compartimentés

Ces cinq sites permettent d'évaluer plus précisément l'efficacité de la méthode de traitement thermique selon certains paramètres de traitement, avec des conditions identiques. Ils présentent une surface importante, permettant leur compartimentation afin de réaliser des tests parallèles, et ainsi évaluer l'efficacité de la méthode selon :

- la saisonnalité d'intervention ;
- les post-traitements mis en place.

Un suivi précis de la flore a été mis en place sur ces sites.

4.2 Suivis scientifiques des sites pilotes et sites tests

Les différents suivis scientifiques mis en place sont décrits dans ce chapitre. Le tableau suivant détaille, pour chaque suivi, la page de la synthèse ainsi que le rapport détaillé en annexe, le cas échéant :

Suivi scientifique	Synthèse	Rapport complet
Expérimentation thermique en laboratoire (<i>ex situ</i>)	Page 85	(Fontaine, 2021)
Suivi thermique (<i>in situ</i>)	Page 89	annexe 7
Suivi bactérien et fongique du sol	Page 98	annexe 8
Suivi de l'entomofaune du sol	Page 105	-
Etude de la structure du sol	Page 110	-
Suivi de la flore	Page 113	-
Synthèse générale	Page 127	-

4.2.1 Expérimentation thermique en laboratoire (*ex situ*)

Ce volet a été réalisé dans le cadre d'un travail de *Master of Science HES-SO in Life Sciences* conduit par Amandine Fontaine (2021). Il a été complété par des expérimentations ultérieures.

Objectif

L'objectif de l'étude *ex situ* est de caractériser en laboratoire les principaux paramètres d'efficacité de la technique de traitement thermique, en définissant les température et durée d'exposition seuils permettant de tuer les tissus des rhizomes de renouées. La comparaison avec les données mesurées lors des traitements *in situ* permet de déduire l'efficacité théorique de ces traitements.

Matériel et méthode

Pour effectuer ces tests en laboratoire, des rhizomes de renouées ont été collectés (sur autorisation des services concernés) sur deux sites en Suisse et en France, en respectant des mesures de sécurité strictes pour éviter toute propagation.

Dans un premier temps les rhizomes ont été lavés, puis coupés en tronçons présentant un entre-nœud et les deux nœuds adjacents, de manière à obtenir des « fragments de rhizomes » (figure 26). Afin de standardiser les observations, les rhizomes ont été catégorisés par diamètres. Seuls les diamètres compris entre 0,5 et 2 cm ont été utilisés pour l'expérimentation (Fontaine, 2021).

Pour identifier le seuil de température ainsi que la durée d'exposition qui induisent une mortalité significative des rhizomes des renouées asiatiques, les fragments de rhizomes ont été immergés par lots de dix dans l'eau chaude, selon plusieurs modalités de température et durées d'exposition (figure 26). Des lots témoins ont systématiquement été utilisés, soumis aux mêmes paramètres de traitements exceptée la température de l'eau qui est ambiante. Dans tous les cas, un refroidissement est effectué en plongeant les rhizomes traités dans l'eau froide durant 5 minutes.

Différents essais ont été conduits :

- l'essai 1 (E1), étudiant un large spectre de température (40 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C, 80 °C + témoin) a durée d'exposition fixe (15 min), a permis de déterminer les températures des essais suivants. L'expérience est répliquée trois fois, soit un échantillon de 240 fragments au total.
- les essais 2 et 3 (E2 & E3), étudiant la variation de durée d'exposition (10 et 15 min) sur une gamme de températures plus restreinte (45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C + témoin). Chaque essai a été répliqué trois fois, soit un échantillon de 300 fragments pour l'essai 2 comme pour l'essai 3.
- l'essai 4 (E4), étudiant la variation de la durée d'exposition (5 et 10 min) sur les températures proches du seuil (50 °C, 55 °C + témoin). L'expérience a été répliquée trois fois, soit un échantillon de 180 fragments au total.

A la suite de ces essais, les rhizomes sont plantés horizontalement, bourgeon vers le haut et recouvert d'environ 1 cm de terreau. Ils sont disposés en chambre de culture (figure 26) en conditions contrôlées

(50% humidité relative, 19 °C, 12 h de jour). Durant la durée de la culture, les rhizomes ont été arrosés deux à trois fois par semaine en fonction des besoins. La durée de culture a été de 10 semaines pour E1, puis réduite à 7 semaines pour les suivants.



Figure 26. Préparation des rhizomes (haut gauche), traitement (bas gauche) et mise en culture (droite)

Le suivi de la reprise a été effectué entre 2 et 5 fois par semaine selon l'essai. La reprise d'un rhizome est comptabilisée lors de l'émergence d'une pousse. Les tiges mortes après reprise ont été prises en compte dans le calcul du nombre de reprises.

Résultats

Effets de la température

D'après la figure 27, en fin de culture, les rhizomes soumis à une température de plus de 55 °C ou plus ne reprennent pas (figure 28). Cette température constitue le seuil de température minimal pour détruire les tissus de renouées.

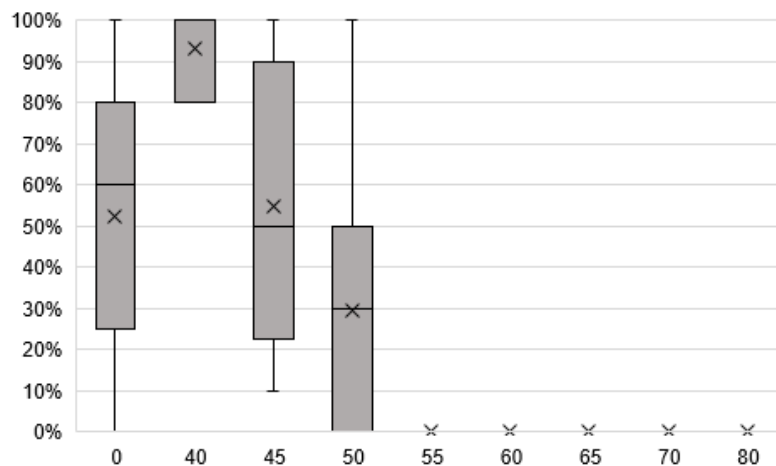


Figure 27. Taux de reprise en fonction de la température (°C)

Pour les températures inférieures, une variabilité est observée en fonction des essais. Toutefois, une tendance est visible pour tous les essais (E1, E2 et E3 confondus, ainsi que pour E4) : en moyenne, le nombre de reprises par répétition est plus faible pour les rhizomes soumis à 50 °C. En effet, le nombre de reprises des rhizomes soumis à une température de 50 °C est significativement inférieur au nombre de reprises des rhizomes du traitement témoin ($p < 0,01$). En revanche, le nombre de reprises des rhizomes soumis à une température de 40 °C n'est pas significativement différent du nombre de reprises des rhizomes du traitement témoin ($p = 0,257$).

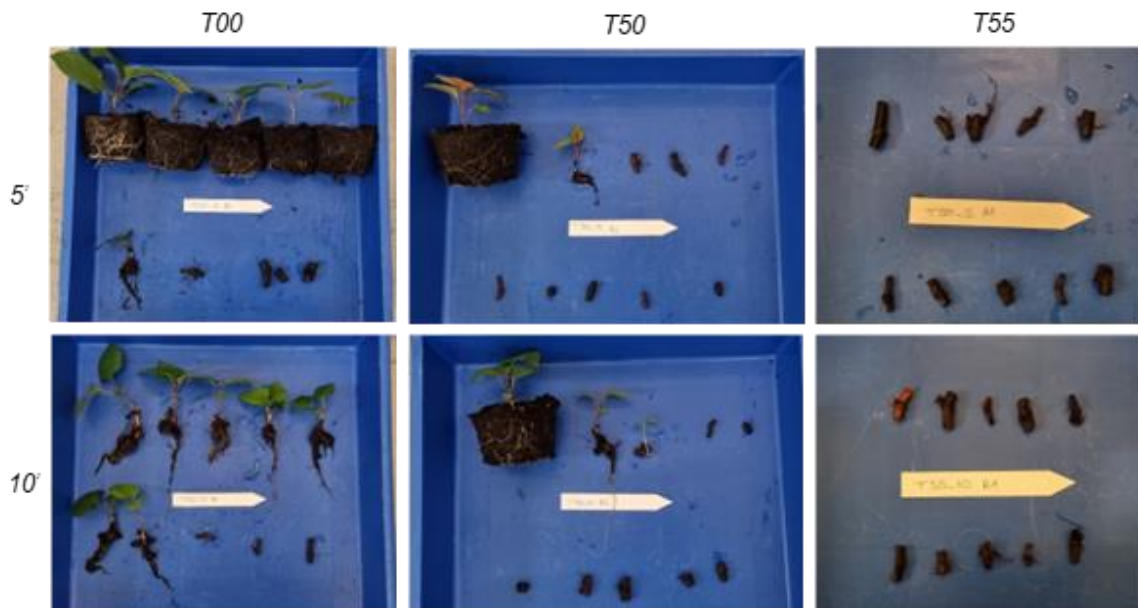


Figure 28. État des rhizomes de l'essai E4 en fin de période de culture (7 semaines)

Les essais E2 et E3 montrent que le nombre de reprises des rhizomes soumis à une température de 45 °C est significativement supérieur au nombre de reprises des rhizomes du traitement témoin ($p = 0,0254$). C'est aussi graphiquement le cas pour les températures de 40°C bien que l'échantillon concerné soit bien plus faible (figure 27 & figure 30). Le nombre de reprises des rhizomes soumis à une température de 50 °C est significativement inférieur au nombre de reprises des rhizomes immergés à une température de 45 °C.

Effets de la durée d'exposition

Pour les essais E2 et E3, il n'y a pas de différence significative du taux de reprise ($p = 0,448$) entre les immersions de 10 et 15 minutes à des températures d'exposition de 50 et 45°C (figure 29). Il est ainsi difficile d'analyser ce paramètre indépendamment de la température.

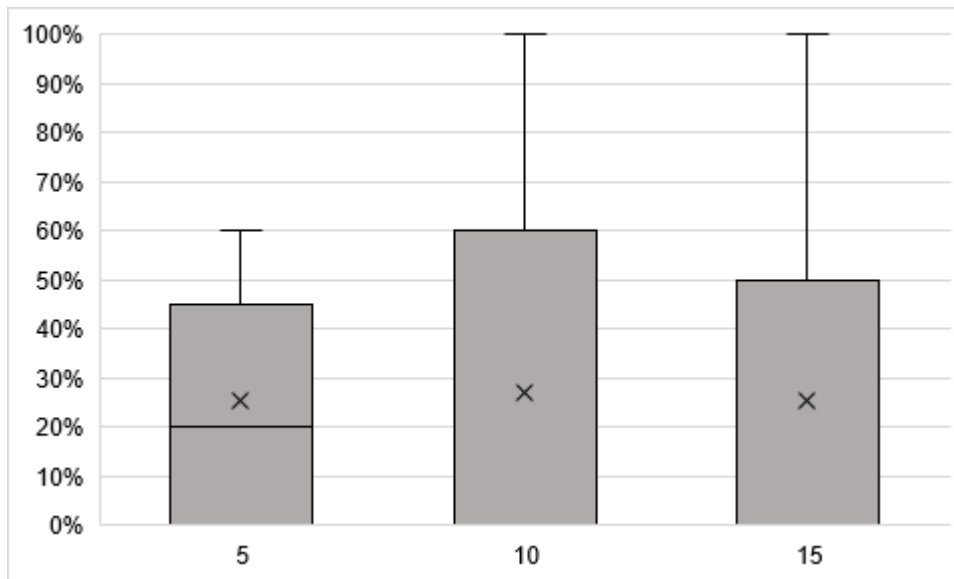


Figure 29. Taux de reprise en fonction de la durée d'exposition (min)

Pour l'essai E4, le nombre de reprises des rhizomes soumis à la température de 50 °C pendant 10 minutes n'est pas significativement différent du nombre de reprises des rhizomes soumis à cette même température pendant 5 minutes.

Globalement, dès une exposition de 5 minutes à 55 °C, le taux de reprise est nul (figure 27 & figure 30). Cette valeur constitue donc le seuil de durée d'exposition à cette température.

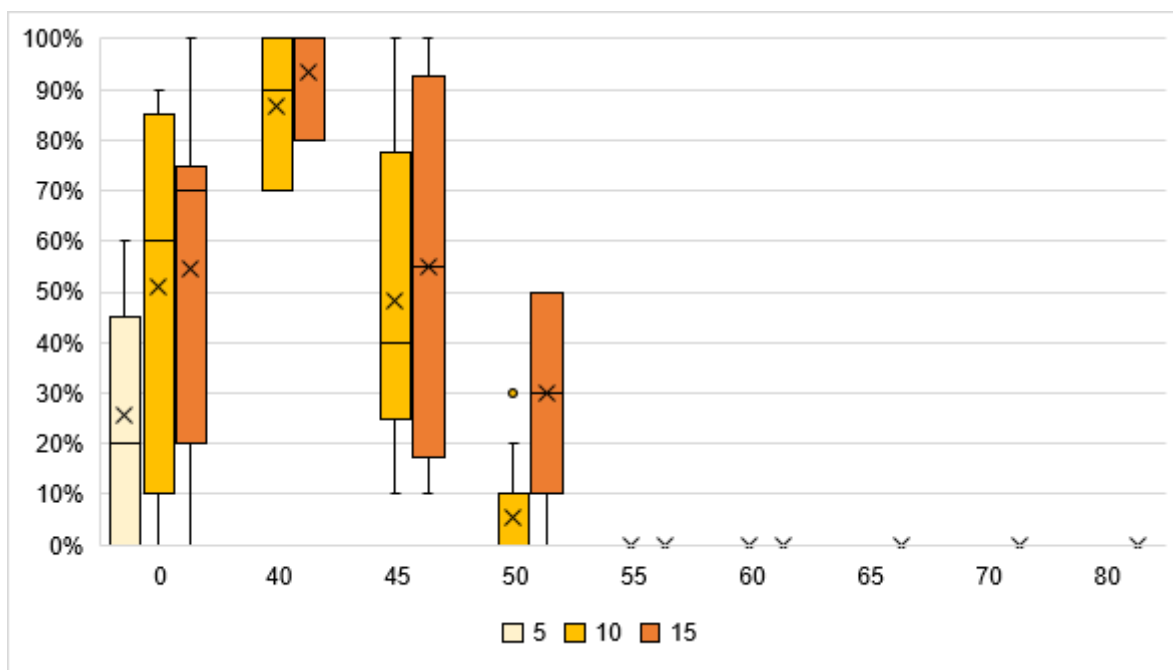


Figure 30. Taux de reprise en fonction de la température (ordonnée) et de la durée d'exposition (série)

Synthèse

Les différentes expérimentations *ex situ* permettent de conclure que :

- l'exposition dans une eau à 40-45 °C durant 10 à 15 minutes peut stimuler la croissance des rhizomes de renouées ;
- l'exposition à 50 °C durant 15 minutes entraîne une baisse significative de la reprise des rhizomes de renouées ;
- l'exposition à une température de 55 °C (ou plus) pendant 5 minutes (ou plus) permet la destruction des tissus de rhizomes de renouées. Ces résultats constituent les valeurs seuils recherchées.

4.2.2 Suivi thermique (*in situ*)

Objectif

L'objectif principal de ce suivi est de mesurer les températures atteintes en conditions réelles lors des traitements des sites, ainsi que la durée d'exposition aux températures élevées, pour confronter ces valeurs aux valeurs seuils déterminées en laboratoire, et ainsi déterminer si les conditions d'éradication sont atteintes. Pour atteindre cet objectif le dispositif « site » a été mis en place.

D'autres objectifs secondaires sont la caractérisation des injections à travers les caractéristiques de vitesse de propagation de la chaleur, la distance d'influence et l'homogénéité de l'injection. Le dispositif « cluster » traite de ces analyses.

Matériels

Dans le cadre du suivi thermique des sites pilotes, des piquets loggers ont été conçus pour relever la température à plusieurs profondeurs dans le sol. Ces piquets sont constitués de :

- un piquet PVC de 80 cm ;
- quatre thermocouples de type K répartis à 0, -20, -40 et -60 cm de profondeur ;
- un boîtier étanche contenant le logger Hobo® qui enregistre les valeurs toutes les secondes, ainsi que la température ambiante extérieure.

Deux piquets de plus grande longueur ont été conçus pour relever également la température à -80 et -100 cm.



Méthodes

Afin de répondre aux objectifs cités précédemment, deux dispositifs de suivi ont été mis en place (cf. schémas en figure 31).

A. Le dispositif « site » pour lequel des loggers de température sont répartis de manière homogène sur le site pilote de manière à couvrir le plus possible les hétérogénéités du site. Ils sont placés pour limiter les difficultés des machinistes.

B. Le dispositif « cluster » pour lequel des loggers de température sont disposés selon une disposition particulière reposant sur des écartements similaires (grille). Le point d'injection est ainsi le point de référence d'une forme de référentiel orthogonal créé par la disposition des loggers. Ce dispositif n'a été mis en place qu'en 2019.

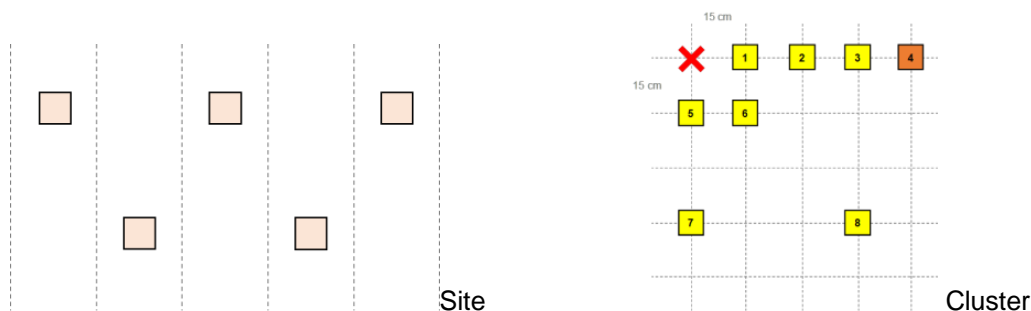


Figure 31. Schéma d'implantation des loggers pour les dispositifs de types "site" et "cluster"

Le détail de la préparation est des méthodes d'analyse sont disponibles dans le rapport complet du suivi thermique en annexe 7.

Résultats : durée de refroidissement

De manière générale, le tableau 17 montre que sur la période de relevé de la température (4 jours), on n'observe pas de retour à la température initiale, mise à part la sonde de surface. Effectivement, l'inertie du sol entraîne un résidu d'environ 10°C de température supplémentaire après quatre jours. L'inertie semble grandir avec la profondeur (la température atteinte à -60 cm est bien inférieure à celle des profondeurs plus faibles). D'une température supérieure à la normale (et inférieure à 30°C) pendant de nombreux jours consécutifs, le sol pourrait ainsi jouer un rôle de stimulant de croissance pour des semences ou appareils végétatifs non altérés par le traitement.

Tableau 17. Evolution de la température résiduelle par rapport à la température initiale après traitement

Profondeur →	0*	-20	-40	-60
Δ température à traitement + 1 jour	-	+19	+23	+18
Δ température à traitement + 2 jours	-	+12	+16	+15
Δ température à traitement + 3 jours	-	+9	+13	+12
Δ température en fin de mesure (env. + 3,8 j)	-	+7	+11	+10

* : La profondeur 0 est sujette aux variations de températures journalière, donc difficilement analysable. Graphiquement, on peut considérer un retour à la température normale à j + 1.

Comme il n'est pas possible de définir des durées de refroidissement par les mesures, c'est par une modélisation simple qu'elles sont déterminées. En utilisant des courbes de tendance, il est possible d'estimer théoriquement quand le refroidissement est complet. On déduit ainsi une plus grande inertie en fonction de la profondeur (caractérisé mathématiquement par la puissance de la fonction), et des durées de refroidissement théoriques parfois très grandes de 12 à plus de 50 jours selon la profondeur (annexe 7).

Résultats : distance d'influence

On analyse ici le rayon d'action d'une injection unique d'eau chaude dans le sol. Il est représenté par les éléments colorés en figure 32.

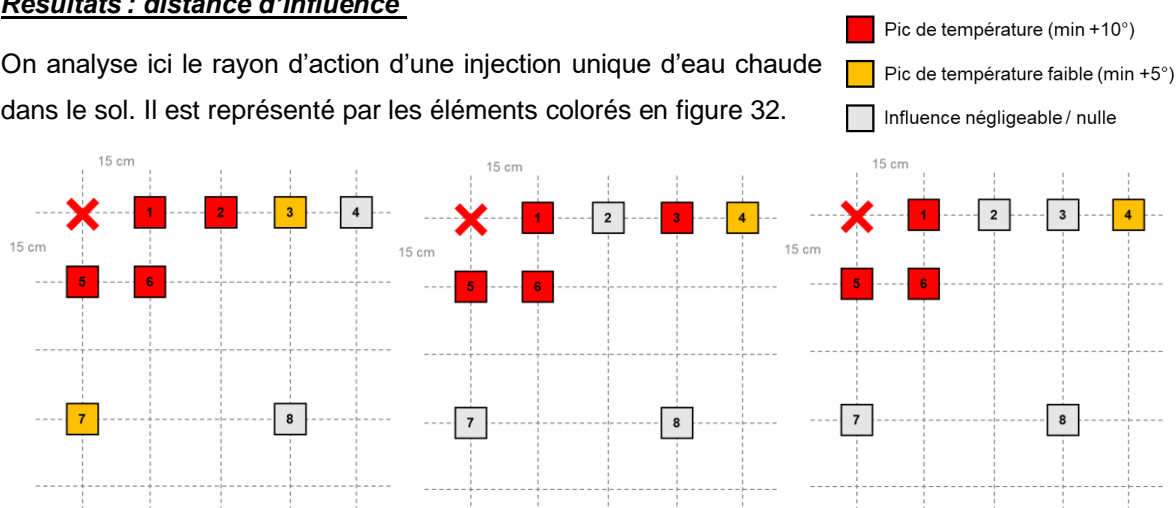


Figure 32. Diagrammes représentant l'influence de l'injection (SU_P1, SU_P2, VS_P1)

Les diagrammes ci-dessus, tirés de l'analyse des graphiques, permettent de préciser qu'une injection unique à un rayon d'influence (+10° minimum) de l'ordre de 15 à 30 cm. On note l'hétérogénéité des résultats, qui peuvent dépendre :

- de la nature du sol, homogénéité et granulométries ;
- de l'orientation des piquets sondeurs, la position des sondes de température en périphérie ;
- de l'orientation des buses et de la pelleuse.

Résultats : températures maximales atteintes

Les tableau 18 & tableau 19 récapitulent les données marquantes de ces analyses, respectivement lors des campagnes de mai 2019 et de septembre 2021 : moyenne et médiane des maxima de l'intervalle du pic de température (1 min).

Tableau 18. Valeurs clés des pics de température pour la campagne de mesure de mai 2019

Profondeur →	0	-20	-40	-60
Moyenne des maxima atteints	76	68	66	37
Médiane des maxima atteints	85	80	79	34
Ecart type	21	26	29	16

Tableau 19. Valeurs clés des pics de température pour la campagne de mesure de septembre 2021

Profondeur →	0	-20	-40	-60
Moyenne des maxima atteints	62	65	63	40
Médiane des maxima atteints	53	66	61	39
Ecart type	22	28	24	9

Les valeurs moyennes des températures maximales ne sont pas significativement différentes entre 2019 et 2021 (*Mann-Whitney p-value = 0,41*). Les résultats des températures maximales atteintes toutes profondeurs confondues sont donc similaires entre les deux campagnes.

Globalement, la profondeur -60 cm semble peu atteinte par la vapeur d'eau chaude, les valeurs centrales ne dépassant pas 40°C. Cela s'explique par le fait que la profondeur maximale atteinte par les buses d'injection est de 60 cm et que la vapeur a physiquement tendance à s'échapper vers le haut. Les valeurs obtenues sont significativement différentes entre la profondeur de -60 cm et les autres profondeurs (*Kruskal-Wallis p-value = 0,00*).

→ Conclusion 1 : la température maximale atteinte chute au-delà de -40 cm de profondeur.

Les valeurs montrent également une hétérogénéité importante dans les températures atteintes avec des écarts types très importants (figure 33)

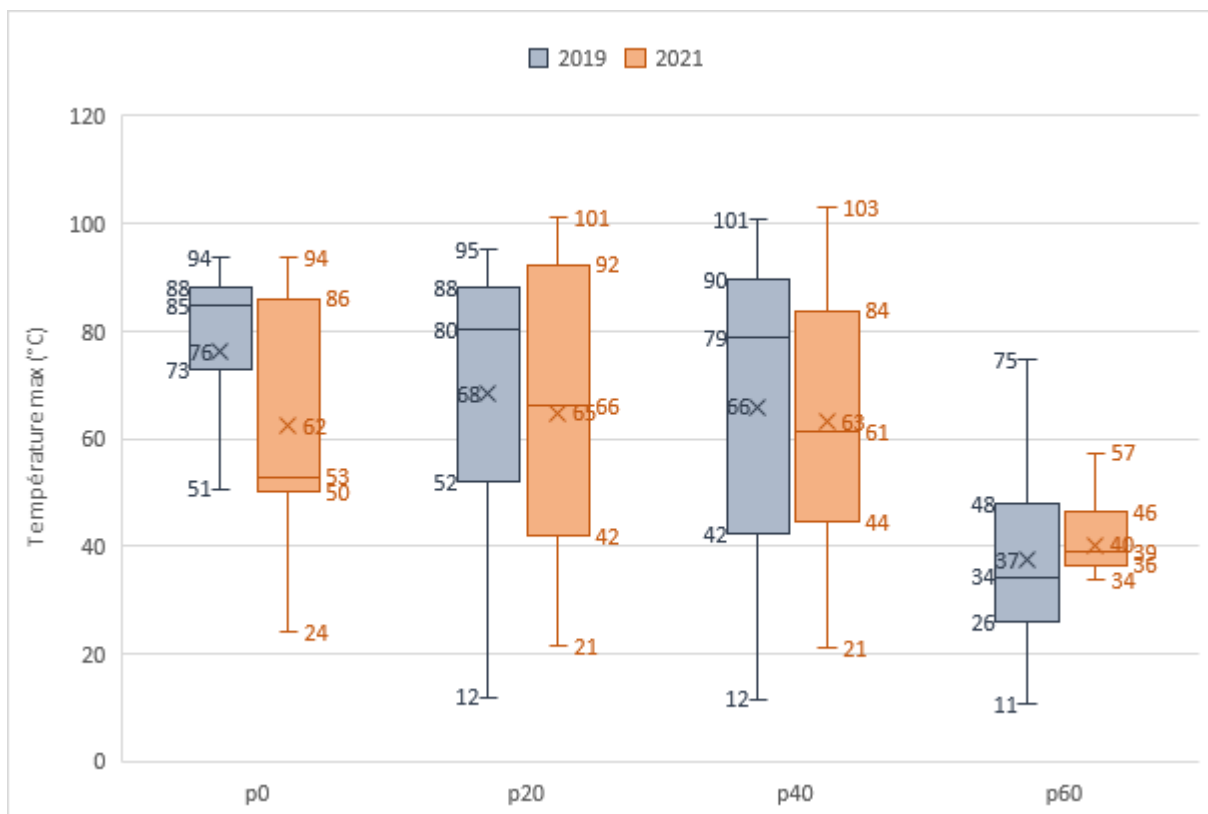


Figure 33. Températures maximales atteintes et dispersion par profondeur pour les deux campagnes

La profondeur 0 n'est pas une information capitale dans cette analyse car c'est une mesure peu utile pour la lutte contre les plantes à rhizomes souterrains. Elle est par ailleurs d'une variabilité importante.

L'absence d'augmentation de températures aux différentes profondeurs lors de la deuxième campagne, par rapport à la première, est contraire aux résultats escomptés. En effet, il avait été décidé d'effectuer les traitements en fin d'été pour profiter d'une chaleur du sol plus élevée qu'au printemps. Malgré la différence significative entre les températures initiales de 2019 et de 2021 (*Mann-Whitney différence = 5.3 ; p-value = 0,00*), comme montré en figure 34 & figure 35 (de l'ordre de 5 degrés), les mesures lors des traitements de 2021 sont similaires. Il est difficile dès lors d'expliquer ces résultats. Deux possibilités

peuvent être avancées : (1) la température initiale n'est pas une variable prépondérante, et/ou (2) d'autres variables ont été modifiées, même involontairement, dans l'exécution de la technique. Cette dernière hypothèse est infirmée par les entreprises ELTEL et ERM car aucun changement n'a été effectué.

→ **Conclusion 2 :** le changement de saisonnalité de traitement de mai à septembre ne semble pas avoir d'impact sur les températures maximales atteintes.

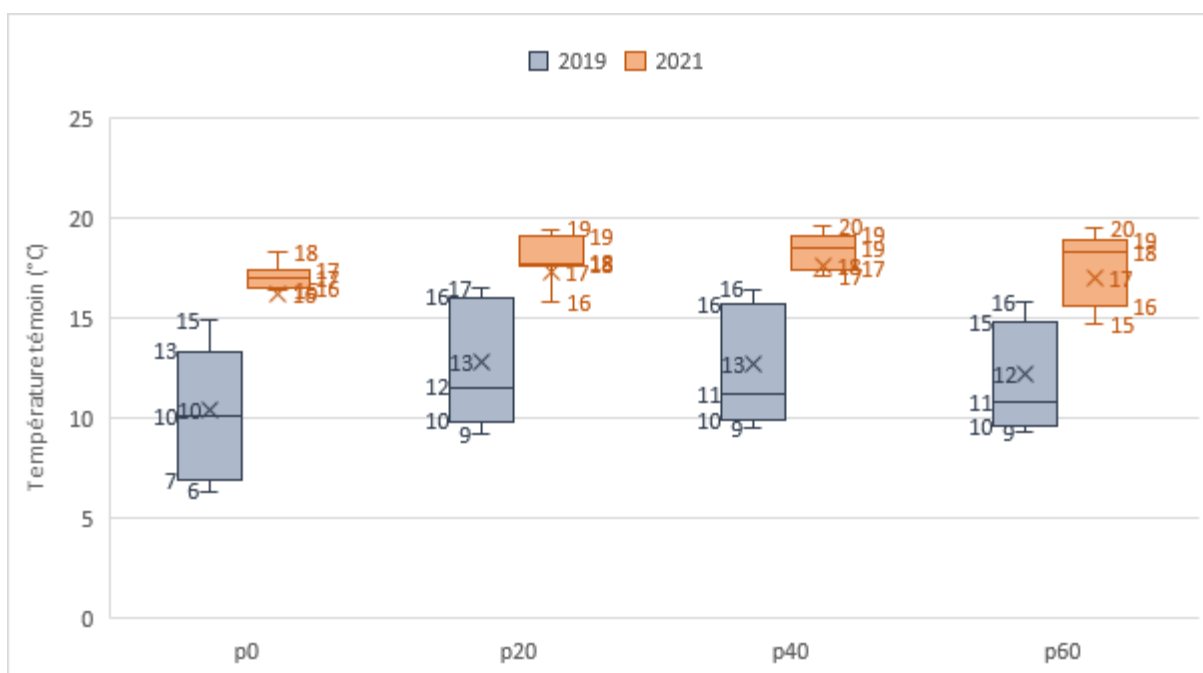


Figure 34. Températures témoin et dispersion par profondeur pour les deux campagnes

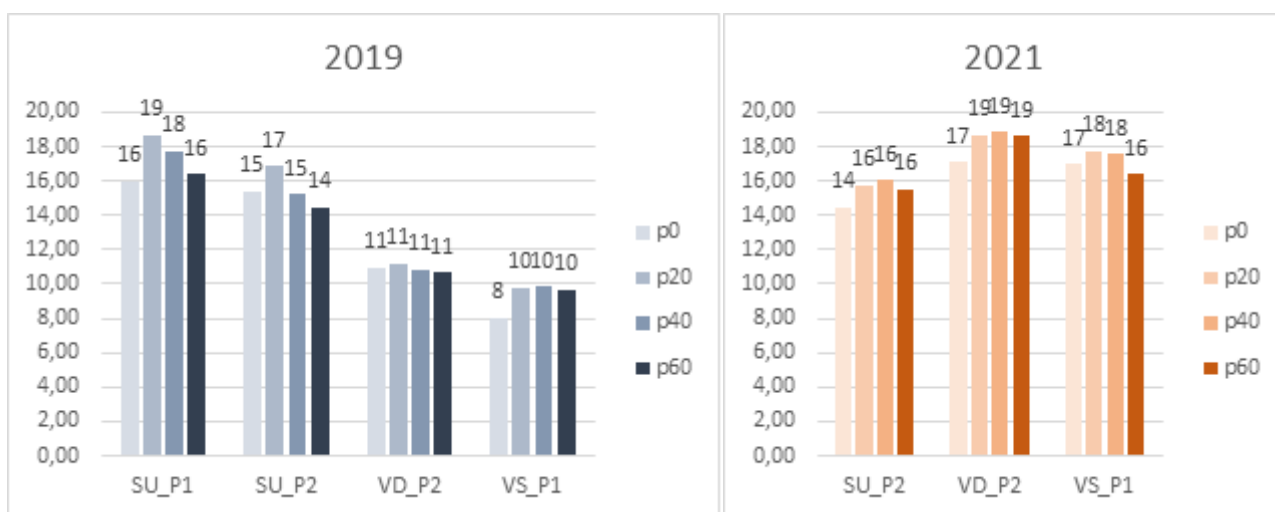


Figure 35. Moyennes des températures témoin par site et par profondeur pour les deux campagnes

Statistiquement, toutes profondeurs confondues, le traitement 2019 du site SU_P1 a engendré des mesures significativement supérieures par rapport aux traitements VD_P2 2019, VS_P1 2019 et SU_P2 2021 (Kruskal-Wallis p-value = 0,03 ; comparaisons < 0,05).

La figure 36 propose une illustration par site des températures maximales atteintes pour les deux profondeurs les plus pertinentes, à savoir -20 et -40 cm. Ces graphiques (surtout -40 cm) permettent de d'identifier ces différences significatives entre traitements. En effet, les sites VS_P1 et VD_P2 étaient initialement plus froids (figure 35) ce qui se reflète dans les données mesurées, avec des valeurs centrales plus basses et/ou une dispersion étirée vers des valeurs inférieures. La différence avec le traitement SU_P2 de 2021 demeure inexplicée, et des analyses complémentaires pourraient être conduites en écartant ces mesures exceptionnelles.

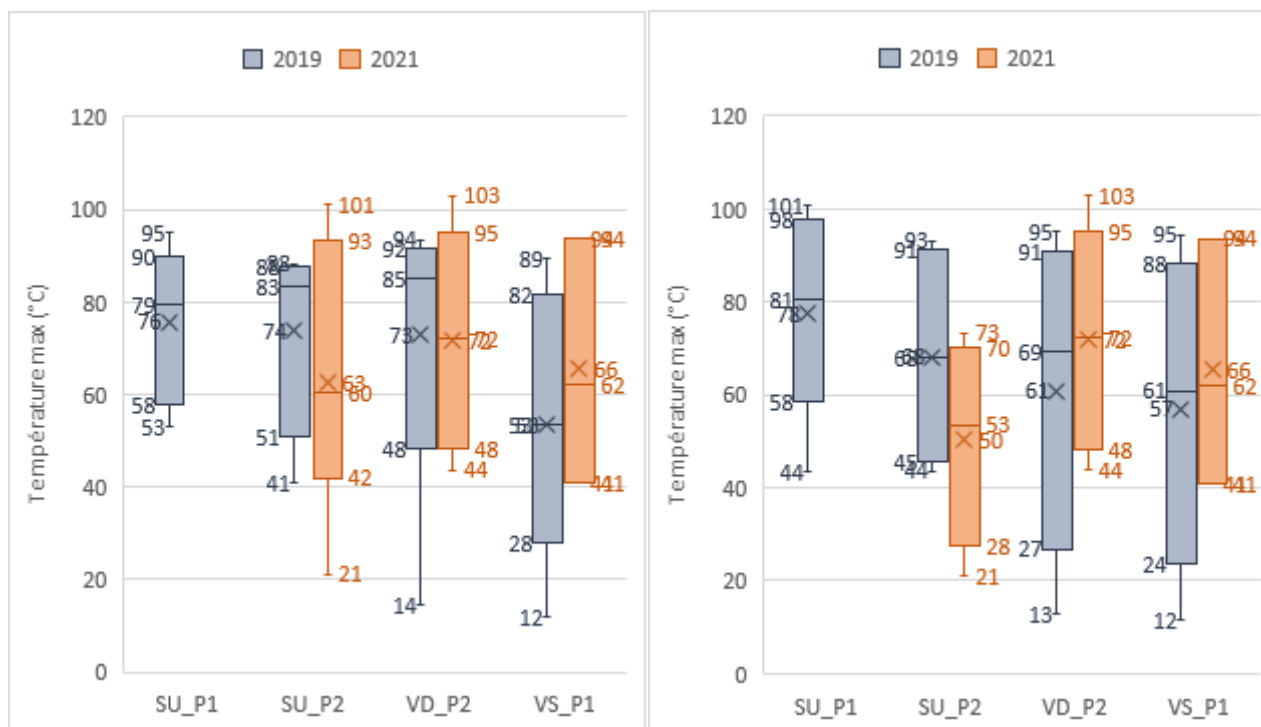


Figure 36. Températures maximales atteintes par site et par campagnes pour les profondeurs -20 (gauche) et -40 cm (droite)

→ **Conclusion 3** : le site SU_P1 a reçu un traitement atteignant des températures significativement plus élevées. Un facteur d'explication est la température initiale du sol combinée à d'autres variables non analysées, comme par exemple le type de sol.

Toutefois, les valeurs de températures maximales ne sont pas significativement différentes entre les sites (par profondeur) à -20 cm (*Kruskal-Wallis p-value = 0,54*), ni à -40 cm (*Kruskal-Wallis p-value = 0,76*). Aussi, tous sites confondus, les valeurs de températures maximales entre 2019 et 2021 ne sont pas significativement différentes pour les profondeurs -20 cm (*Mann-Whitney p-value = 0,91*) et -40 cm (*Mann-Whitney p-value = 0,81*).

Résultats : comparatif aux valeurs seuil d'éradication

Pour rappel, la valeur seuil d'éradication permettant l'altération des tissus de rhizomes de renouées (chapitre 4.2.1) est une température minimale de 55°C atteinte pendant au minimum 5 minutes. D'après la figure 33, on peut noter que la valeur seuil de température n'est pas atteinte à -60 cm. Cela est confirmé dans les tableau 20 & Tableau 21. La technique ne permet donc pas d'éradiquer les rhizomes

à cette profondeur d'après les travaux *ex situ*. Le suivi ne permet pas de déterminer précisément la profondeur à partir de laquelle l'éradication n'est pas possible (entre -40 et -60 cm).

→ **Conclusion 4 (complétant la conclusion 1)**: la technique, avec la longueur de l'outil d'injection actuel, ne permet pas l'éradication des rhizomes de renouées au-delà d'une profondeur située entre -40 et -60 cm.

Tableau 20. Durées moyennes (en minutes) d'exposition à des températures supérieures à 55°C en 2019

Site	p0	p20	p40	p60	Moyenne générale
SU_P1	133	391	334	1	214
SU_P2	20	46	43	0	27
VD_P2	56	121	51	0	57
VS_P1	22	13	19	0	13
Moyenne générale	61	153	121	0	84

Tableau 21. Durées moyennes (en minutes) d'exposition à des températures supérieures à 55°C en 2021

Site	p0	p20	p40	p60	Moyenne générale
SU_P1	ND	ND	ND	ND	ND
SU_P2	10	98	38	0	36
VD_P2	13	353	418	0	188
VS_P1	223	419	120	4	192
Moyenne générale	64	278	217	1	137

D'après les travaux *ex situ*, les valeurs des tableaux précédents devraient atteindre la valeur de 55°C pendant 5 minutes pour pouvoir considérer que les tissus de rhizomes soient altérés. D'après les moyennes par site, les traitements conduits en 2019 et en 2021 ont tous deux permis d'atteindre 55 degrés pendant des durées importantes et bien supérieures à 5 minutes pour les profondeurs 0 à -40 cm. Toutefois ? l'information de la moyenne seule est insuffisante pour tirer des conclusions.

La figure 37 ci-dessous illustre graphiquement l'échantillonnage des sites par le biais des sondes de température. En prenant par profondeur la proportion des sources atteignant les valeurs seuil comme un échantillonnage de la « surface » traitée, on observe des résultats relativisant les valeurs moyennes précédentes, dans le tableau 22 & tableau 23. Ils prennent cette fois-ci en compte les variations au sein même des sites. La valeur moyenne globale des profondeurs 0 à -40 cm représente quant à elle un échantillonnage du « volume » traité. On ignore arbitrairement la profondeur de -60 cm dans cette moyenne, suite aux conclusions des paragraphes précédents, bien qu'elle fasse partie intégrante du

volume traité. Il apparait par ailleurs de nouveau que la profondeur de -60 cm présente des proportions de surfaces significativement inférieures aux autres profondeurs (*Kruskal-Wallis p-value = 0.00*), soit 0% vs. respectivement 41, 68 et 78%.

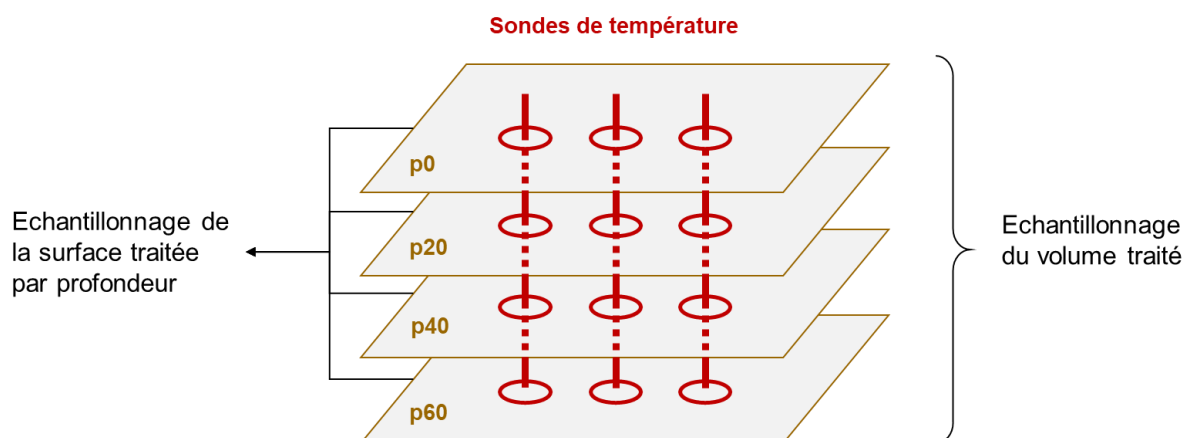


Figure 37. Représentation de l'échantillonnage de la surface et du volume des sites

Tableau 22. Proportion des surfaces atteignant les valeurs seuil pour 2019

Site	p0	p20	p40	p60	Moyenne p0 à p40
SU_P1 (Np=6)	100%	83%	67%	0%	83%
SU_P2 (Np=4)	50%	75%	25%	0%	50%
VD_P2 (Np=5)	80%	80%	40%	0%	67%
VS_P1 (Np=6)	83%	33%	33%	0%	50%
Moyenne générale	78%	68%	41%	0%	63%

Np = nombre de sondes par profondeur

Tableau 23. Proportion des surfaces atteignant les valeurs seuil pour 2021

Site	p0	p20	p40	p60	Moyenne p0 à p40
SU_P1	ND	ND	ND	ND	ND
SU_P2 (Np=8)	25%	50%	25%	0%	33%
VD_P2 (Np=5;7)	40%	50%	60%	0%	50%
VS_P1 (Np=3)	33%	67%	33%	33%	44%
Moyenne générale	33%	56%	39%	11%	42%

Np = nombre de sondes par profondeur

Globalement pour 2019, en moyenne 63% du volume des sites semble avoir été traité de manière à altérer les tissus de rhizomes sur les profondeurs 0 à -40 cm, sauf pour le site SU_P1 qui se démarque

avec plus de 80% du volume dépassant les valeurs seuil ; même si statistiquement ce résultat n'est pas significatif (*Kruskall-Wallis p-value = 0,70*). A -40 cm, la proportion de surface atteignant les valeurs seuil chute pour ne représenter en moyenne que 41%.

Pour 2021, les proportions diminuent malgré l'absence de changement de méthode et l'augmentation de la température initiale, avec une moyenne à 42% du volume traité de manière à altérer les tissus des rhizomes.

→ **Conclusion 5** : globalement pour 2021, moins de 50% du volume des sites semble avoir été traité de manière à altérer les tissus de rhizomes sur les profondeurs 0 à -40 cm. En 2019, entre 50 et 83% du volume des sites semble avoir été traité de manière à altérer les tissus de rhizomes sur les profondeurs 0 à -40 cm.

Synthèse

Le suivi thermique des sites pilotes *in situ* lors des campagnes de 2019 et 2021 permet d'effectuer les constats suivants, également en regard des expériences *ex situ* :

- le retour du sol à sa température initiale prend plusieurs semaines, avec une inertie grandissante en profondeur ;
- une étude supplémentaire pourrait déterminer si ces températures supérieures à la normale pourraient favoriser la croissance végétale des semences ou fragments de rhizomes non altérés ?
- une injection unique à une influence thermique sur un rayon d'environ 15 à 30 cm ;
- la température initiale du sol ne semble pas influencer les températures maximales atteintes dans les résultats obtenus, toutefois d'autres facteurs ayant probablement biaisé ce résultat, le postulat de l'importance de la saisonnalité d'intervention est conservé ;
- à partir d'une profondeur située entre -40 et -60 cm, le traitement thermique ne permet pas d'altérer les tissus de rhizomes de renouées ;
- pour les profondeurs plus faibles entre 0 et -40 cm, environ 40 à 60% des volumes des sites ont reçu un traitement thermique pouvant altérer les tissus de rhizomes de renouées.

Compte tenu de la vigueur des plantes exotiques envahissantes et en particulier les renouées asiatiques, il s'avère essentiel de combiner cette technique avec des techniques de lutte en post-traitement, car d'après les résultats obtenus, les seuils d'éradication des rhizomes de renouées ne sont pas atteints pour 100% du volume des sites traités.

A noter toutefois que les résultats se basent sur l'analyse d'un échantillon limité de sites (4 contre un minimum théorique de 30 pour tirer des conclusions statistiques) et ne prennent en compte que les seuils d'éradication des renouées asiatiques. D'autres espèces néophytes invasives pourraient être plus ou moins résistantes. Ces conclusions sont donc indicatives et à relativiser avec l'expérience de terrain et les résultats d'éradication d'autres sites.

4.2.3 Suivi bactérien et fongique du sol

Objectif

Le but de ce suivi est de révéler un éventuel effet du traitement thermique sur le microbiote du sol.

Matériels et méthodes

L'étude menée propose d'analyser par métatranscriptomique⁵ l'évolution de la flore bactérienne et fongique vivante (ainsi que leurs proportions relatives) de 36 échantillons de sol soumis à un traitement thermique du sol. Les échantillons proviennent de trois sites distincts traités à la vapeur, avant traitement (t0), 1 semaine (t1), 1 mois (t2) et un an après le traitement (t3), afin d'évaluer l'impact sur le microbiote du sol. Ils ont été prélevés à deux profondeurs : 10 à 20 cm, 30 à 40 cm sur chaque site et pour chaque date d'échantillonnage.

L'échantillonnage a été effectué avec de gants stériles et à l'aide d'une tarière (figure 38). Tous les outils sont désinfectés à l'alcool 70% entre chaque prise d'échantillons et sites de prélèvement. Pour chaque échantillon analysé, trois carottages successifs sont prélevés et homogénéisés.



Figure 38. Tarière d'échantillonnage (gauche) et le séquenceur Illumina MiniSeq du laboratoire (droite)

L'extraction de l'ARN total des échantillons a été réalisée avec le kit « RNeasy PowerSoil Total RNA » (Qiagen). Les 36 échantillons ont été séquencés en un seul run Illumina MiniSeq, pour un rendement allant de 1.75 Mpb à 28.93 Mpb, et une moyenne de 15.27 Mpb par échantillon (Mpb: Million de paires de bases). Les données du séquençage ont été téléchargées sur la plateforme d'analyse du microbiome One Codex pour l'attribution de la taxonomie

Résultats

Les *HeatMaps*⁶, présentées dans les figure 39, figure 40 et figure 41 font clairement apparaître une incidence du traitement à la vapeur sur la composition microbienne active du sol. En effet, indépendamment des trois sites géographiques (Dully, Musièges et Desingy-Usinens) et des deux

⁵ Étude du matériel de transcription des génomes (ARNm) de l'ensemble des microorganismes faisant partie d'un milieu.

⁶ Représentation graphique de données statistiques qui fait correspondre un nuancier de couleur à l'intensité d'une grandeur variable (ici l'abondance des espèces) sur une matrice à deux dimensions.

profondeurs P1 (10 à 20 cm) ou P2 (30 à 40 cm) analysés, au timing t1 (soit une semaine après le traitement vapeur du sol), certains genres bactériens, certaines espèces, « s'éteignent » au niveau de leur activité métabolique (passent du bleu au jaune clair), elles cessent de « fonctionner », alors que d'autres « s'allument » (passent du jaune clair au bleu), i.e. leur activité métabolique est intensément enregistrée alors qu'absente ou négligeable avant traitement. Les zones témoin de chaque site confirment cette analyse puisque celles-ci n'affichent au contraire quasiment aucune différence, elles restent stables dans leur ensemble à l'échelle d'un an entre les deux mesures (colonnes t0- et t3- sur les HeatMaps).

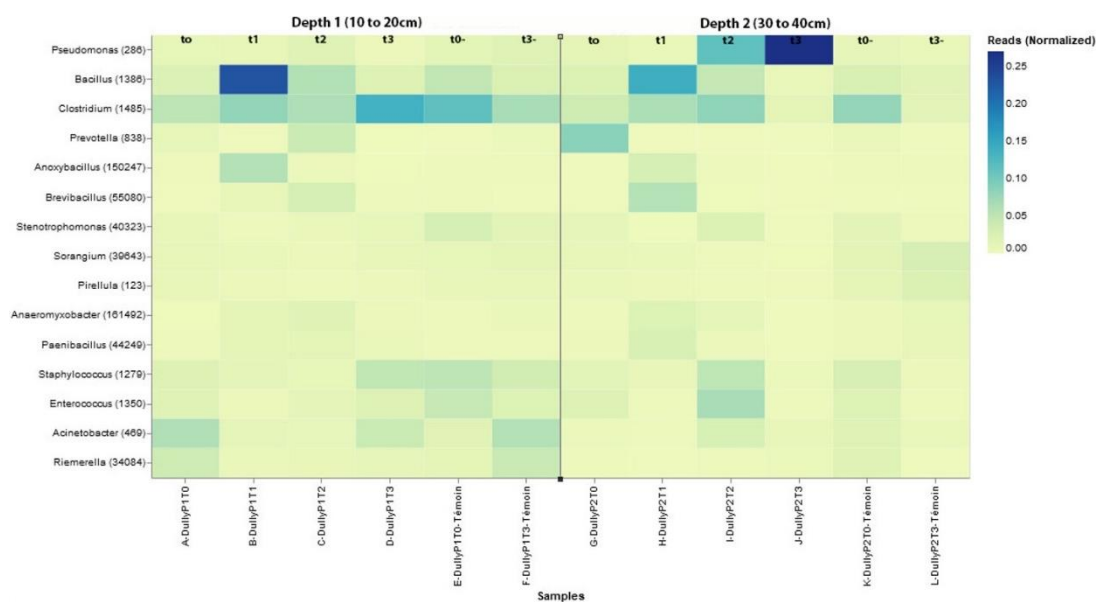


Figure 39. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Dully (VD_P2)

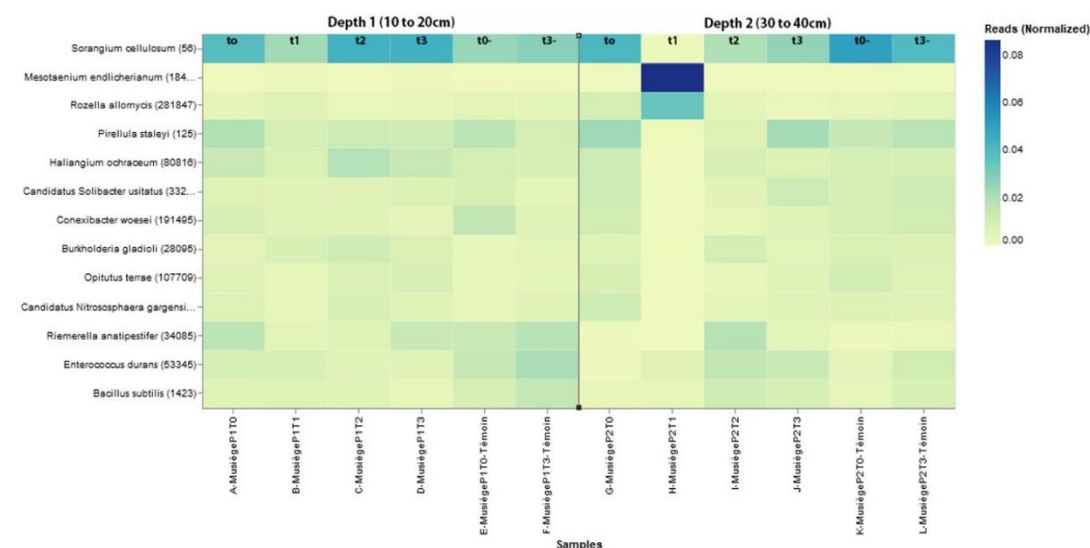


Figure 40. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Muriège (SU_P2)

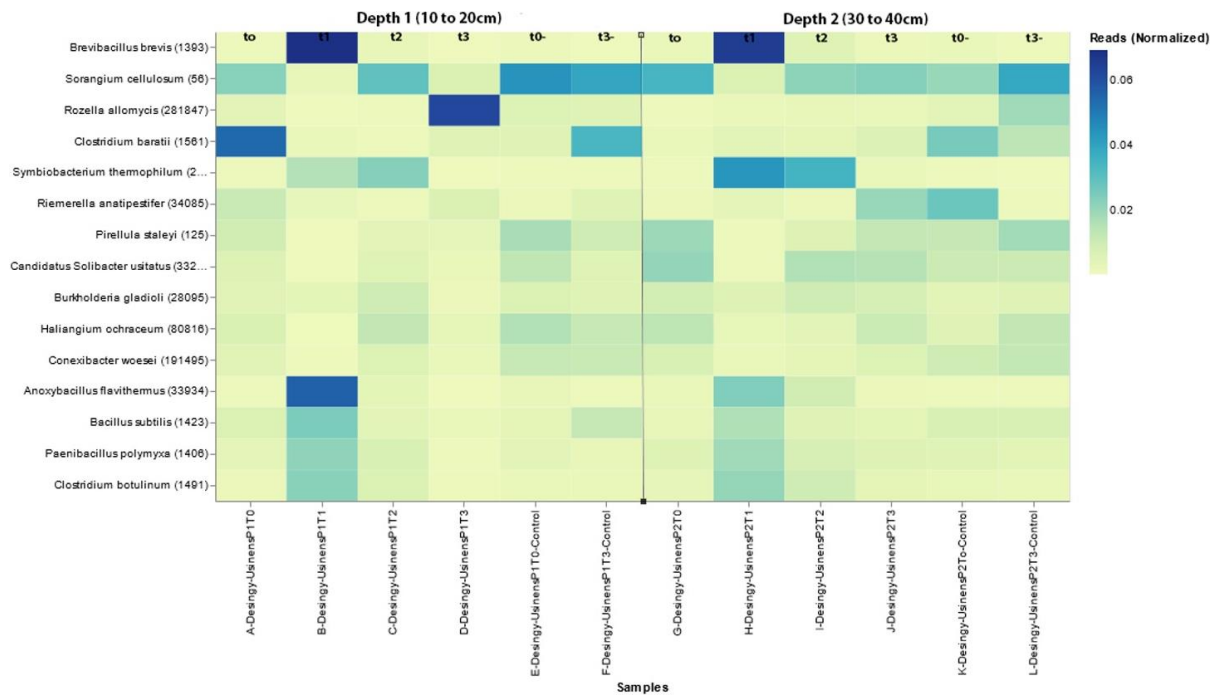


Figure 41. HeatMap de la communauté microbienne par profondeur pour le site de Desingy-Usinens (SU_P1)

Parmi les espèces bactériennes majoritaires (dans le Top 15 mis en évidence par les HeatMaps) qui profiteraient des nouvelles conditions créées par le traitement vapeur (élévation de température et anoxie), on trouve notamment *Anoxybacillus flavithermus*, *Brevibacillus brevis* ou *Clostridium botulinum* (des espèces communes à plusieurs sols (sites) comme Dully et Desingy-Usinens dans ce cas précis), ou encore *Symbiobacterium thermophilum* et *Paenibacillus polymyxa* (des espèces spécifiques à un sol/site comme Desingy-Usinens dans ce cas), etc.

Certaines de ces espèces portent d'ailleurs un nom de genre/espèce très évocateur, comme « Anoxi... », « ...thermus », « Thermo... », démontrant bien leur affinité pour des biotopes particuliers et notamment caractérisés par des températures élevées et/ou des conditions anaérobiques. Ceci concorde tout à fait avec l'effet des injections rapprochées de vapeur d'eau sous pression dans le sol lors du traitement.

Par contre, l'augmentation de température et la forte présence d'eau engendrées par le traitement vapeur du sol ne sont que transitoires et se résorbent plus ou moins vite selon la nature physico-chimique du sol (différences entre un sol sableux drainant et un sol plus argileux avec une plus forte rétention en eau par exemple). Les conditions de température et d'humidité revenant à l'équilibre après un certain temps, l'activité de ces nouveaux micro-organismes ayant eu un pic d'activité suite au traitement disparaît aussi rapidement qu'elle est survenue. Ceci est révélé par la couleur bleue au temps t1 (une semaine seulement après traitement) qui redevient jaune ou presque dès le temps t2 (1 mois après traitement) et encore plus au temps t3 (un an après traitement).

Ainsi, fait intéressant dans les conditions expérimentales exactes du traitement effectué (gamme de températures maximales atteintes au niveau du sol, durées à ces températures maximales, quantités d'eau injectées/retenues dans les sols etc.) sur les trois sites au printemps 2020, et indépendamment de la nature physico-chimique des sols, ce phénomène d'émergence d'une biodiversité adaptée aux

conditions de vie engendrées par le traitement apparaît très clairement réversible. Le microbiote retrouve son état initial d'avant traitement après un an dans son ensemble, malgré le fait que le traitement vapeur soit préjudiciable à certaines espèces.

En effet, les HeatMaps au niveau du genre et de l'espèce font également très bien ressortir que beaucoup d'espèces majoritaires actives des sols avant traitement vapeur cessent effectivement complètement leur activité suite au traitement (timing t1), mais que celle-ci reprend doucement après un mois (timing t2) pour revenir à l'état initial 1 an après traitement (timing t3). À titre d'exemple, nous pouvons citer les espèces *Clostridium barati* (figure 39), *Sorangium cellulosum* ou *Halangium ochraceum* (figure 41), etc.

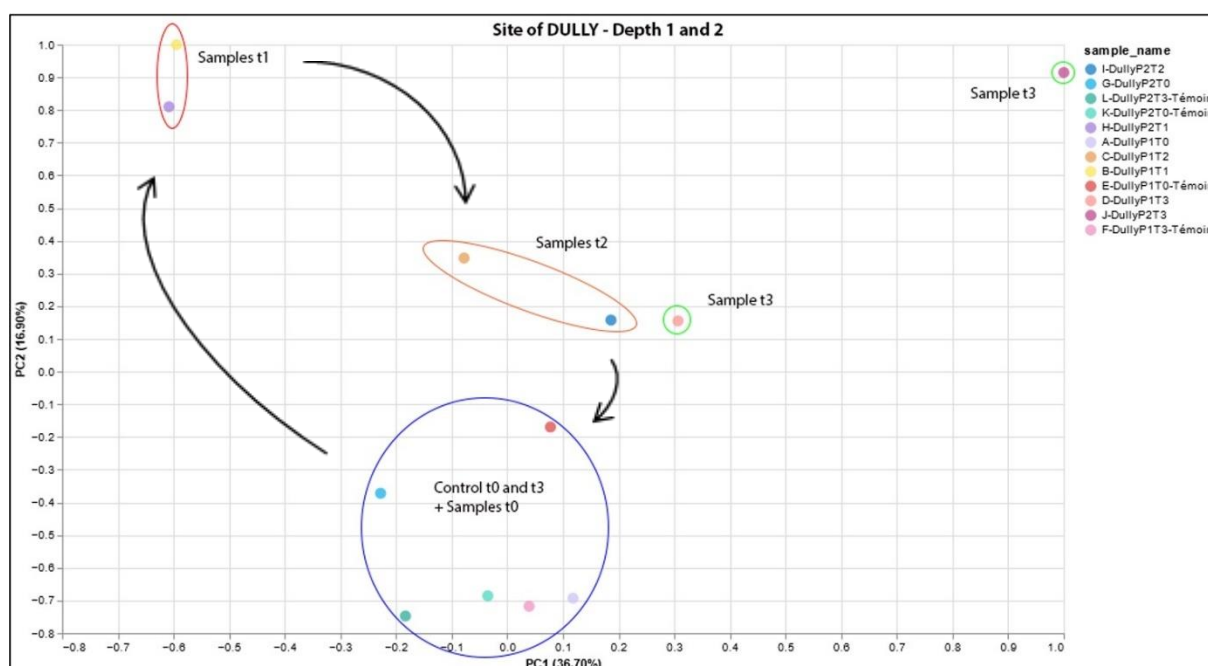


Figure 42. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Dully (Profondeur 1 et 2 confondues)

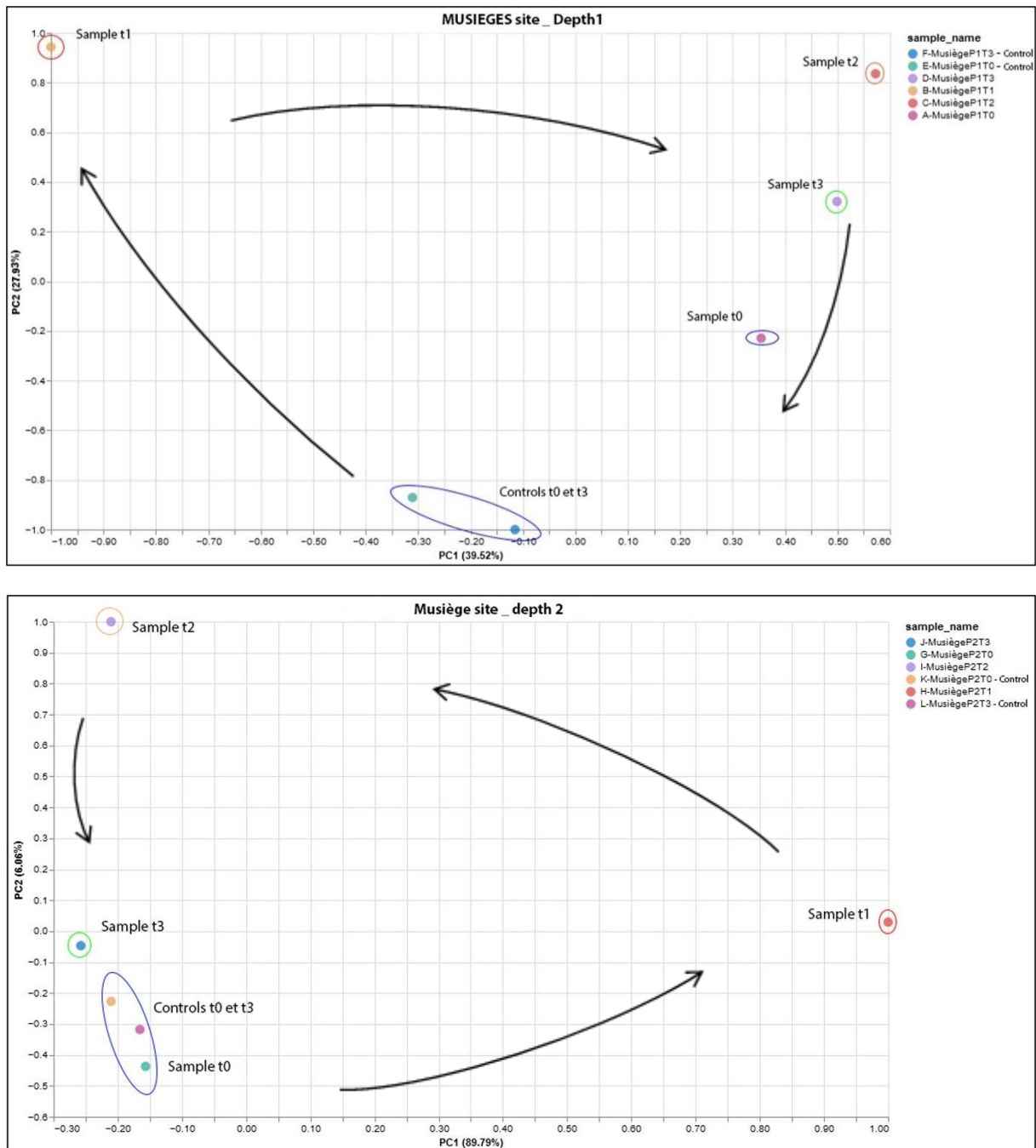


Figure 43. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Musièges (Profondeurs 1 et 2)

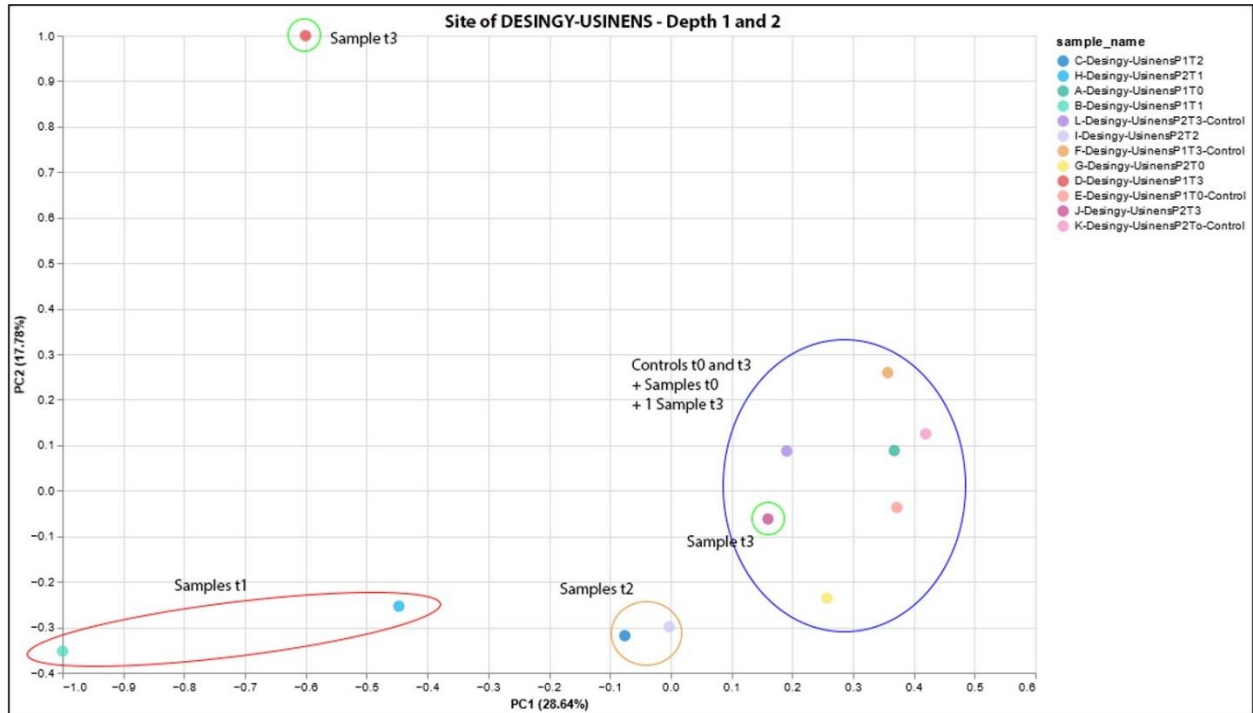


Figure 44. Analyse en composantes principales sur la matrice de distance pondérée générée à partir des abondances de taxons (au niveau de l'espèce) de chaque échantillon. Site de Desingy-Usinens (Profondeur 1 et 2 confondues)

Ce phénomène de retour global à l'équilibre initial est également bien représenté par les Analyses en Coordonnées Principales (ACoP) (figure 42 à figure 44) qui permettent de représenter graphiquement une matrice de similarité entre échantillons, basée sur les unités taxonomiques opérationnelles (UTO) actives dans chaque sol, i.e. les espèces des micro-organismes identifiées au cours du temps (de t0 à t3) par site. En effet, ces ACoP dans leur ensemble démontrent de façon reproductible indépendamment des trois sites étudiés et des deux profondeurs analysées que :

- Les microbiotes initiaux « t0 » du sol des zones témoins sont toujours très similaires concernant les espèces majoritaires actives (en extrapolant cela vaut pour les microbiotes dans leur ensemble i. e. avec les espèces minoritaires) de leurs microbiotes finaux respectifs « t3 » ; les échantillons se retrouvent bien regroupés dans les mêmes cercles bleus. Ceci confirme que sans traitement, le microbiote actif d'un sol reste plus ou moins stable dans le temps indépendamment de la profondeur analysée, les différences minimales s'expliquant par les lieux de prélèvement qui varient d'un mètre ou deux entre deux timings, par l'influence du climat à la période de prélèvement etc. Notons cependant que les microbiotes des deux profondeurs analysées du site de Musièges présentaient des différences plus importantes entre eux que ceux des deux autres sites ; c'est donc pourquoi deux ACoP ont été générées pour Musièges, une pour chaque profondeur, afin de pouvoir mieux visualiser graphiquement les résultats.
- Les microbiotes initiaux « t0 » de chaque zone traitée (zone de renouées asiatiques) étaient très similaires des microbiotes initiaux et finaux « t0 » et « t3 » de leur zone témoin respective sur chaque site (les échantillons se retrouvent bien regroupés dans les mêmes cercles bleus) ; les zones témoins ne comportaient pas de renouée (essentiellement des graminées).

Selon nos résultats, la flore végétale qui pousse sur un même type de sol n'a donc qu'une faible influence, du moins à court terme, sur la flore microbienne de celui-ci aux profondeurs de 10 à 20 cm et de 30 à 40 cm.

- Le traitement vapeur sous pression change très rapidement et considérablement le microbiote d'un sol en termes de qualité. Les échantillons récoltés une semaine après le traitement, soit au timing « t1 » (Cercle rouge), se trouvent toujours très éloignés des échantillons d'origine « t0 » (Cercle bleu) sur les différentes ACoP, ce qui confirme une très forte dissimilarité quant aux espèces de micro-organismes actives et identifiées.
- Les microbiotes reviennent à leur composition initiale en micro-organismes actifs et identifiés à l'origine. En effet, les échantillons au timing « t2 », soit un mois après le traitement (cercle orange), se sont considérablement rapprochés en terme de distance sur le graphique de leur origine « t0 » (synonyme d'une dissimilarité qui s'amenuise), puis les échantillons au timing « t3 », soit un an après le traitement (cercle vert), accentuent encore ce rapprochement pour finalement se retrouver très proches, de l'état initial « t0 » (cercle bleu) ; cela confirme un rétablissement global de la composition initiale des microbiotes en micro-organismes actifs et identifiés à l'origine (avant traitement vapeur).
- Quelques échantillons « t3 » (à chaque fois une des deux profondeurs uniquement), (figure 42 et figure 44), se retrouvent cependant particulièrement éloignés de leur composition d'origine. La dissimilarité étant relativement importante. Cela démontre tout de même un effet délétère et irréversible dans certaines zones du sol du traitement vapeur sur le microbiote de ceux-ci. Une observation d'importance lors des relevés sur le terrain fut le fait que les différents horizons sont apparus très perturbés/brassés suite au traitement vapeur sous pression. Ceci s'accompagne donc d'une perte de structure de sol, mais surtout d'un brassage du microbiote entre les différents horizons, ceci pouvant être en partie à l'origine de ces résultats. Une autre explication serait également des points chauds du traitement plus importants en certains endroits, menant réellement à une moindre diversification des microbiotes.

Synthèse

Aux gammes de températures maximales atteintes dans les sols lors de cette campagne de traitements (chapitre 3.2.2), l'analyse métatranscriptomique a permis de mettre en évidence un retour global à leur composition initiale des microbiotes un an après le traitement. Le traitement vapeur ainsi pratiqué n'apparaît pas létal pour la très grande majorité des espèces composant le microbiote respectif de ces sols. Nous avons pu analyser que le traitement est tout de même délétère concernant certaines espèces/l'équilibre de la flore du microbiote du sol, mais que celui-ci favorise surtout sur une courte durée et de façon transitoire seulement l'émergence de micro-organismes adaptés à des conditions de vie anaérobiques avec des températures plus ou moins élevées.

4.2.4 Suivi de l'entomofaune du sol

Objectif

L'objectif de ce suivi est de mettre en évidence l'impact du traitement thermique sur les animaux du sol. Pour ce faire, le groupe des Collemboles est choisi comme modèle (figure 45). Ils constituent un groupe d'arthropodes de petite taille (entre 0,2 et 6 mm), qui vivent dans les premiers centimètres du sol. Ils sont particulièrement pertinents comme indicateurs de la santé des sols car :

- ils sont fortement liés aux sols à cause de leur régime alimentaire détritivore et /ou microphage ;
- ils sont présents dans tous les écosystèmes terrestres et facilement échantillonnables ;
- plusieurs espèces cohabitent dans de petits volumes de sol, ce qui permet d'obtenir une mesure de la biodiversité ;
- leur régime alimentaire leur confère des fonctions importantes de régulation et dispersion des micro-organismes et de micro-structuration du sol.



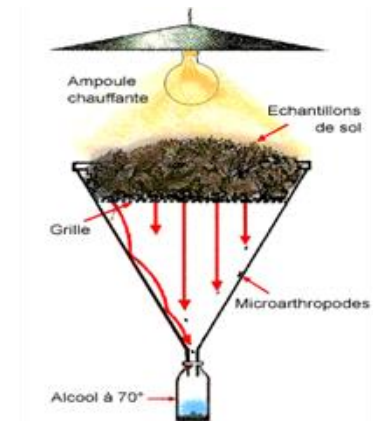
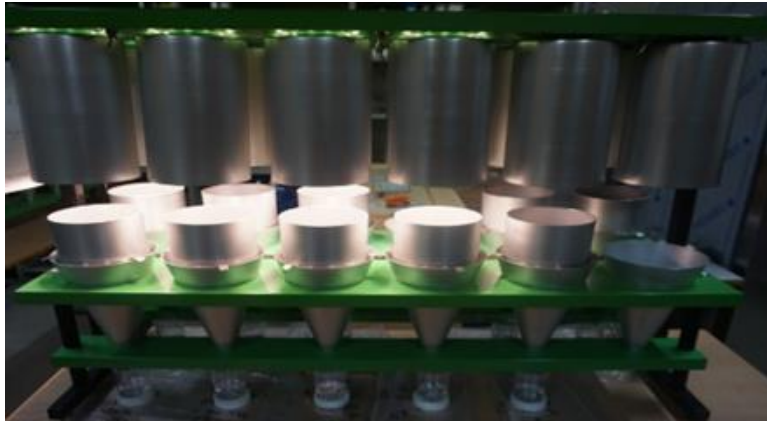
Figure 45. Quatre exemples d'espèces de Collemboles présentes en Suisse

Matériels et méthodes

De petits volumes de sol (5 cm de diamètre x 7 cm de profondeur) ont été prélevés à l'aide d'une tarière à densité. Cinq prélèvements de sol ont été effectués pour chacun des quatre sites pilotes de l'étude (Massongex VS_P1, Musiège SU_P2, Dully VD_P2 et Desingy-Usinens SU_P1), à quatre périodes différentes :

- T0, avant le traitement ;
- T1, une semaine après le traitement ;
- T2, un mois après le traitement ;
- T3, un an après le traitement.

À chaque période de prélèvement et pour chaque site, les échantillons ont été rapportés au laboratoire le jour même et placés dans un extracteur Berlèse (figure 46) pendant 7 jours. Les animaux du sol ainsi extraits ont été triés par groupe. Les espèces du groupe des Collemboles ont été dénombrées et identifiées à l'aide des clés d'identification de référence (Schlitt et Dunger 1994; Bretfeld, 1999; Potapov, 2001; Thibault et al., 2004; Dunger et Schlitt, 2011; Jordana, 2012).



Les échantillons sont placés dans un entonnoir muni d'un tamis, par-dessus lequel une ampoule à incandescence est fixée. L'échantillon de sol est progressivement asséché sous l'effet de la chaleur émise par l'ampoule, ce qui pousse les animaux à rechercher l'humidité en profondeur du sol. Ils tombent dans un récipient collecteur placé en dessous de l'entonnoir.

Figure 46. Illustration d'un extracteur Berlese (à gauche) et schéma de fonctionnement de l'appareil (à droite)

Les quatre périodes du suivi ont ensuite été comparées à l'aide de modèles linéaires généralisés mixtes pour données répétées. Les moyennes d'abondance et de richesse spécifique par sites pour les quatre périodes de prélèvement ont été représentées à l'aide de graphiques en barres (figure 47). La répartition des espèces pour chaque période de prélèvement a été représentée à l'aide de graphiques en secteurs pour tous les sites confondus (figure 48).

Résultats

Au total, tous les sites et périodes d'échantillonnage confondus, ce sont 1201 individus pour 58 espèces de Collemboles qui ont été observés dans les prélèvements (tableau 24). La comparaison des quatre périodes de prélèvements montre qu'en moyenne, l'abondance et la richesse spécifique des Collemboles sont significativement différentes aux quatre périodes de prélèvement ($p < 0.001$, figure 47). En effet, l'abondance et la richesse spécifique avant les traitements (T0) sont significativement plus élevées qu'à toutes les autres périodes de prélèvement (T1, T2 et T3). À T0, l'abondance et la richesse spécifique des Collemboles sont relativement élevées pour ce type de milieu, avec en moyenne entre 8,2 et 2,6 espèces et entre 38,8 et 11,6 individus, respectivement à Desingy et Massongex. Tous les prélèvements confondus, nous avons observé 35 espèces et 632 individus à T0 avant le traitement.

Une semaine après le traitement (T1), les populations de Collemboles ont fortement chuté avec un seul collembole observé (*Sminthurinus viridis*), tous les sites confondus. Le traitement thermique a donc un fort impact sur le groupe des Collemboles à court terme.

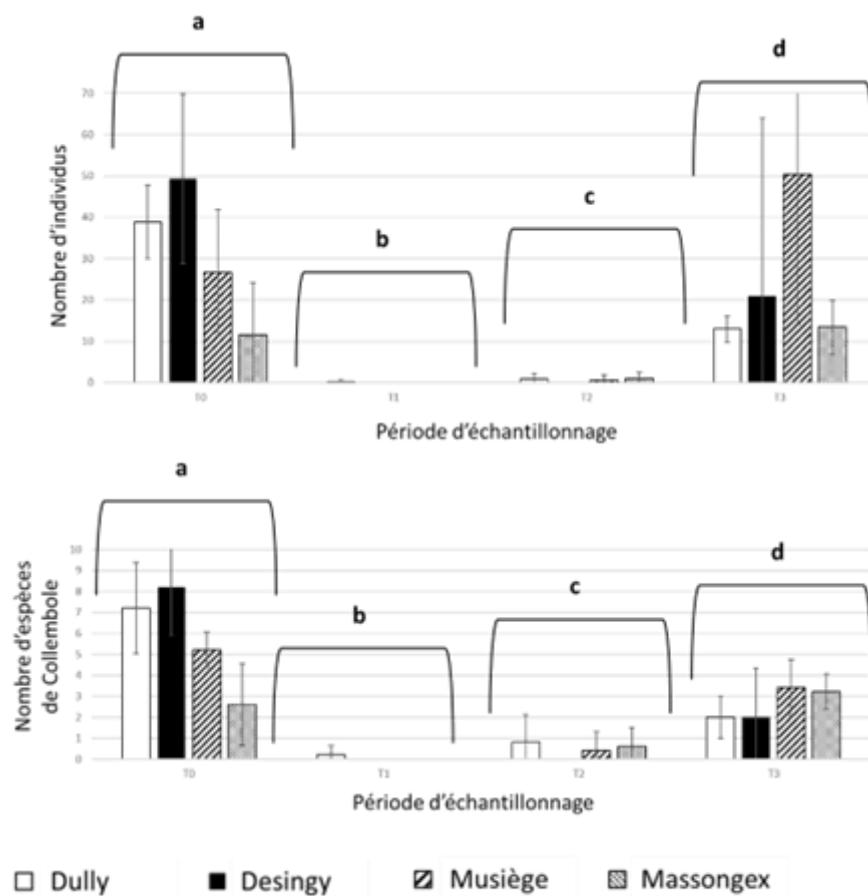
Un mois après le traitement (T2), les populations restent en effectifs très faibles avec au total seulement douze individus observés, et seulement 8 espèces identifiées tous les sites confondus (figure 48).

Une année après le traitement (T3), les populations se rapprochent des valeurs initiales, avec au total 34 espèces observées pour 556 individus, tous les sites confondus. En moyenne, les valeurs de richesse spécifique et d'abondance restent significativement plus faibles qu'à T0 ($p < 0.001$) avec entre

2 et 3,4 espèces et entre 13 et 50,4 individus, respectivement pour les sites de Dully et Desingy (figure 47).

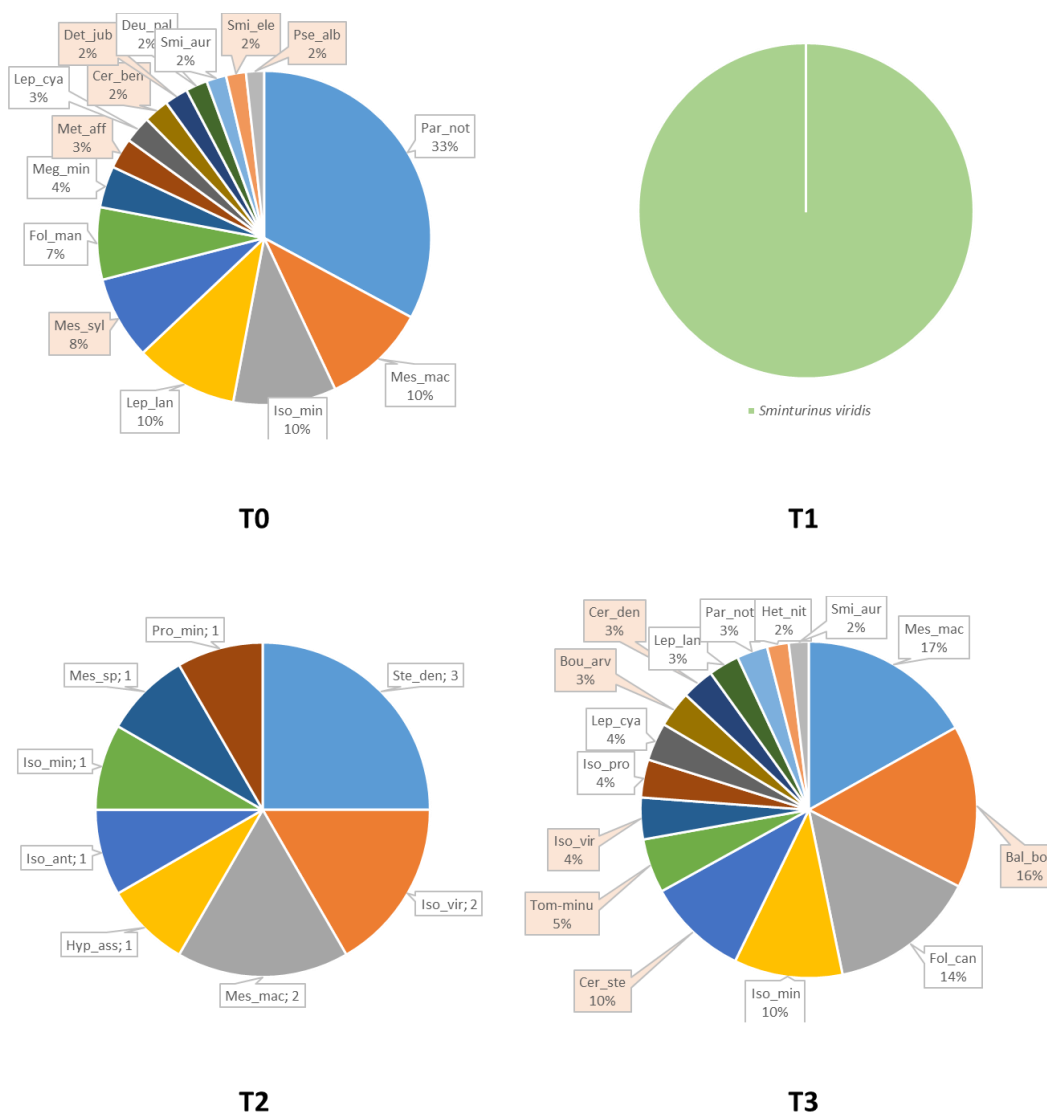
Tableau 24. Liste des 58 espèces de Collemboles observées durant le suivi. Abréviation et nom latin pour chaque espèce.

Abréviation	Nom latin de l'espèce	Abréviation	Nom latin de l'espèce
Bal_bor	<i>Ballistura borealis</i>	Iso_pro	<i>Isotomodes productus</i>
Bou_arv	<i>Bourletiella arvalis</i>	Iso_vir	<i>Isotoma viridis</i>
Bou_sp	<i>Bourletiella sp</i>	Lep_cya	<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>
Cer_ben	<i>Ceratophysella bengtssoni</i>	Lep_lan	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>
Cer_den	<i>Ceratophysella denticulata</i>	Lep_sp	<i>Lepidocyrtus sp</i>
Cer_ste	<i>Ceratophysella stercoraria</i>	Meg_min	<i>Megalothorax minimus</i>
Cer_sp	<i>Ceratophysella sp</i>	Meg_sp	<i>Megalothorax sp</i>
Cry_the	<i>Cryptopygus thermophilus</i>	Mes_mac	<i>Mesaphorura macrochaeta</i>
Cry_sp	<i>Cryptopygus sp</i>	Met_aff	<i>Metaphorura affinis</i>
Cyp_alb	<i>Cyphoderus albinus</i>	Mes_sp	<i>Mesaphorura sp</i>
Det_jub	<i>Detriturus jubilaris</i>	Mes_syl	<i>Mesaphorura sylvatica</i>
Deu_bic	<i>Deuterosminthurus bicinctus</i>	Mic_pyg	<i>Micranurida pygmea</i>
Deu_pal	<i>Deuterosminthurus pallipes</i>	Nea_mus	<i>Neanura muscorum</i>
Ent_cor	<i>Entomobrya corticalis</i>	Neo_tri	<i>Neotullbergia tricuspis</i>
Ent_lan	<i>Entomobrya lanuginosa</i>	Orch_cin	<i>Orchesella cincta</i>
Ent_niv	<i>Entomobrya nivalis</i>	Par_mac	<i>Paratullbergia macdougalli</i>
Fol_can	<i>Folsomia candida</i>	Par_not	<i>Parisotoma notabilis</i>
Fol_man	<i>Folsomia manolachei</i>	Pro_min	<i>Praisotoma minima</i>
Fol_par	<i>Folsomides parvulus</i>	Pse_dec	<i>Pseudosinella decipiens</i>
Fol_pen	<i>Folsomia penicula</i>	Pse_sp	<i>Pseudosinella sp</i>
Fol_qua	<i>Folsomia quadrioculata</i>	Pse_alb	<i>Pseudosinella alba</i>
Fol_sp	<i>Folsomia sp</i>	Sin_ten	<i>Sinella tenebricosa</i>
Het_maj	<i>Heteromurus major</i>	Smi_aur	<i>Sminthurinus aureus</i>
Het_nit	<i>Heteromurus nitidus</i>	Smi_ele	<i>Sminthurinus elegans</i>
Hyp_ass	<i>Hypogastrura assimilis</i>	Smi_vir	<i>Sminthurus viridis</i>
Iso_ant	<i>Isotoma antenalis</i>	Sph_pum	<i>Sphaeridia pumilis</i>
Iso_fuc	<i>Isotomurus fucicolus</i>	Ste_den	<i>Stenaphorura denisi</i>
Iso_gra	<i>Isotomurus graminis</i>	Tha_enc	<i>Thalassophorura encapata</i>
Iso_min	<i>Isotomiella minor</i>	Tom-minu	<i>Tomocerus minutus</i>



T0 = avant le traitement ; T1 = une semaine après le traitement ; T2 = un mois après le traitement et T3 = un an après le traitement. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard. Les lettres au-dessus des groupes de barres indiquent les différences significatives ($p < 0.001$).

Figure 47. Moyennes de l'abondance (en haut) et de la richesse (en bas) des Collemboles pour les quatre sites aux quatre périodes d'échantillonnage



T0 = avant le traitement ; T1 = une semaine après le traitement ; T2 = un mois après le traitement et T3 = un an après le traitement

Ont été prises en compte les espèces représentant au moins 2% de l'abondance totale. Les étiquettes des secteurs indiquent l'abréviation du nom de l'espèce. Les noms complets des espèces sont disponibles dans le tableau 24. Au T0 et au T3, les pourcentages représentent la fréquence de chaque espèce, tandis qu'au T2, c'est l'abondance totale qui est indiquée. Les étiquettes colorées en rose au T0 et au T3 indiquent les espèces différentielles.

Figure 48. Répartition des espèces de Collemboles (tous sites confondus) aux quatre dates de prélèvement.

La composition des communautés est, elle aussi, fortement impactée par les traitements. En effet, une partie des espèces n'a toujours pas recolonisé les parcelles pilotes une année après le traitement (figure 48). A l'inverse, certaines espèces absentes avant le traitement ont été observées une année après. Cela indique que les communautés subissent une réorientation de leur structuration, probablement au profit des espèces les plus mobiles. Dû aux faibles capacités de dispersion des espèces du groupe des Collemboles en général, nous estimons que les communautés n'ont pas retrouvé leur stade d'équilibre une année après les traitements. Les potentielles modifications des paramètres du sol, engendrées par le traitement thermique, telle que la translocation des particules

finies ou de la matière organique en profondeur, sont probablement à l'origine de la réorientation de la trajectoire évolutive des communautés de Collemboles.

Synthèse

L'abondance et la richesse spécifique des Collemboles sont significativement réduites par les traitements thermiques. A court terme (une semaine), ils engendrent la quasi-disparition de ce groupe d'espèces. Un mois après traitement, une richesse et des effectifs très réduits sont observés. Sur le long terme, la structure des communautés est réorientée aux profits de certaines espèces. Après un an, le stade d'équilibre de la communauté de Collemboles n'est pas retrouvé.

4.2.5 Etude de la structure d'un sol

Objectif

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'impact du traitement thermique sur la structure du sol. Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible de réaliser de réplicats, c'est pourquoi il s'agit ici de l'étude d'un unique site et ne constitue pas un suivi ou une vision globale sur les sites traités.

Méthode

Afin d'observer l'effet du traitement thermique sur les sols, le site du lieu-dit « Le Trou du Rat » sur la commune de Seyssel a été sélectionné. Ce site à Solidage du Canada a été traité le 09.09.2021. Une fosse pédologique a été ouverte dans le même temps après traitement dans la zone d'emprise du traitement et comparée à une fosse pédologique sur le même site, à proximité, mais hors influence du traitement. Les deux fosses pédologiques ont été observées et décrites le 27 septembre 2021. Des prélèvements de sol de tous les horizons décrits ont été effectués afin d'analyser la texture, le taux de matière organique (perte au feu) et le pH. Toutes les analyses ont été effectuées au Laboratoire cantonal d'analyses des sols de Genève.

Résultats

La description du profil de sol creusé en dehors de la zone d'influence du traitement (figure 49) montre un sol peu différencié, avec seulement trois horizons pédologiques. La présence en grand nombre de galets bien arrondis est typique des terrasses alluviales. La présence d'artéfacts humains (morceaux de plastiques ou de goudron, etc.) à plusieurs profondeurs le long du profil de sol indique que cette parcelle a été remblayée plusieurs fois. La texture est limono-sableuse avec un taux d'argile aux alentours de 10%, qui ne varie que très peu entre les trois horizons (figure 51). Le pH varie également peu entre les trois horizons, avec des valeurs proches de 8 (tableau 25). Le taux de matière organique est globalement faible, 2,5% dans l'horizon de surface et diminue à 2,2% dans les deux horizons sous-jacent (figure 50).



Figure 49. Illustration des deux profils de sol observés. A gauche, le profil creusé en dehors de la zone d'emprise du traitement et à droite, le profil creusé dans la zone d'emprise du traitement. Les lignes blanches indiquent les limites des horizons décrits.

Le profil de sol creusé dans la zone d'influence du traitement montre un faciès bien différent. En surface, on observe un grand nombre de tiges de solidage partiellement enfoncées dans les premiers centimètres du sol. A plusieurs profondeurs le long du profil (entre 46 et 54 cm, puis entre 87 et 101 cm), des horizons de couleurs foncées, probablement en lien avec leur taux de matière organique s'observe. La texture est également limono-sableuse avec un taux d'argile de 13% dans le premier horizon. Les horizons sous-jacents montrent une baisse du taux d'argile, qui remonte dans le dernier horizon en profondeur. Cette différence de la répartition des argiles dans la profondeur du sol, entre les deux profils, indique une probable translocation de ces éléments fins sous l'effet de la pression de l'eau engendrée par le traitement. Le taux de matière organique montre également des variations inhabituelles le long du profil. Les horizons plus foncés en profondeur du profil (entre 46 et 54 cm, puis entre 87 et 101 cm) montrent des valeurs plus élevées pour la matière organique que les horizons adjacents au-dessous et au-dessus (tableau 25). Cette répartition de la matière organique ne peut être expliquée que par l'effet du traitement, car aucun processus naturel ne mène à de tel faciès. Le pH varie également peu dans la profondeur, avec des valeurs autour de 8.

Tableau 25. Résultats des analyses pédologiques du pH, de la perte au feu (MO%) et de la granulométrie de la terre fine (Argile%, Limon% et Sable%) de tous les horizons de deux profils de sol observés.

	Profondeur (cm)	Granulométrie terre fine				
		pH	MO %	Argile %	Limons %	Sables %
Non-traité	0-29	7.8	2.5	11.0	32.7	54.4
	29-69	7.9	2.2	12.2	24.5	61.7
	69-110	7.9	2.2	11.9	20.3	67.8
Traité	0-33	7.9	2.6	13.0	31.2	55.7
	33-46	8.4	0.9	12.0	22.3	66.3
	46-54	7.9	2.5	11.0	24.1	64.1
	54-87	8.5	1.0	10.9	20.1	68.9
	87-101	8.2	1.5	11.2	23.4	65.5
	101-119	8.4	0.9	12.1	23.7	65.6

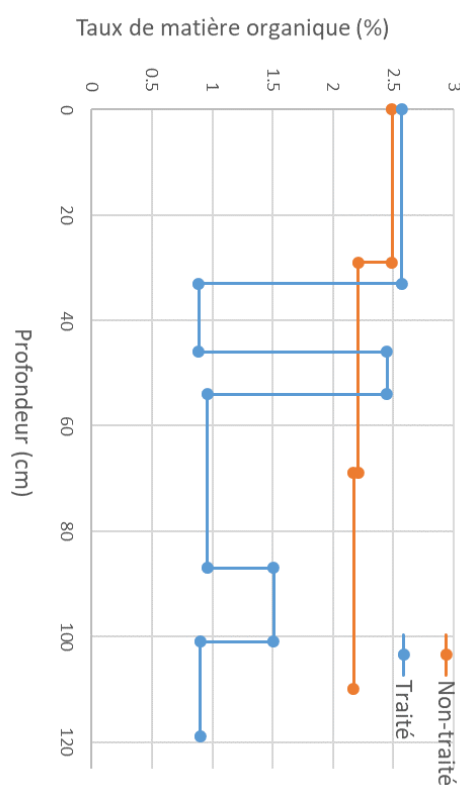


Figure 50. Taux de matière organique (%) en fonction de la profondeur (cm), pour tous les horizons des deux profils de sol ; en orange, le sol en dehors de la zone d'emprise du traitement et en bleu, le sol dans la zone d'emprise du traitement.

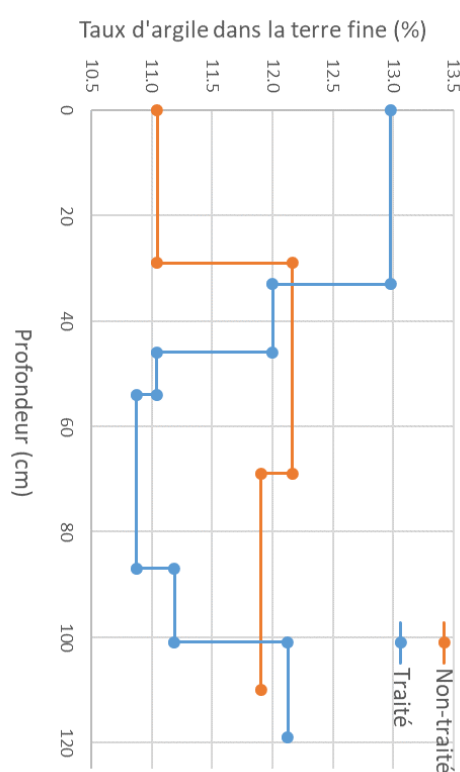


Figure 51. Taux d'argile dans la terre fine (%) en fonction de la profondeur (cm), pour tous les horizons des deux profils de sol ; en orange, le sol en dehors de la zone d'emprise du traitement et en bleu, le sol dans la zone d'emprise du traitement.

Synthèse

Le traitement thermique a un fort impact sur le sol, particulièrement sur sa texture et sur son taux de matière organique. Le sol du lieu-dit du « Trou du Rat » étant peu argileux, on peut attendre un effet plus important sur des sols qui auraient une texture plus fine avec des taux d'argile au-dessus de 15%. Le risque de traiter des sols avec des textures plus argileuses est que les éléments fins se retrouvent dans l'horizon de surface du sol, ce qui aurait un effet de « colmatage » de ses horizons de surface par remontée des argiles sous l'effet de la pression de l'eau, comme cela semble avoir été le cas sur le site de Massongex (figure 52). Il paraît donc important de vérifier la nature du sol à traiter pour adapter la méthode selon la texture du sol.



Figure 52. Illustration de la surface d'un sol à texture fine après le traitement, sur le site de Massongex (VS_P1). L'horizon de surface semble « colmaté » par les argiles, remontées en surface sous l'effet de la pression de l'eau due au traitement

4.2.6 Suivi de la flore

Objectif

Ce suivi possède la particularité d'être appliqué (avec des modalités variables) à tous les sites concernés par le traitement thermique. Il a pour objectif de déterminer l'efficacité de la méthode de traitement thermique, de manière globale, ainsi qu'en regard à différents facteurs, tels que la répétition des traitements, la saisonnalité d'intervention ou encore la combinaison avec d'autres techniques de lutte et de végétalisation.

Matériels et méthodes

Deux types de données sont comparées dans ce chapitre. Les analyses portent sur les résultats des deux méthodes de suivis floristique suivants.

Méthode des points-contacts (PC)

Sur la surface d'intérêt, deux transects perpendiculaires en croix sont établis à l'aide de chevillères. La longueur des transects est additionnée puis divisée par 100 (le nombre de points d'échantillonnage souhaité). La valeur calculée, qu'il conviendra d'arrondir, correspond à la distance entre les points.

A chaque point d'échantillonnage, une baguette métallique ou baïonnette est piquée dans le sol. Tout élément vivant d'une plante en contact avec la baguette est pris en compte. La totalité de la hauteur de la baguette est prise en compte, ainsi que sa projection verticale vers le haut si la baguette est de taille inférieure à la plante. La comptabilisation est effectuée par espèce sous la forme d'une présence-absence pour chaque point d'échantillonnage. Ainsi, une même espèce présentant un ou plusieurs contacts (de la part d'un ou plusieurs individus) engendre une augmentation du compte de « 1 » uniquement. Le résultat est donc une liste d'espèces avec un nombre d'occurrences par espèce. Dans le cas d'un suivi simplifié (site test, réalisé par des partenaires non experts en botanique), les espèces rencontrées ne sont pas nécessairement nommées, tout en étant toutefois distinguées.

Méthode des recouvrements (R)

Sur la surface d'intérêt, des pourcentages de recouvrement des sites (par strate) sont estimés visuellement par l'observateur, sur le terrain, à la manière d'un relevé phytosociologique simplifié. Le recouvrement est une estimation de la couverture des plantes en projection verticale (vu du ciel). Pour les trois catégories « espèce envahissante », « autres » et total, un indice de recouvrement sur une échelle de cinq modalités (détail en tableau 26) devra être estimé pour les différentes strates.

Tableau 26. Indices de la méthode des recouvrements

Indice	Recouvrement de l'espèce	Signification
I	< 5%	Très faible couverture
II	5-25%	Faible couverture
III	25-50%	Couverture moyenne
IV	50-75%	Forte couverture
V	75-100%	Très forte couverture

Le détail de l'exécution des méthodes est disponible en annexe 9. Ces deux méthodes sont complémentaires :

- la méthode des points-contacts (PC), fournit une vision précise, standardisée et objective des recouvrements, est tributaire du placement du transect et limité strictement à ce transect ;
- la méthode des indices de recouvrements (R), qui peuvent varier d'un observateur à l'autre (de manière limitée compte tenu des classes assez large), fournit des données classifiées, mais représentatives de l'ensemble du site.

L'efficacité, peu importe la méthode utilisée, est un indice numérique possédant une valeur théorique entre -∞ et 1 et correspond à la formule :

$$Efficacité = 1 - \frac{Invasion\ EEE_{final}}{Invasion\ EEE_{initial}} = 1 - \frac{\frac{Recouvrement\ EEE}{Recouvrement\ total}_{final}}{\frac{Recouvrement\ EEE}{Recouvrement\ total}_{initial}}$$

La valeur de l'indice n'est pas absolue, elle est rapportée à l'état initial (ex. si l'invasion initiale est de 80% et l'invasion mesurée de 40% au cours du suivi, alors l'efficacité a une valeur de 0,5 – ou 50% : le traitement a permis de diminuer l'invasion de moitié).

Ainsi, une valeur de 0 traduit un impact nul des traitements, une valeur de 1 ou 100% un succès (éradication totale) et une valeur négative une dégradation de la situation (figure 53).

Tableau 27. Valeurs de l'indice d'efficacité

Efficacité	< 0	0	0,25	0,5	0,75	1
Signification	Invasion croissante	Efficacité nulle	Diminution de l'invasion de ¼	Diminution de l'invasion de moitié	Diminution de l'invasion de ¾	Eradication totale

Résultats par sites

Les résultats par site et l'évolution des différents indicateurs (invasion, taux de reprise, efficacité, etc.) sont synthétisés dans le tableau constituant l'annexe 10. Les prochains paragraphes présentent les résultats globaux et les tendances analysées.

Résultats : efficacité de la méthode

Efficacité globale de la méthode

Globalement, sans distinction d'aucun paramètre (par ex. du nombre de traitements ou de post-traitements mis en place, la saisonnalité de traitement, etc.), il est possible d'évaluer l'efficacité des mesures sur une échelle à trois niveaux : éradication totale, partielle (si une réduction de l'invasion est observée), ou nulle (si aucun effet de réduction n'est observé). De manière synthétique :

- 9% des sites n'ont pas été impacté par les mesures mises en place ;
- 91% des sites des mesures mises en place (73% éradication partielle et 18% éradication totale des invasives cibles) (figure 53).

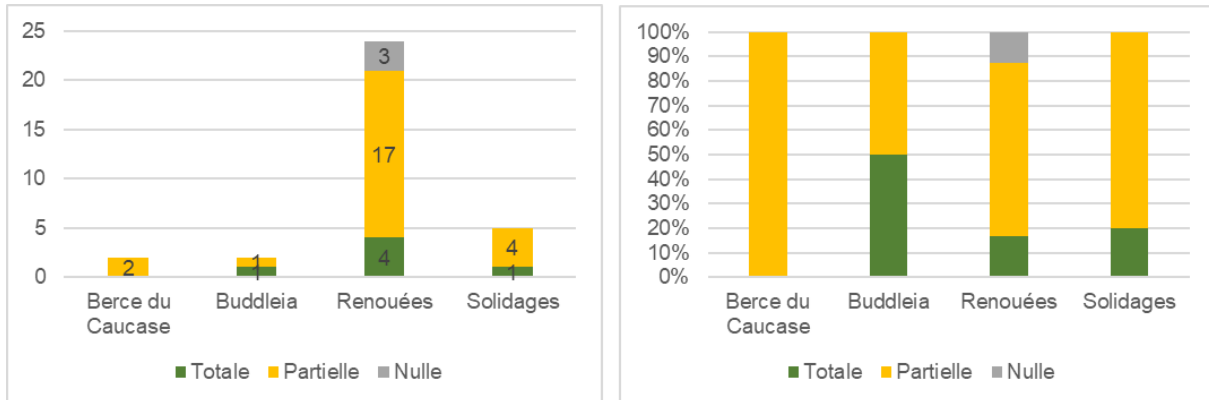


Figure 53. Résultats d'éradication des sites du projet en absolu (gauche) et relatif (droite) par espèce

Compte tenu des effectifs très faibles pour les espèces autres que les renouées, il n'est pas possible de comparer l'efficacité entre les espèces cibles.

Evolution globale de l'invasion

L'invasion correspond au taux de contact ou de recouvrement de l'EEE cible (entre 0 et 1 ou 100%). Globalement, sans distinction d'aucun paramètre (par ex. du nombre de traitements ou de post-traitements mis en place, la saisonnalité de traitement, etc.), une comparaison est effectuée entre l'état initial avant projet et l'état en fin de projet (figure 54).

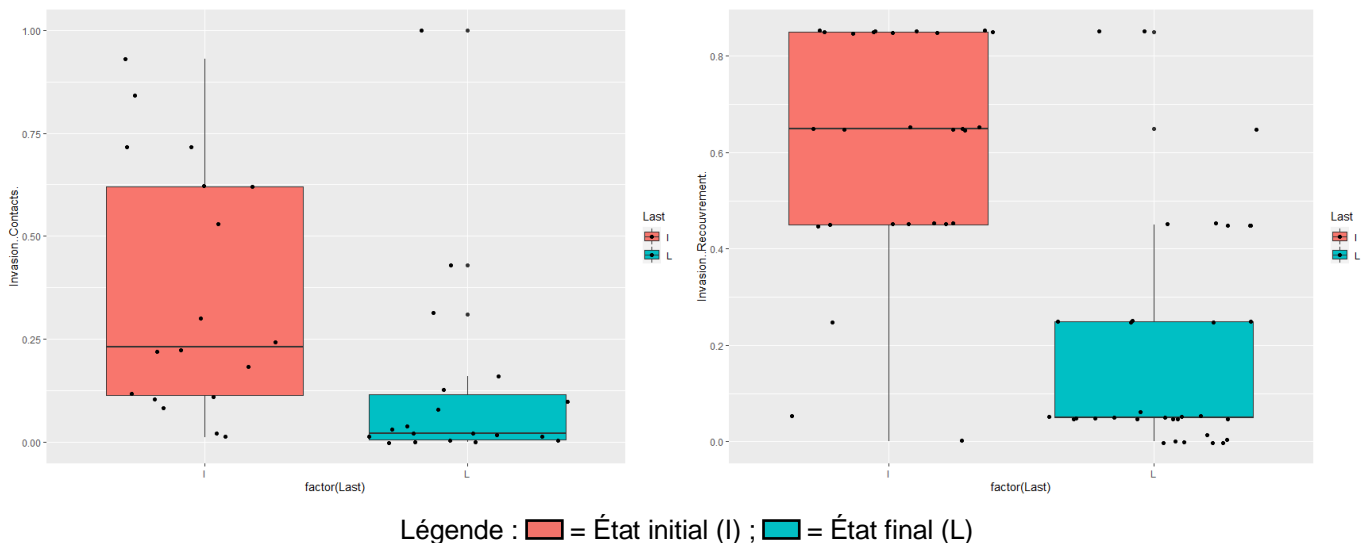


Figure 54. Evolution de l'invasion entre l'état initial et final selon les méthodes PC (gauche) et R (droite)

On note globalement une réduction significative du recouvrement moyen des EEE cible entre l'état initial et en fin projet (*Mann-Whitney p-value = 0,00*).

→ **Conclusion 1** : entre l'état initial et l'état après projet, les EEE cibles ont un recouvrement significativement réduit de l'ordre de 20 à 45% en moyenne (respectivement selon les méthodes PC et R) sur les sites.

Efficacité globale selon l'espèce EE cible

Au vu de l'hétérogénéité du nombre de sites par espèce, il ne paraît pas adéquat d'effectuer des analyses comparatives entre espèces, notamment compte tenu des effectifs bas de sites de la plupart des espèces. On notera que graphiquement les sites de solidages (N=4) semblent atteindre des efficacités de traitement plus importantes que les sites de renouées (N=15). A noter que 71% des sites sont des sites de renoués (figure 55).

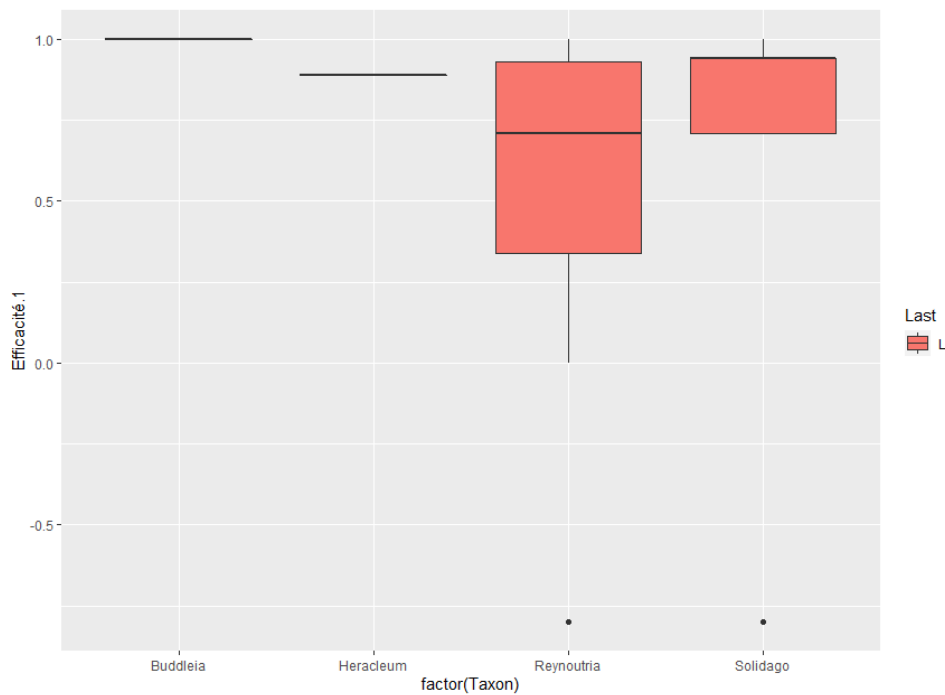


Figure 55. Efficacité par espèce selon la méthode R

Résultats : effets de la répétition des traitements thermiques

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les états initiaux, finaux, mais aussi ceux des suivis intermédiaires.

Sur la base des deux méthodes respectivement R et PC, la réalisation de un ou deux traitements (R : N= 93 ; PC : N=58) engendre des résultats significativement différents de l'absence de traitement soit une efficacité nulle (R : *Sign p-value* = 0,00 ; PC : *Sign p-value* = 0,05), tandis qu'il n'y a pas de différence significative d'efficacité entre un ou deux traitements (R : *Welch p-value* = 0,36 ; PC : *Welch p-value* = 0,92) (figure 56).

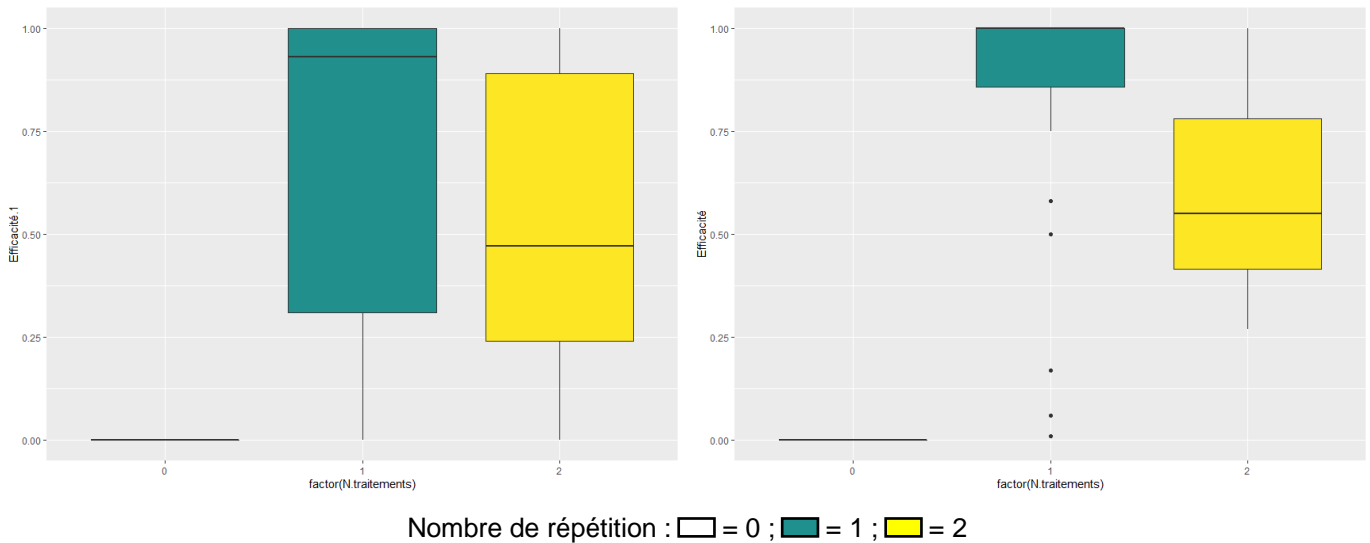


Figure 56. Efficacité en fonction du nombre de répétition du traitement thermique selon les méthodes R (gauche) et PC (droite)

→ **Conclusion 2** : le traitement des sites a globalement une efficacité significative par rapport à l'absence de traitement. En revanche la répétition des traitements ne semble pas influencer l'efficacité.

Dans cette analyse, il est difficile d'imputer l'efficacité à un facteur ou un autre, des actions d'arrachages et de traitement étant survenues sur les mêmes sites. On peut d'ailleurs dire que plus le nombre de traitement est grand et plus potentiellement le nombre de post-traitements réalisés est également grand. Un deuxième traitement n'est jamais réalisé sur un site éradiqué, aussi les deuxièmes traitements sont réalisés sur les sites les plus problématiques, introduisant un biais dans la baisse d'efficacité (non significative) entre les traitements 1 et 2.

Résultats : effets de la saisonnalité des traitements thermiques

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les état initiaux, finaux, mais aussi ceux des suivis intermédiaires. Avec les deux méthodes de suivi, il apparait que les traitements effectués en été (N=16) entraînent des efficacité significativement supérieures aux traitements effectués au printemps (N=33) (R : *Welch p-value* = 0,00 ; PC : *Welch p-value* = 0,03). En moyenne, les traitements d'automne entraînent des efficacités inférieures mais d'une grande variabilité, sans pour autant être significativement différentes des autres saisons ; à noter l'hétérogénéité des effectifs entre les saisons (figure 57).

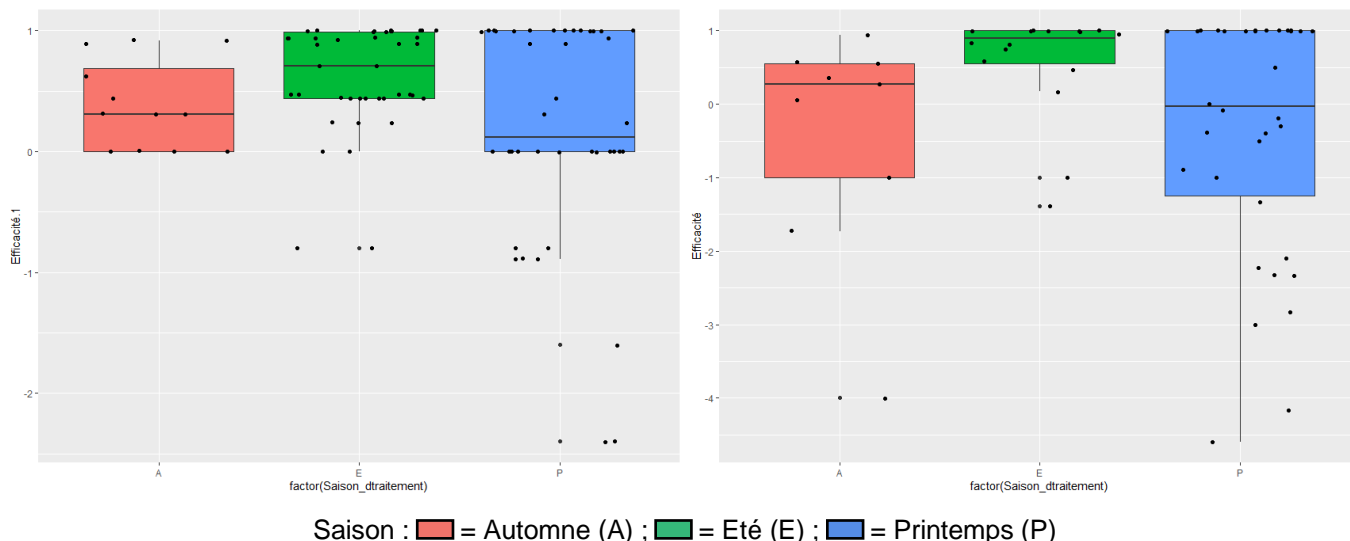


Figure 57. Efficacité en fonction de la saison de traitement selon les méthodes R (gauche) et PC (droite)

→ **Conclusion 3** : les traitements d'été (juillet-septembre) entraînent une efficacité supérieure aux traitements de printemps.

Résultats : effets des arrachages (post-traitement)

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les états initiaux, finaux, mais aussi ceux des suivis intermédiaires.

Le seul résultat significatif concerne la méthode R, qui montre qu'il y a un effet entre deux arrachages et l'absence d'arrachage (*Welch p-value* = 0,02). A noter que 79% des résultats analysés n'ont pas subi d'arrachage. Les catégories d'arrachage sont donc hétérogènes (figure 58).

Dans cette analyse il est difficile d'imputer la diminution d'invasion à un facteur ou un autre, des actions d'arrachages et de traitement étant survenues sur les mêmes sites.

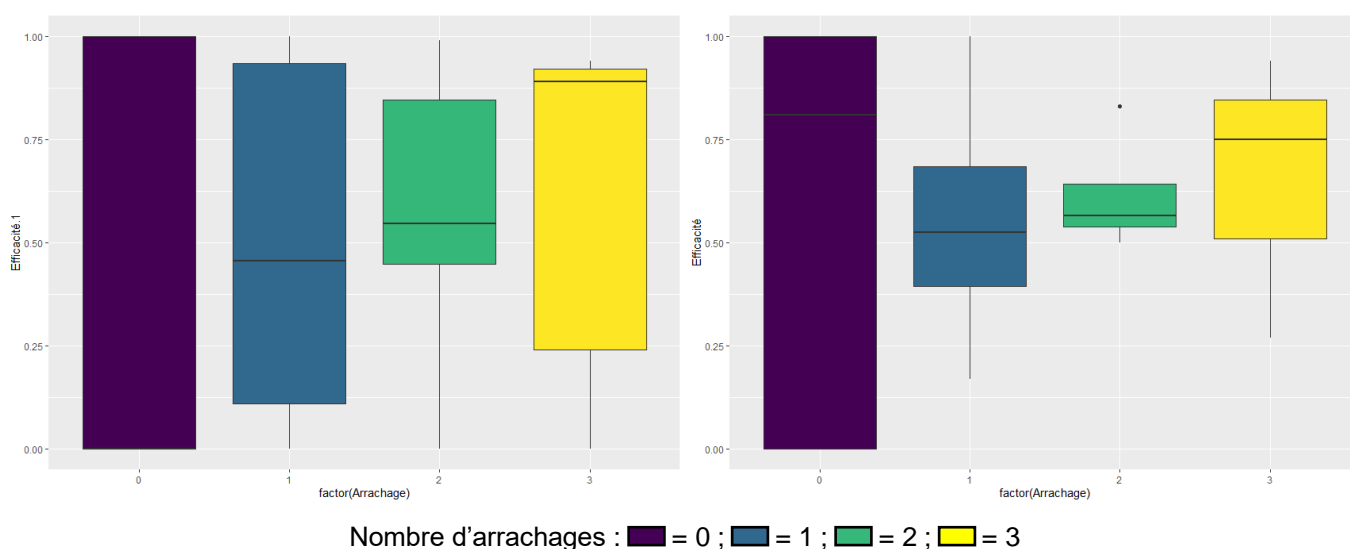


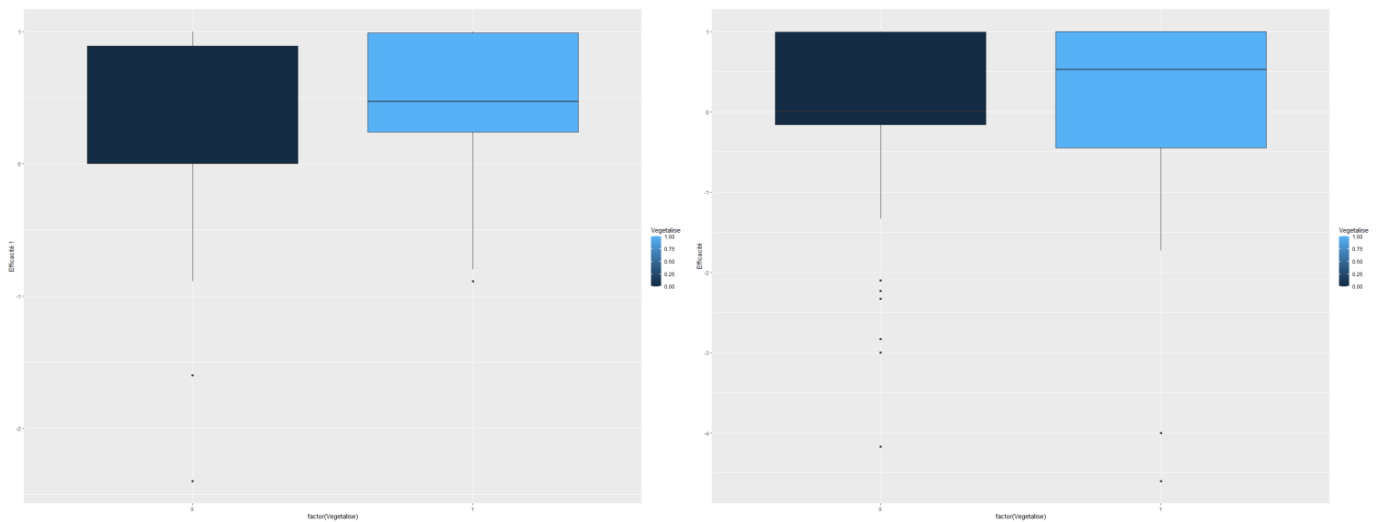
Figure 58. Efficacité en fonction du nombre d'arrachages effectués selon les méthodes R (gauche) et PC (droite)

Résultats : effets de la végétalisation (post-traitement)

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les états initiaux, finaux, mais aussi ceux des suivis intermédiaires.

Si la méthode PC ne présente pas de résultats significatifs (*Welch p-value* = 0,32), la méthode R quant à elle révèle une efficacité d'éradication significativement supérieure lorsqu'une végétalisation est mise en place (*Welch p-value* = 0,00) (figure 59).

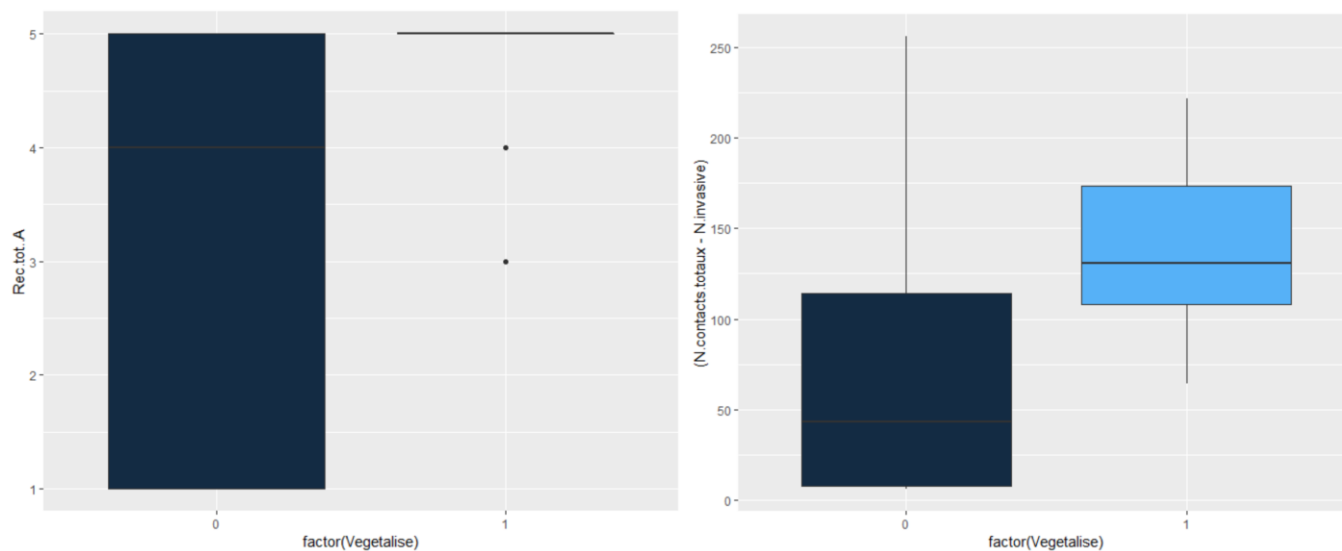
La différence de résultat entre méthodes s'explique par le fait que le nombre de suivis réalisés avec les deux méthodes n'est pas le même et que certains sites n'ont pas été systématiquement suivis avec la méthode PC (R : N=118 et PC : N=77).



Légende : ■ = Sans végétalisation ; ■ = Végétalisation

Figure 59. Efficacité en fonction de la mise en place d'actions de végétalisation selon les méthodes R (gauche) et PC (droite)

Un autre moyen d'évaluer l'effet de la végétalisation est d'étudier le taux de recouvrement de la végétation hors espèce invasive cible (figure 60). Si la méthode R ne donne aucun résultat significatif (*Welch p-value* = 0,09), la méthode PC quant à elle montre que la végétalisation induit un recouvrement final des sites (hors espèce invasive cible) significativement supérieur aux sites non végétalisés (*Welch p-value* = 0,01). On privilégiera la méthode PC qui possède des données continues contrairement aux classes des données R. Comme spécifié en partie 3.2, le recouvrement végétal étant un facteur défavorable à l'installation et au développement des EEE, ce résultat souligne une fois de plus l'importance de la végétalisation pour la lutte contre les EEE.



Légende : ■ = Sans végétalisation ; ■ = Végétalisation

Figure 60. Taux de recouvrement de la végétation autre que l'invasive cible en fonction de la végétalisation selon les méthodes R (gauche) et PC (droite), état final des sites

→ **Conclusion 4** : la végétalisation améliore l'efficacité des traitements en augmentant significativement le couvert végétal, facteur de concurrence envers les EEE.

Résultats : effets des autres post-traitements

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les états initiaux, finaux, et aussi ceux des suivis intermédiaires.

Les autres post-traitements ne sont pas analysés, du fait de l'effectif réduit par catégories et de l'hétérogénéité des effectifs lorsque les actions sont agrégées (voir tableaux ci-dessous). C'est pourquoi les analyses des paragraphes précédents sont proposées de manière désagrégée.

Partie C – Suivis scientifiques des sites expérimentaux « traités thermiquement »

Tableau 28. Récapitulatif du nombre de sites et de suivis réalisés en fonction des actions mises en place représentées de manière désagrégées.

Actions désagrégées	Nombre de suivis	Nombre de sites concernés
<i>Avant traitement thermique</i>	27	27
Traitement thermique n°1	71	29
Traitement thermique n°2	32	16
Traitement thermique n°3	1	1
<i>Sans végétalisation</i>	56	29
Végétalisation	75	26
<i>Sans arrachage</i>	90	30
Arrachage n°1	18	10
Arrachage n°2	14	10
Arrachage n°3	8	7
<i>Sans fauche</i>	122	34
Fauche n°1	8	4
<i>Sans bâchage</i>	103	29
Bâchage n°0.5	23	11
Bâchage n°1	2	1
Bâchage n°1.5	2	1

Les mêmes sites peuvent se retrouver dans les différents types d'actions ou les différents nombres de traitements au cours du projet. Les demi-valeur codifiée 0.5 de bâchage permettent de distinguer un bâchage annuel (1) ou temporaire pendant la période du traitement en été à l'ensemencement au printemps (0.5).

Tableau 29. Récapitulatif du nombre de suivis réalisés en fonction des actions mises en place représentées et listées de manière agrégées.

Code* des actions agrégées	Nombre de suivis
T0V0A0F0B0 = état initiaux	27
T1V0A0F0B0	40
T1V0A0F0B0.5	1
T1V0A0F1B0	2
T1V1A0F0B0	11
T1V1A0F0B1	2
T1V1A0F1B0	3
T1V1A1F0B0	3
T1V1A1F0B1.5	2
T1V1A2F0B0	3
T1V1A3F0B0	3
T2V0A0F0B0	2
T2V0A2F0B0	1
T2V0A3F0B0	1
T2V1A0F0B0	2

T2V1A1F0B0.5	12
T2V1A2F0B0	2
T2V1A2F0B0.5	6
T2V1A2F1B0.5	2
T2V1A3F0B0	2
T2V1A3F0B0.5	2
T3V1A1F1B0	1

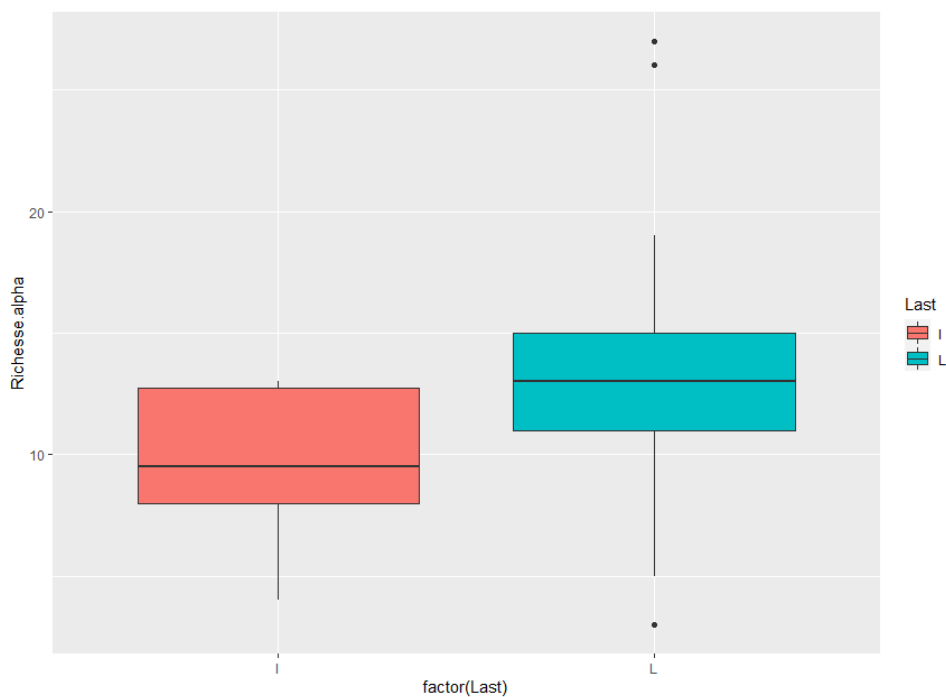
* Légende du code : T* = nombre de traitements thermiques | V* = végétalisation | A* = nombre d'arrachages | F* = nombre de fauches | B* = nombre de bâchages

Résultats : effets sur la biodiversité florale

Dans ce chapitre, les résultats considérés prennent en compte les état initiaux, finaux, mais aussi ceux des suivis intermédiaires.

Biodiversité quantitative

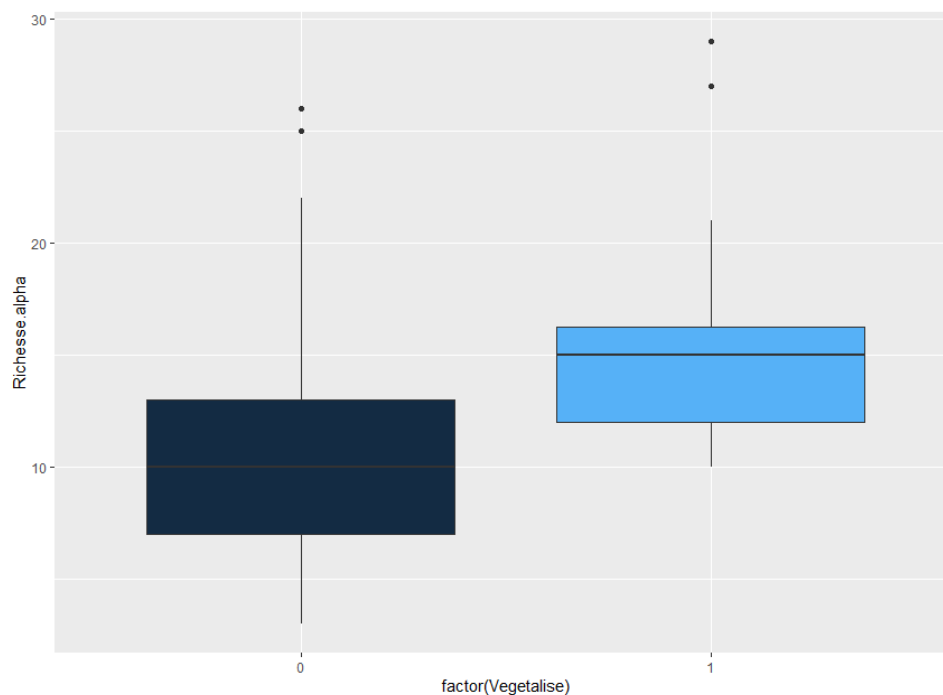
Malgré l'apparence graphique (figure 61) la différence de richesse biologique (nombre d'espèces) entre l'état initial et final n'est pas significatif (*Welch p-value = 0,09 ; N=35*). Dans ce calcul, la provenance des plantes (EEE ou indigène) n'est pas prise en compte. Les actions apparaissent néanmoins favorables à la biodiversité.



Légende : ■ = État initial (I) ; ■ = État final (L)

Figure 61. Evolution de la richesse biologique selon la méthode PC

Toutefois, la végétalisation entraîne une différence significative de richesse spécifique (alpha) (figure 62) par rapport à un milieu non végétalisé (*Welch p-value = 0,00 ; N=89*).



Légende : ■ = Sans végétalisation ; ■ = Végétalisation

Figure 62. Richesse biologique en fonction de la végétalisation selon la méthode PC

Il est toutefois nécessaire de faire remarquer que ce dernier résultat peut être lié à d'autres facteurs comme notamment la durée après traitement. D'autre part, les mesures de végétalisations ont préférentiellement été mises en place sur les sites dont l'efficacité d'éradication était conséquente, puisque des traitements supplémentaires ont été prévus pour les sites dont l'efficacité était moindre.

Biodiversité qualitative

Le suivi détaillé réalisé sur les sites pilotes permet d'obtenir des informations qualitatives sur les espèces. D'après le tableau 30, parmi les espèces spontanées les plus rencontrées après traitement, d'autres invasives font leur apparition, notamment *Panicum capillare*, qui est le plus fréquent, ou *Ambrosia artemisiifolia*, *Erigeron annuus*, *Buddleia davidii*, initialement absents des sites pilotes. De manière générale, les espèces colonisant spontanément les sites après 1 ou 2 ans sont des espèces adventices, rudérales et/ou espèces des sols piétinés, marquant respectivement un important remaniement, des perturbations et un tassement du sol. Ces espèces pionnières colonisent un sol alors totalement nu, mais ne constituent pas à ce stade de couverture concurrentielle vis-à-vis des renouées. Les mousses sont aussi régulièrement rencontrées.

Tableau 30. Espèces spontanées les plus rencontrées lors des suivis des sites pilotes (après traitement, avant végétalisation)

Espèce	Indice d'abondance*	Type de milieu herbacé
<i>Reynoutria japonica</i> aggr. (cible)	1049	Ourlets
<i>Panicum capillare</i> aggr.	297	Adventice
<i>Calystegia sepium</i>	118	Ourlets
<i>Urtica dioica</i>	102	Sols riches
<i>Potentilla reptans</i>	76	Rudéraux / piétinés

<i>Dactylis glomerata</i>	55	Prairies
<i>Lolium perenne</i>	50	Prairies
<i>Festuca rubra</i>	42	Prairies
<i>Convolvulus arvensis</i>	36	Adventice
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	36	Rudéraux / piétinés
<i>Poa annua</i>	35	Piétinés
<i>Poa trivialis</i>	34	Prairies
<i>Echinochloa crus-galli</i>	32	Adventice
<i>Sonchus asper</i>	28	Adventice
<i>Solanum nigrum</i>	27	Adventice
<i>Erigeron annuus</i>	25	Rudéraux / piétinés
<i>Elymus repens</i>	24	Piétinés
<i>Veronica persica</i>	23	Adventice
<i>Salix alba</i>	20	-
<i>Chenopodium album</i>	19	Adventice
<i>Glechoma hederacea</i>	18	Ourlets
<i>Cirsium arvense</i>	17	Rudéraux / piétinés
<i>Rumex obtusifolius</i>	16	Rudéraux / piétinés
<i>Arrhenaterum elatius</i>	14	Prairies
<i>Setaria pumila</i>	14	Adventice
<i>Buddleia davidii</i>	14	-
<i>Bromus sterilis</i>	14	Rudéraux / piétinés
<i>Epilobium parviflorum</i>	14	Ourlets
<i>Holcus lanatus</i>	13	Prairies
<i>Lactuca serriola</i>	13	Rudéraux
<i>Rumex crispus</i>	13	Piétinés
Mousses	12	-
<i>Poa compressa</i>	11	Rudéraux
<i>Taraxacum officinale</i>	10	Prairies

* L'indice d'abondance correspond à la somme des contacts sur l'ensemble des suivis des quatre sites pilotes. Seules les espèces avec une valeur > 10 ont été extraites dans ce tableau

Légende = Néophyte ; = Archéophyte

A noter que l'apparition non négligeable d'autres néophytes que l'espèce cible n'est pas prise en compte dans l'évaluation de l'invasion et de l'efficacité de la méthode (chapitre 4.2.6), ces indices étant calculés exclusivement au regard de l'espèce cible du site.

→ **Conclusion 5** : la colonisation spontanée des adventices et rudérales (potentiellement non désirées selon le contexte), ainsi que l'apparition favorisée d'autres néophytes souligne l'importance d'une végétalisation avec des espèces indigènes des sites après traitement. Elle entraîne par ailleurs une biodiversité plus élevée.

Synthèse

Le suivi de la flore des sites du projet permet de conclure les éléments suivants :

- Globalement le traitement thermique est d'une efficacité totale pour environ 20% des sites et entraîne une diminution de l'invasion pour 90% des sites.
- Globalement, la réduction de l'invasion est de l'ordre de 20 à 45% en moyenne (selon la méthode d'évaluation) suite aux traitements et post-traitements mis en place.
- Il n'est pas possible de comparer l'efficacité du traitement entre les espèces du fait de nombres de sites insuffisants ou hétérogènes. Les sites de solidages américains semblent montrer une meilleure efficacité.
- La répétition des traitements thermiques ne semble pas améliorer l'efficacité, mais ce résultat est biaisé car les sites traités avec répétition sont par définition les foyers les plus problématiques.
- Les traitements thermiques réalisés en été (juillet-septembre) sont plus efficaces que les traitements réalisés au printemps.
- L'effet des différentes fréquences et durées d'arrachage est difficile à analyser du fait de l'hétérogénéité de l'effectif entre classe.
- La végétalisation après traitement induit un recouvrement indigène significativement plus important. Elle augmente ainsi l'efficacité des mesures de luttés.
- Les espèces spontanées favorisées après traitement sont des adventices et rudérales, typiques des sites piétinés, ou des espèces invasives différentes de l'espèce cible (taxons potentiellement indésirables selon les contextes). Ce constat révèle l'importance de la perturbation du sol et d'une végétalisation après traitement constituée d'espèces prairiales concurrentielles.

4.2.7 Discussion générale

Si les principales questions de recherche ont obtenu une réponse, certaines questions secondaires demeurent sans réponse. Cela est principalement dû aux évolutions du protocole de traitement en cours de projet. En effet, l'abandon de certains sites, l'intervention imprévue de services ou tiers sur les sites expérimentaux (fauche, etc.), la nécessité de cumuler plusieurs techniques pour éradiquer des sites problématiques, sont autant de circonstances qui ont entraîné un déséquilibre dans les nombres de sites par catégorie (par ex. espèce cible, post-traitements, etc.). La recherche de résultats sur un nombre important de paramètres entraîne également des effectifs souvent trop faibles pour permettre des analyses statistiques, comme le montre le tableau 29 .

4.2.8 Synthèse générale

Cette synthèse permet de récapituler les questions de recherche initialement formulées et les réponses obtenues à travers les résultats des différents suivis mis en place dans le cadre du projet.

Quelle est l'efficacité globale de la méthode de traitement thermique ?

- Bien qu'il soit difficile de dissocier l'effet du traitement thermique seul des autres séries de traitements appliqués (arrachage, végétalisation, etc.), il apparaît globalement qu'une éradication totale a été obtenue sur environ 20% des sites, tandis qu'une diminution de l'invasion est constatée sur 90% des sites. Un des facteurs limitant le succès d'éradication semble être lié aux valeurs seuil déterminées en laboratoire (exposition à une température de min. 55°C pendant min. 5 minutes), atteintes seulement partiellement à l'échelle d'un site et non atteintes en-dessous d'une profondeur située entre 40-60 cm.

Est-ce que la répétition du traitement augmente l'efficacité d'éradication ?

- D'après les résultats obtenus, la répétition du traitement thermique n'augmente pas l'efficacité d'éradication. Ce résultat est expliqué par le fait que sur la durée du projet ce sont les sites les plus problématiques qui ont été sujets à la répétition, et que dans le temps imparti, deux répétitions n'ont pas suffi à engendrer une plus grande efficacité. Fort de ce constat, il apparaît que le traitement thermique est plus particulièrement destiné à l'éradication de foyer récents ou modérément vigoureux ou étendus.

Quelle saison d'intervention assure la meilleure efficacité d'éradication ?

- Les interventions réalisées en été (entre juillet et septembre) sont plus efficaces que les traitements printaniers. À l'échelle des sites pilotes, la saisonnalité ne semble pourtant pas impacter les valeurs de températures atteintes dans le sol lors du traitement, pourtant elle demeure tout de même l'explication la plus plausible des meilleurs succès en été sur la totalité des sites.

Quel post-traitement assure la meilleure efficacité d'éradication ?

- Compte tenu de la diversité des traitements (initialement non planifiés pour certains), leur agrégation au fil du projet sur les différents types de sites, ainsi que l'effectif réduit ou hétérogène selon les types de post-traitements effectués, il n'est pas possible de clairement répondre à cette question. Toutefois, les résultats montrent l'importance de la revégétalisation après traitement, induisant une augmentation de la couverture végétale indigène concurrentielle et de la biodiversité.

Quelles sont les éventuelles incidences du traitement thermique sur différentes composantes de l'environnement ?

Flore bactérienne et fongique du sol : un retour global à la composition initiale des microbiotes est atteint un an après le traitement. Le traitement thermique n'apparaît pas létal pour la très grande majorité des espèces composant le microbiote de ces sols. Le traitement est tout de même délétère concernant certaines espèces et l'équilibre de la flore du microbiote du sol. Il favorise surtout sur une courte durée et de façon transitoire l'émergence de micro-organismes adaptés à des conditions de vie anaérobiques avec des températures plus ou moins élevées.

Entomofaune du sol : un retour global à la composition initiale de l'entomofaune du sol n'est pas atteint sur la durée du suivi (un an). Sur le moyen terme, l'abondance et la richesse spécifique des collemboles sont significativement réduites, suite aux traitements thermiques. A court terme, ils engendrent la quasi-disparition de ce groupe d'espèces. Sur le long terme, la structure des communautés est réorientée aux profits des espèces les plus mobiles. En comparaison, le retour initial plus rapide des communautés bactériennes est probablement dû à une vitesse de multiplication plus élevée pour ce groupe d'organismes.

Structure du sol : un fort impact est observé sur la texture et le taux de matière organique du sol. Il apparaît nécessaire de prendre des précautions dans les cas où les sols présentent une texture fine avec des taux d'argile supérieur à 15%, risquant de remonter avec le traitement.

Flore : globalement les traitements engendrent en moyenne une diminution de 20 à 45% de l'invasion de la PEE, ainsi qu'une diminution de la couverture végétale totale. Ces surfaces de sol nu sont inévitablement et naturellement colonisées par des espèces pionnières de type adventices, rudérales ou encore d'autres PEE. Ces espèces, même si non invasives, ne sont pas souhaitées et/ou n'ont qu'un faible potentiel de concurrence à court terme face à la PEE cible. Une intervention de végétalisation s'avère systématiquement nécessaire pour rétablir une concurrence plus importante avec des espèces prairiales et/ou ligneuses et augmenter la biodiversité végétale du site.

PARTIE D - Développement des stratégies de gestion

5 Suivi diagnostic technique et économique. Transfert vers un plan de gestion des invasives

5.1 Elaboration d'un plan de gestion

Parallèlement aux tests de différentes techniques de lutte et aux expérimentations sur la technique du traitement thermique, des plans de gestion pour lutter contre les PEE ont été développés dans le cadre du projet. Le présent chapitre rappelle dans un premier temps les grandes étapes de la construction d'un plan de gestion et décrit des témoignages de gestionnaires (CCG, Syr'Usses et ASL) sur certaines étapes. Dans un second temps, ces derniers partagent leur expérience de la mise en œuvre de leurs actions de gestion.

→ **Cas du Syr'Usses** : sur le territoire d'intervention du Syr'Usses, un premier plan de lutte a été mis en œuvre de 2015 à 2021. Les actions menées étaient axées sur les renouées asiatiques, plantes invasives les plus impactantes pour les milieux, car elles étouffent la biodiversité, génèrent un vieillissement de la ripisylve et participent à la dégradation des berges.

Face au développement des PEE, il a été décidé par le syndicat de rivières d'élaborer un nouveau plan de gestion sur les cours d'eau du bassin versant ; le but étant d'avoir une action coordonnée à l'échelle du territoire, prenant en compte toutes les PEE identifiées. Ce nouveau plan de gestion des plantes exotiques envahissantes a été élaboré en parallèle de la recherche de solutions innovantes de lutte ; les deux processus s'alimentent mutuellement.

Différents guides techniques existent pour aider les gestionnaires à établir un plan de gestion à leur échelle. Celui sur lequel s'appuie les travaux du Syr'Usses et le guide AERMC (2016).

→ **Cas de la CCG** : la CCG a mis en place un plan de gestion en 2016 pour lutter contre la perte de la biodiversité liée aux néophytes sur son territoire. Cette démarche s'inscrit dans le contrat Corridors transfrontalier Champagne Genevois (CCCG) datant de 2012. Suite à un diagnostic complet et à la mise en place d'une stratégie de gestion, des actions ont été menées de 2017 à 2018 pour tester des méthodes de lutte spécifiques (concassage, traitement thermique, bâchage) sur 13 espèces prioritaires. Ces actions ont été poursuivies de 2020 à 2022 et s'intègrent en partie dans le cadre du projet « Stop aux invasives ».

→ **Cas de l'ASL** : les actions de luttés contre les renouées asiatiques coordonnées par l'ASL s'inscrivent dans le cadre de l'action « Halte aux renouées ». Il s'agit d'une mobilisation citoyenne permettant d'intervenir activement sur les berges du lac Léman et de ses alentours qui a démarré en 2013. Cette action n'a pas fait l'objet de développement d'un plan de gestion spécifique. Il s'intègre en revanche dans les axes des plans de gestion des territoires concernés. Elle est en accord avec la stratégie générale d'amélioration de la biodiversité instaurée par la Confédération suisse, déclinée auprès des cantons, ainsi de même qu'en regard des démarches instituées en France (ASL, 2021).

5.1.1 Étapes principales de l'élaboration d'un plan de gestion

La mise en place d'un plan de gestion des plantes exotiques envahissantes sur un territoire se déroule en plusieurs étapes (figure 63) :

- **Étape 1** : état des lieux et diagnostic – Connaissance du territoire ;
- **Étape 2** : critères de priorisation ;
- **Étape 3** : objectifs de gestion ;
- **Étape 4** : définition des actions à mettre en œuvre.

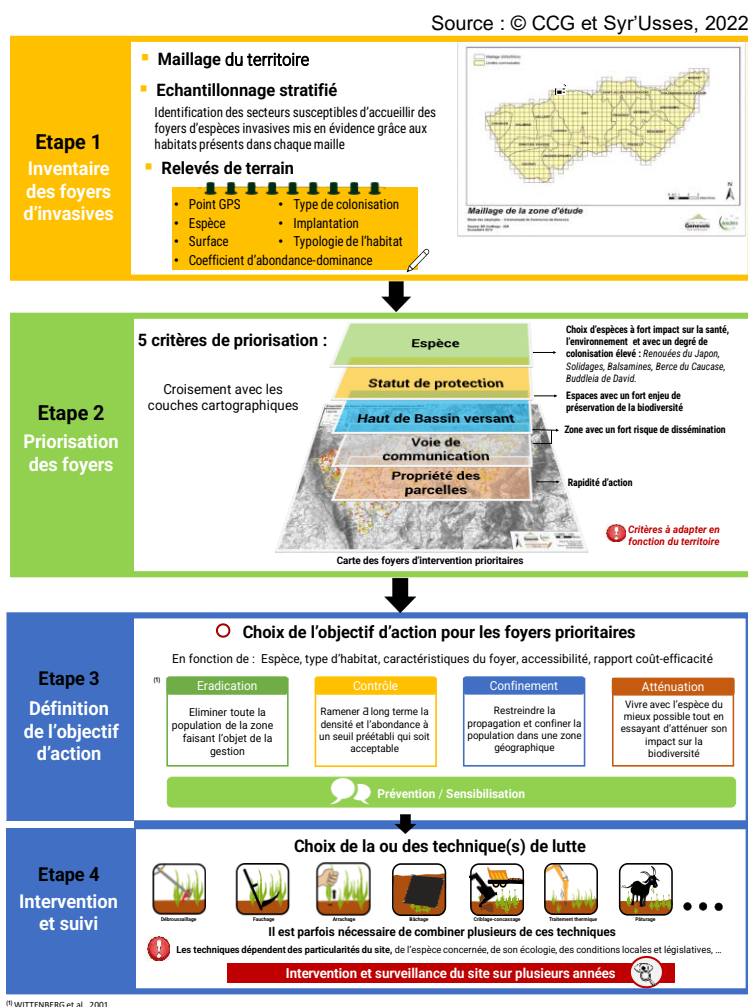


Figure 63. Etapes de la mise en place d'un plan de gestion

Chaque plan de gestion est adapté aux caractéristiques et aux enjeux du territoire considéré, lui étant ainsi spécifique. Le cadre d'intervention d'un gestionnaire sera le socle premier sur lequel se décrira la stratégie d'intervention.

5.1.2 Etape 1 : Etat des lieux et diagnostic – Connaissance du territoire

La réalisation d'un état des lieux du territoire est nécessaire pour décrire la situation avant toute intervention : les espèces présentes, les enjeux liés, le niveau de colonisation, etc.

L'échelle considérée est généralement définie par le cadre d'intervention du gestionnaire.

→ **Cas du Syr'Usses** : le plan de gestion des PEE du Syr'Usses est ainsi conditionné par :

- l'échelle considérée : le bassin versant des Usses couvrant 41 communes et 6 EPCI ;
- les milieux concernés : les cours d'eau et leurs rives.

→ **Cas de la CCG** : le plan de gestion des PEE de la CCG est ainsi conditionné par :

- l'échelle considérée : les 17 communes de la CCG ;
- les milieux concernés : tous les milieux susceptibles d'être colonisés par les espèces exotiques envahissantes identifiés comme prioritaires.

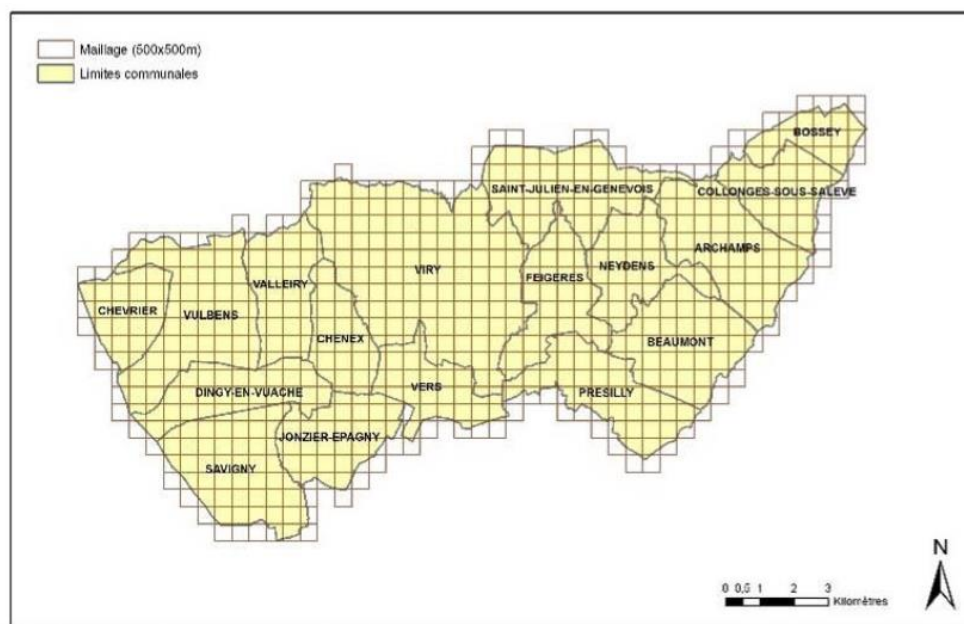
Ce sont des espèces bien établies sur le territoire, avec un caractère invasif fort et considérées comme les plus impactantes d'un point de vue sanitaire, écologique et agricole qui ont été ciblées.

1. Etat des lieux :

Selon les moyens à disposition, l'état de lieux peut être réalisé en interne par la structure gestionnaire ou être confiée à un cabinet expert.

Cet état des lieux peut être mené en suivant :

- un découpage par maillage du territoire (figure 64) ;
- un découpage par tronçon de linéaires (cours d'eau, routes, etc.) (figure 65).



Maillage de la zone d'étude

Etude des néophytes - Communauté de Communes du Genevois
Source: BD Carthage - IGN
Ecosphère 2014



Figure 64. Maillage du territoire de la CCG

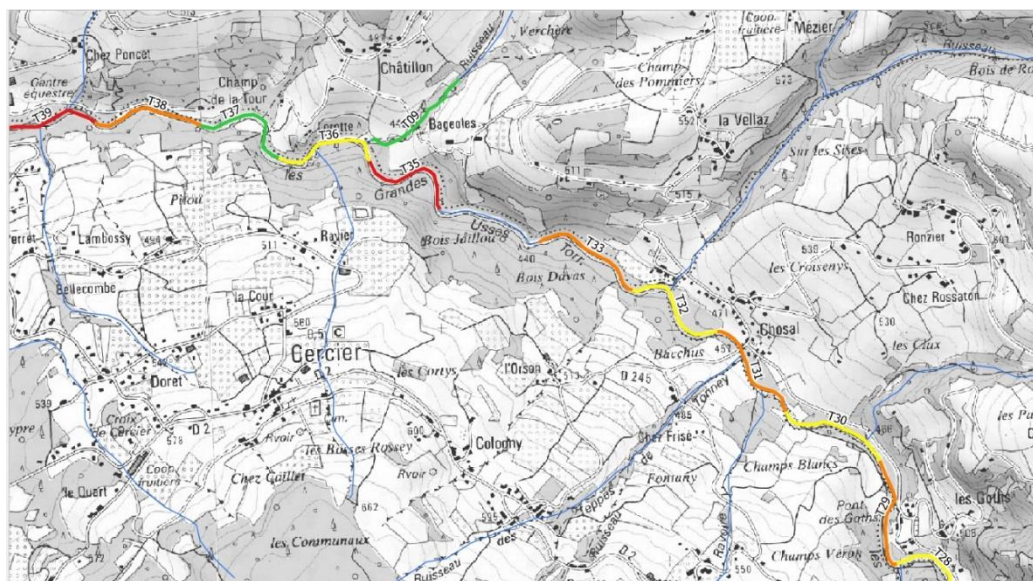


Figure 65. Découpage du linéaire de cours d'eau du Syr'Usses par tronçon de 500 m

→ **Cas du Syr'Usses** : le Syr'Usses a fait appel à un bureau d'études spécialisé (CEVE) pour mener à bien l'élaboration de son plan de gestion. Au total, 115 cours d'eau ont été prospectés pour un total de 280 km de cours d'eau (sur près de 385 km au total sur le bassin versant des Usses). Les inventaires ont été réalisés sur une bande de 10 mètres de part et d'autre des cours d'eau, par tronçon de 500 m (figure 66).

Le choix des cours d'eau à diagnostiquer a été conduit au regard de l'accessibilité des cours d'eau, de leur potentiel de contamination par les invasives, des données préexistantes sur ces cours d'eau et des enjeux pour la biodiversité. Les espèces recherchées sont celles issues des listes de référence pour le territoire, soit la :

- liste de référence sur le bassin Rhône Méditerranée Corse (AERMC, Concept Cours d'eau et GEN Tereo, 2016) ;
- liste actualisée et hiérarchisée des espèces exotiques envahissantes, bilan de la problématique végétale invasive en Rhône-Alpes, élaboré par le Conservatoire botanique national alpin (Debay P, Legland T et Pache G, 2020).

Sur les cours d'eau prospectés ce sont 16 espèces différentes qui ont été recensées, réparties sur 1 817 foyers distincts.

→ **Cas de la CCG** : la CCG a mandaté, en 2015, le bureau d'étude Ecosphère pour mener une étude globale des EEE du territoire, dans le cadre du Contrat Corridors Champagne-Genevois. Cette étude avait notamment pour objectif de compiler les données existantes sur le territoire, puis de recenser et cartographier les EEE sur le terrain. Le territoire de la CCG a été découpé en mailles de 500 m par 500 m, soit 695 mailles au total. La confrontation entre l'écologie des espèces prioritaires et les milieux présents au sein de chaque maille a mis en évidence les secteurs susceptibles d'accueillir des foyers d'espèces invasives (échantillonnage stratifié). Chaque milieu différent au sein d'une maille a été prospecté. Pour chaque foyer identifié, outre sa localisation, ont été relevés : la surface, le coefficient

d'abondance-dominance, le type de colonisation, leur implantation et le type de milieu concerné (Ecosphère, 2015).

Les informations sont reportées sur une carte et la description des sites est stockée dans une base de données SIG. Les informations relevées sur le terrain sont à minima les suivantes : point GPS, espèce, surface, densité, type de colonisation, implantation des foyers, typologie du milieu, etc. (figure 66).

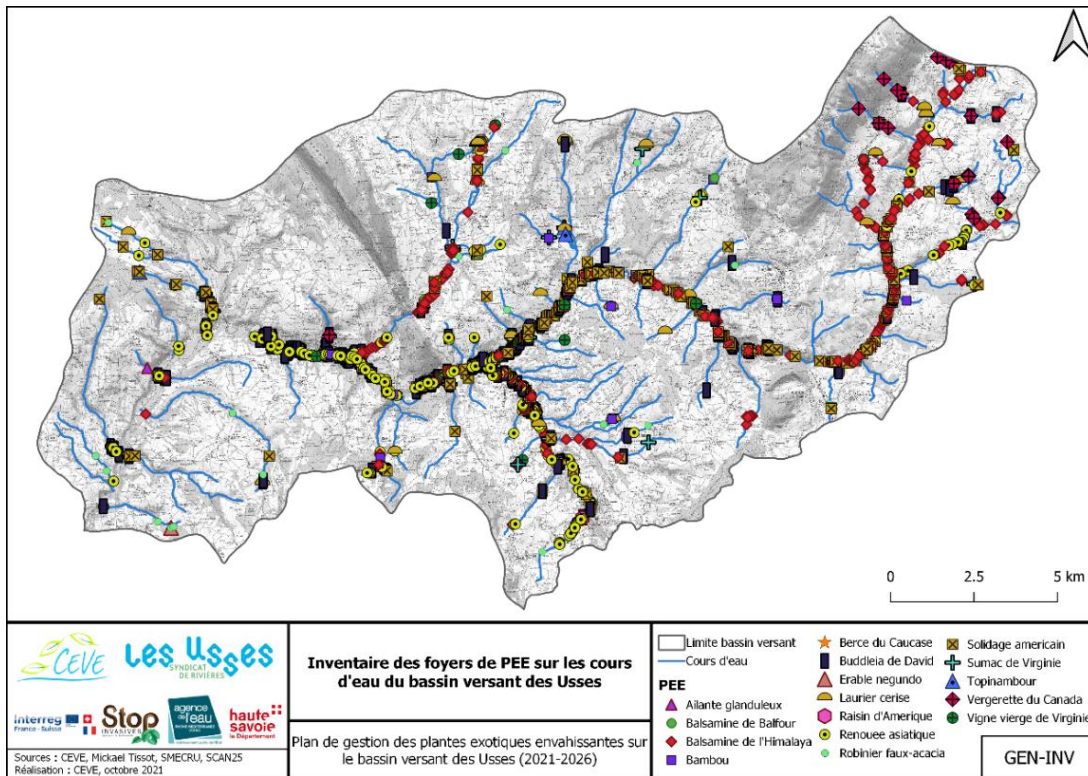


Figure 66. Cartographie de l'ensemble des foyers inventoriés en 2020 sur les cours d'eau prospectés

2. Diagnostic :

À partir de la cartographie des foyers d'invasives présents sur le territoire, le stade invasif de chaque espèce est identifié selon le découpage initial (maille ou tronçons). Le stade invasif est un indicateur du degré de colonisation d'un territoire ou portion de territoire par une plante exotique envahissante. Il indique à quel point la zone d'étude est envahie et aiguille sur le choix des actions à mettre en place.

Les stades invasifs sont classés du stade 1, où des actions de gestion peuvent être efficaces et peu impactantes, jusqu'au stade 4, où des actions de gestion seront peu efficaces et très impactantes. L'identification du coût et du bénéfice écologique sont ici très importants (figure 67).

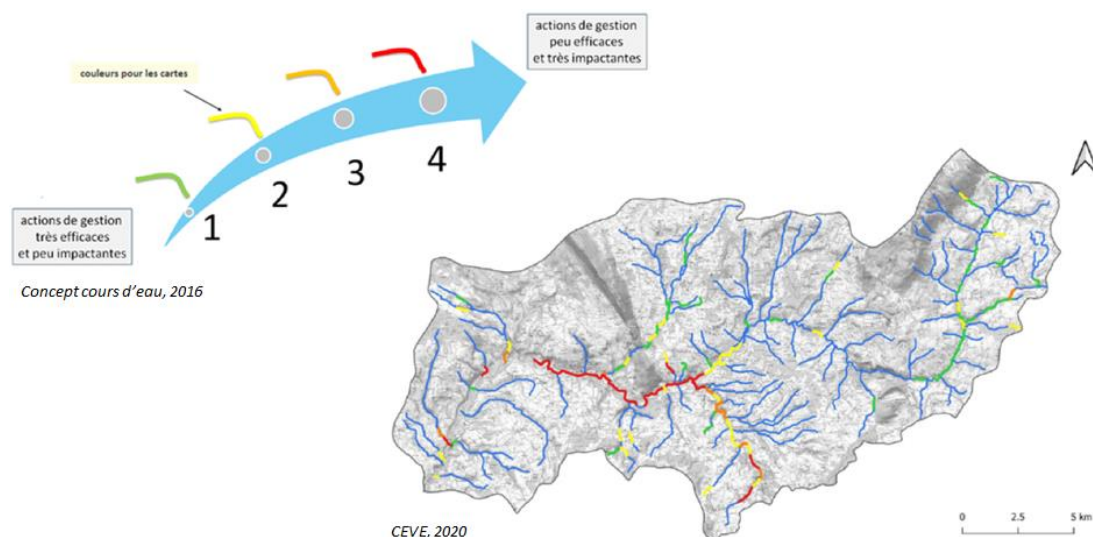


Figure 67. Classification des stades d'invasion et représentation pour une PEE sur le bassin versant des Usse

Au regard de ces stades invasifs et de leur répartition sur le territoire, il y a un grand nombre de possibilités d'intervention. Cependant, il n'est pas pertinent, ni possible, d'intervenir partout. C'est pourquoi il est nécessaire d'affiner les choix d'intervention (étape suivante).

5.1.3 Etape 2 : Critères de priorisation

L'identification des interventions prioritaires est réalisée grâce à la mise en place de critères, adaptés au territoire. Ils permettent de hiérarchiser les secteurs d'intervention.

→ **Cas du Syr'Usse** : ces critères ont été définis sur le territoire des Usse en concertation avec les membres du comité de pilotage de l'étude et les élus du comité syndical. Il a été nécessaire d'affiner en plusieurs fois ces critères afin de faire correspondre nécessité pour les milieux, faisabilité technique et faisabilité financière.

Les principaux critères qui ont permis de prioriser les interventions sur le BV sont : la santé, la sensibilité des milieux aquatiques, l'accessibilité et la logique amont/aval des cours d'eau.

→ **Cas de la CCG** : une hiérarchisation des foyers a été réalisée en fonction de :

- la situation géographique : les stations présentes en haut des bassins versants et dans les espaces protégés ont été jugées prioritaires. Celles présentes au bord de voies de communication et des cours d'eau avec un fort potentiel de dissémination ont, également, été retenues ;
- le foncier : le choix s'est porté, de préférence, sur les foyers situés sur des parcelles publiques pour faciliter l'intervention.

Cette hiérarchisation (description très simplifiée) a permis d'établir une stratégie d'intervention.

5.1.4 Etape 3 : Objectifs de gestion

Une fois les secteurs d'intervention ainsi définis, pour chaque foyer et/ou maille/tronçon sont définis les objectifs de gestion selon trois degrés :

- l'éradication de l'espèce ou des espèces cible(s) ;
- la stabilisation : maintenir le(s) foyer(s) dans son(leur) état de colonisation actuel ;
- le suivi : il n'y a pas d'intervention prévue sur le(s) foyer(s), hormis suivre l'évolution du site.

La terminologie des objectifs de gestion peut changer d'un territoire à un autre.

→ **Cas du Syr'Usses** : ces objectifs de gestion (éradication, stabilisation, suivi) ont été définis par foyer et par tronçon de 500 m de cours d'eau. Cela a permis d'élaborer une feuille de route des zones sur lesquelles intervenir en priorité pour les prochaines années.

→ **Cas de la CCG** : pour chaque foyer prioritaire identifié, un objectif de gestion (éradication, contrôle, confinement ou atténuation) a été décidé. Les actions de lutte ont été menées prioritairement sur les foyers dont l'objectif fixé était l'éradication.

5.1.5 Etape 4 : les actions à mettre en œuvre

In fine le plan de gestion dresse les actions à mettre en œuvre sur le territoire.

→ **Cas du Syr'Usses** : le plan de gestion des PEE sur les cours d'eau du bassin versant des Usses a identifié trois axes d'interventions :

- La lutte à proprement parler sur le terrain : les secteurs d'interventions, les moyens techniques et financiers à mettre en place. Ainsi, trois secteurs et quatre espèces ont été identifiés comme prioritaires pour des opérations de lutte, ainsi que quatre espèces émergentes pour l'instant isolées. Ces opérations incluent la recherche de nouvelles destinations de traitement des résidus végétaux issus de la lutte contre les PEE, en mutualisant les moyens le plus possible avec les autres collectivités.

- La sensibilisation et la formation : suite à la concertation des acteurs du territoire (collectivités), il s'est avéré qu'un besoin d'accompagnement et de connaissance sur la problématique était nécessaire. En ce sens des outils doivent être mis à disposition des usagers et acteurs souhaitant intervenir dans la gestion des PEE (fiches techniques pour chaque espèce, des REX, etc.). Cela concerne des publics variés : professionnels, scolaires, usagers, élus, collectivités.

- Le suivi et la veille sur le territoire et les territoires voisins afin d'adapter les pratiques.

→ **Cas de la CCG** : la stratégie mise en place est axée sur l'éradication des foyers d'invasives identifiés comme prioritaires.

Sur les 3 072 inventoriées, ce sont 272 stations sur lesquels la CCG a décidé de mener des actions d'éradication. Les techniques de lutte sont choisies en fonction de l'espèce à traiter, des particularités du site, de son écologie, des conditions locales et législatives.

Pour une bonne intégration de la problématique par les acteurs du territoire, la mise en place d'un plan de gestion, quelque-soit l'échelle considéré, s'accompagne d'une concertation et d'une sensibilisation des acteurs partenaires à chaque étape (communes, EPCI, associations, etc.) ainsi que d'une information et sensibilisation des usagers (figure 68).



Figure 68. Echanges avec les techniciens et élus du territoire sur les PEE pendant l'élaboration du plan de gestion

Les échanges entre territoires sont également primordiaux afin d'avancer en cohérence avec les actions menées par les voisins, de mutualiser les moyens lorsque cela est possible, d'anticiper l'émergence de nouvelles espèces invasives et de rester en veille sur le développement de nouvelles pratiques.

→ **Partage franco-suisse : intervention de l'ASL sur le territoire du Syr'Usses.** Lors de la phase de concertation avec les collectivités du Syr'Usses (octobre 2021), l'ASL est intervenue sur le territoire des Usses pour partager son expérience de la gestion des PEE sur les bords du Léman. L'association a développé les résultats techniques de ses interventions sur les renouées asiatiques, ainsi que l'organisation de son intervention sur le territoire. L'implication des nombreux bénévoles étant au cœur de l'efficacité de l'action, de nombreux échanges ont eu lieu avec les techniciens et élus présents.

Pour une action efficace, il est nécessaire d'avoir une action globale et préventive.

Toutefois, dès la mise en place d'un plan de gestion, les difficultés de mise en œuvre peuvent autant que possible être anticipées, notamment les suivantes :

- les moyens humains, matériels et financier disponibles ;
- les interventions sur des parcelles privées ;
- l'incohérence des interventions avec d'autres usages (dépôts sauvages, plantations paysagères de PEE, entretien des bords des voiries, etc.).

→ **Cas du Syr'Usses :** afin d'intervenir sur des parcelles privées, le Syr'Usses dispose d'une Déclaration d'Intérêt Général pour ses interventions sur les PEE en cours d'eau. Les interventions sont financées par les collectivités membres du Syr'Usses et ses partenaires financiers, à la hauteur des aides allouées. Le Syr'Usses prévoit également la mise en place de chantiers participatifs pour réaliser une partie des actions prévues.

→ **Cas de la CCG** : la CCG a fait le choix d'intervenir en priorité sur des parcelles publiques. Certaines parcelles privées sont néanmoins concernées. Dans ce cas, un accord préalable est demandé aux propriétaires privés.

5.2 Mise en œuvre d'un plan de gestion

5.2.1 Mise en œuvre du plan de gestion du bassin versant des Usses (Syr'Usses)

Les interventions de lutte sont menées par des entreprises spécialisées mandatées par le Syr'Usses. Le Syndicat de Rivières assure quant à lui le suivi des opérations et de l'évolution des sites. La mise en œuvre du premier plan de gestion des PEE par le Syndicat de Rivières a concerné entre 2015 et 2021 environ **47 foyers en plus des 14 foyers spécifiquement traités dans le cadre des expérimentations par lutte thermique**. Il s'agissait principalement de renouées asiatiques, ainsi que de quelques foyers isolés de berce du Caucase, de solidages américains et de buddléia de David. À partir de 2022, le nouveau plan de gestion des PEE est mis en œuvre. La première année ce sont **101 foyers** (28 km cours d'eau) qui sont concernés (en plus des 14 foyers expérimentaux). Les opérations visent les renouées asiatiques et le buddléia de David, ainsi que dans une moindre mesure quelques foyers de berce du Caucase (hors sites expérimentaux de traitement thermique).

Résultats

Parmi l'ensemble des foyers traités, **49 ont bénéficié d'un suivi**. Les techniques testées sont : la fauche combinée avec l'arrachage, l'arrachage, la fauche combinée avec l'arrachage et le bâchage, le concassage combiné avec le bâchage et la revégétalisation, le pâturage ainsi que le traitement thermique (techniques et variantes présentées en chapitre 3). Sur l'ensemble des foyers, **9 foyers** (soit 18% des foyers) n'ont pas repris, **36 foyers** (soit 74%) ont une reprise partielle de PEE, **3 foyers** (soit 6%) sont stables, et **1 foyer** (soit 2%) est en expansion (tableau 31 & figure 69).

Tableau 31. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttés testées contre les foyers de PEE sur le territoire du Syr'Usses

Techniques employées	Pas de reprise (nb foyers)	Reprise partielle (nb foyers)	Foyer stable (nb foyers)	Foyer en augmentation (nb de foyers)	Nombre total de foyers
Arrachage seul	1	12			13
Concassage, bâchage et revégétalisation	1				1
Fauche (les 2 premières années), puis arrachage	3	12 (nette régression)			15
Fauche, bâchage, puis entretien par arrachage	1	4			5
Pâturage		1			1
Traitement thermique (expérimentation)	3	7	3	1	14
Total	9	36	3	1	49

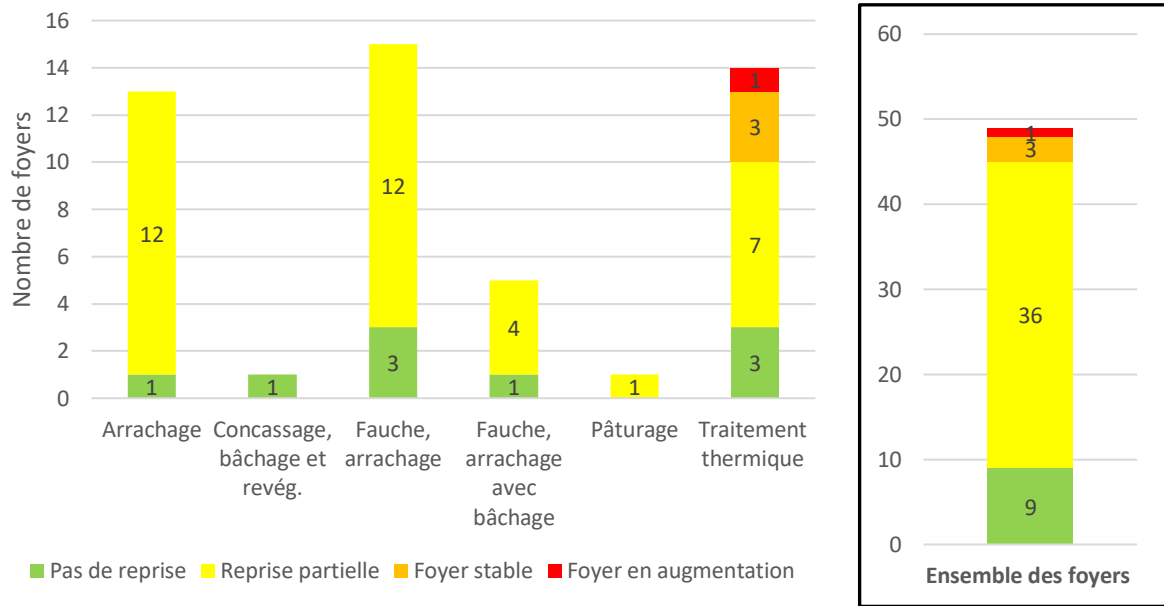


Figure 69. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttés testées contre les foyers de PEE sur le territoire du Syr'Usses

Les foyers traités sont essentiellement des foyers de renouées asiatiques, dans 84% des cas. Plus ponctuellement, les foyers sont composés à 6% de solidages américains, 6% de buddléia de David et 4% de berce du Caucase (figure 70).

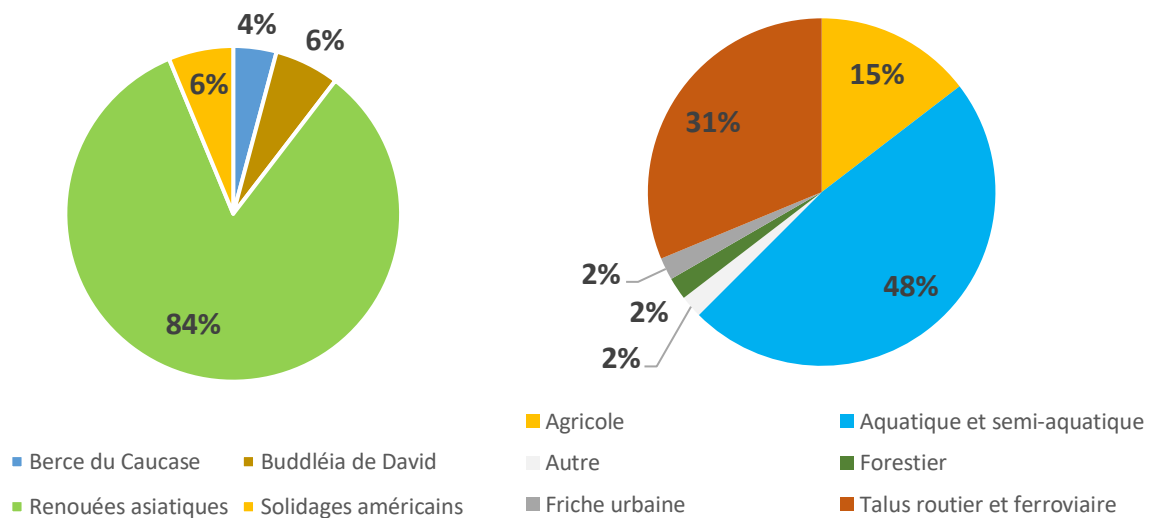


Figure 70. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire du Syr'Usses

Bilan

Les expériences de gestion du Syr'Usses permettent de constater que :

- les foyers éradiqués par fauche/arrachage sont des foyers isolés, petits/jeunes, facile d'accès, entouré par une végétation alentour concurrentielle ;
- les foyers abandonnés sont généralement de grands massifs, où l'action s'est avérée inefficace ; précision faite que deux foyers ont été « abandonnés » car remblayés par des travaux en zone urbaine ;

- les foyers éradiqués et en nette régression par bâchage sont ceux où un entretien a été régulier et facilité par des accès aisés. Il s'agit aussi de foyers de taille moyenne et isolés initialement. Certains sites ont été végétalisés (boutures de saules). La bâche ayant été laissée en place, des pieds de renouées sont sortis à l'emplacement des boutures ce qui rend plus difficile l'entretien du site ;
- les foyers bâchés ayant été « dépassés » sont ceux qui ont manqué d'entretien et où les bâches ont été endommagées (passage de véhicule, épareuse, etc.) et non réparées ;
- la présence de foyers de renouées à proximité immédiate, non traités, n'est pas favorable à une action efficace.

Concernant la mise en œuvre sur le terrain, les principales difficultés relevées sont liées à la rapidité de l'évolution des sites :

- certains sites inventoriés en 2020 sont devenus un tiers plus grand et/ou plus dense en 2022, aucune intervention n'ayant été menée entre temps ;
- de nouveaux sites peuvent avoir émergés, d'autres avoir disparus (suite à des travaux).

Ceci implique nécessairement un ajustement des coûts d'intervention et par conséquent des interventions elles-mêmes. Par exemple, des campagnes d'arrachage précoce sont étendues sur plusieurs kilomètres de cours d'eau pour identifier et intervenir sur les nouveaux foyers naissants.

Une autre difficulté est liée au foncier : si les interventions ne peuvent pas être menées sur des parcelles privées (jardins privés notamment), du fait d'un défaut de maîtrise foncière, l'efficacité des interventions menées en aval peut en être impactée. Elles doivent donc être revues en conséquence (remises ultérieurement ou viser une simple stabilisation dans un premier temps, par exemple).

Conclusions et perspectives

En 2023, le Syr'Usses va poursuivre l'entretien des sites traités en 2022 et étendre ses interventions sur d'autres secteurs ainsi qu'à d'autres espèces (balsamines et quatre espèces émergentes) comme prévu dans le plan de gestion adopté en 2021.

Le Syr'Usses compte également développer la réalisation des opérations avec la participation de citoyens, bénévoles, en s'inspirant de l'expérience de ASL notamment.

En conclusion, l'importance de travailler à une échelle globale, non pas cantonnée aux seules rivières est soulignée. Il est nécessaire de travailler avec tous les acteurs, collectivités, usagers pour une cohérence et une efficacité des actions. L'importance de la continuité des actions dans le temps (entretien des sites) est primordiale.

5.2.2 Mise en œuvre de la stratégie d'intervention de la communauté de communes du Genevois

Les actions de lutte contre les EEE définies dans la stratégie ont duré 2 ans, de 2017 à 2018, et ont permis de tester certaines méthodes (concassage, traitement thermique, bâchage), mais dans la plupart des cas sans éradication des foyers. Le suivi des sites traités et, le cas échéant, le maintien d'actions de lutte s'est avéré nécessaire pour avoir un impact significatif.

Les actions de lutte réalisées de 2020 à 2022 s'inscrivent dans la continuité de ce qui avait été réalisé depuis 2016 : maintien des opérations de gestion sur les sites déjà traités (réparation des bâches, arrachages des reprises, ajustement des méthodes), abandon de certains sites dont la gestion s'était avérée impossible (zones de talus trop pentus en dangereux par exemple), et démarrage d'actions de gestion sur des sites hiérarchisés en 2016, mais encore non traités. À ce stade, la **problématique de l'actualisation des données** se posait déjà : le diagnostic initial des PEE sur le territoire datant de 2015 (5 ans), de nombreux sites avaient disparu (zones aménagées par exemple), ce qui a fortement complexifié la gestion des marchés avec les entreprises spécialisées, et de nombreux autres sites s'étaient au contraire agrandis ou multipliés (rendant l'éradication de certains foyers très difficile car le mode opératoire devait changer).

La CCG a fait appel à un maître d'œuvre (Avis Vert) pour coordonner ces actions et en assurer le suivi.

Résultats

Parmi l'ensemble des foyers traités, **38 ont bénéficié d'un suivi** entre 2020 et 2022. Les techniques testées sont : l'arrachage, le bâchage, le concassage-criblage-tri sur place et la fauche combinée à l'arrachage (techniques et variantes présentées en chapitre 3). Sur l'ensemble des foyers, **4 foyers** (soit 11% des foyers) n'ont pas repris, **11 foyers** (soit 29%) ont une reprise partielle de PEE, **16 foyers** (soit 42%), sont stables, et **7 foyers** (soit 18%) sont en augmentation (tableau 32 & figure 71).

Tableau 32. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutte testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de la CCG

Techniques employées	Pas de reprise (nb foyers)	Reprise partielle (nb foyers)	Foyer stable (nb sites)	Foyer en augmentation (nb sites)	Nombre total de foyers
Arrachage	1	6	11	5	23
Bâchage			4		4
Concassage-criblage-tri sur place	3	5		2	10
Fauche et arrachage			1		1
Total	4	11	16	7	38

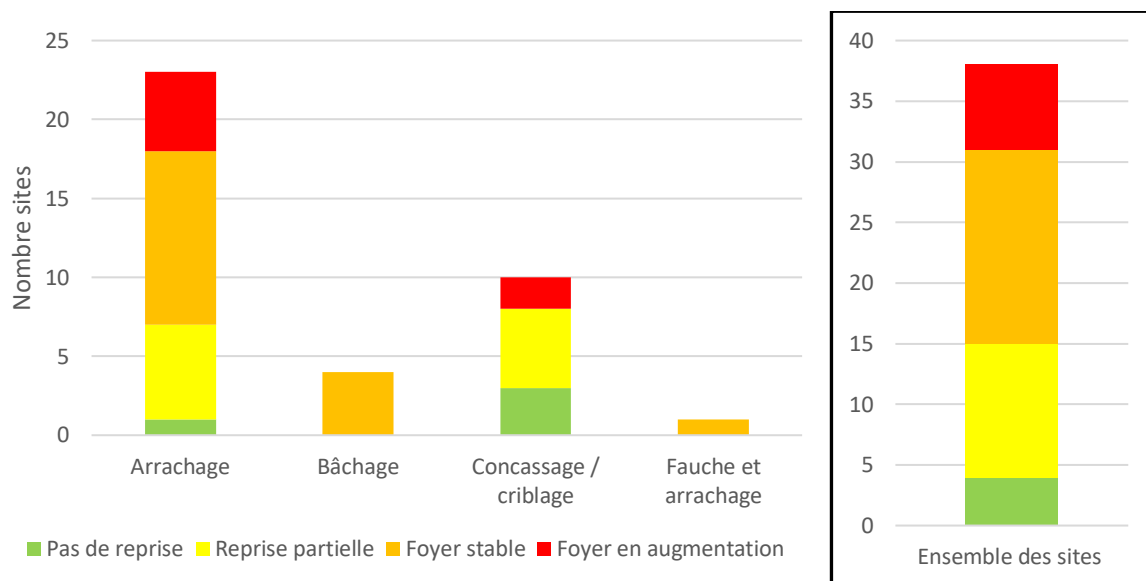


Figure 71. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de luttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de la CCG

Les foyers traités sont essentiellement des foyers de renouées asiatiques, dans 70% des cas. Plus ponctuellement, les foyers sont composés à 9% de solidages américains, 3% de buddléia de David et 19% d'autres espèces non ciblées par le projet, mais ponctuellement traitées sur des sites avoisinants ceux du projet (figure 72). Parmi elles, on note : la balsamine de l'Himalaya, le séneçon du Cap, le cotonéaster horizontal et le sumac de Virginie (tableau 33).

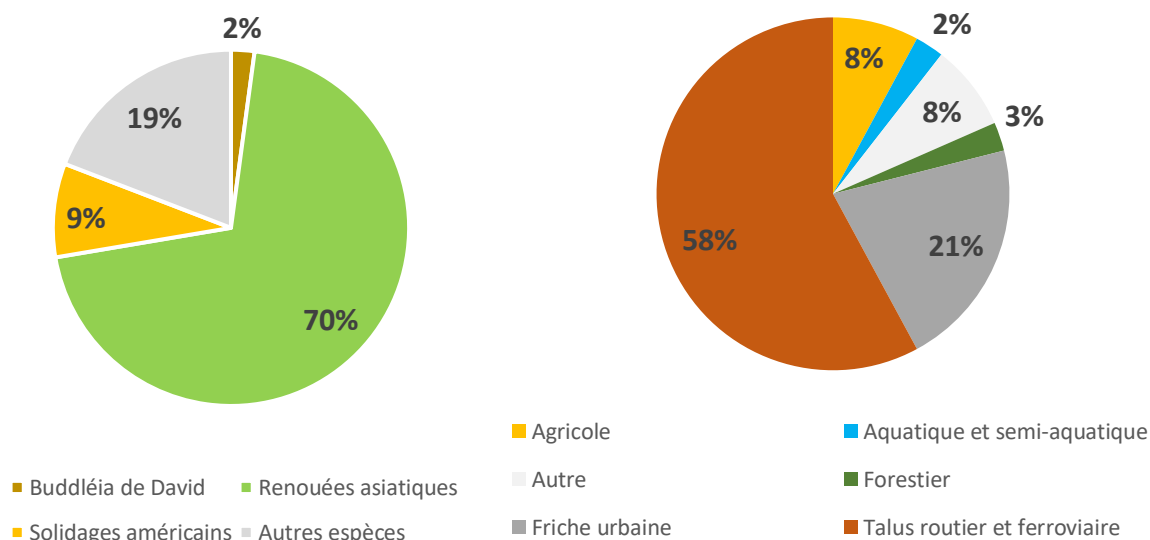


Figure 72. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire de la CCG

Tableau 33. Espèces traitées sur le territoire de la CCG (y compris espèces hors projet) et caractéristiques des foyers

Espèces	Nombre de sites	Remarque
Renouées asiatiques	33	
Balsamine de l'Himalaya	4	Plupart des foyers de petites tailles, en tête de bassin versant
Solidages américains	4	Foyers priorités sur des sites à enjeux pour la biodiversité
Séneçon du Cap	3	Totalité des foyers recensés en 2015. Espèce en expansion très probable sur le territoire
Buddléia de David	1	Foyer priorisé sur un site à enjeux pour la biodiversité
Cotonéaster horizontal	1	
Sumac de Virginie	1	

Cas des renouées asiatiques

Sur les **33 foyers** traités, seuls 32 foyers sont pris en compte dans l'analyse suivante, l'un d'eux ayant été éradiqué par un remblaiement du site. Sur ces **32 foyers**, seulement 3 (9%) ont été éradiqués. Ces **3 foyers** étaient des foyers de taille relativement petite, plutôt faciles d'accès, qui ont été gérés par criblage-concassage, avec un suivi des repousses et arrachage systématique (très peu de reprises ont eu lieu sur ces foyers avec le traitement mécanique). **34% des foyers** sont en diminution ou n'ont que des reprises partielles (lorsqu'ils sont gérés mécaniquement au concassage). **41% des foyers sont stables malgré les interventions répétées, et 16% sont en augmentation**, là aussi malgré la gestion relativement intensive par arrachage, bâchage ou encore concassage et arrachage des reprises (figure 73).

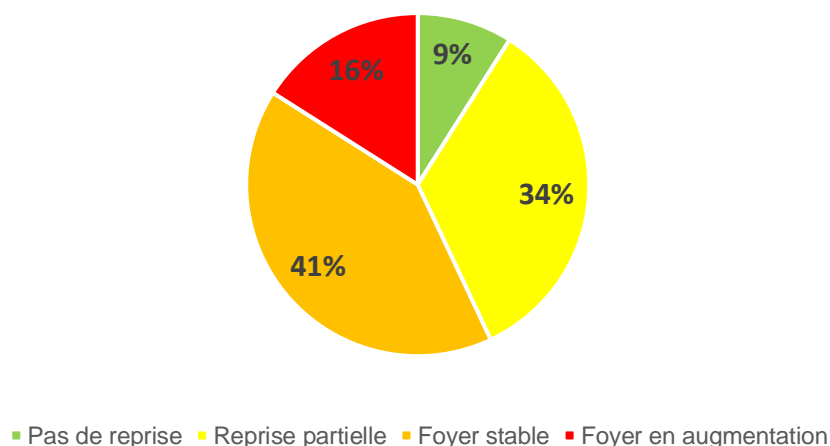


Figure 73. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutte testées contre les foyers de renouées asiatiques sur le territoire de la CCG

Cas des solidages américains

Les foyers de solidages ne semblent pas significativement impactés par l'arrachage trois fois par an pendant deux années : la pression de gestion est à maintenir, et à faire évoluer avec des techniques de fauche deux fois par an sur des périodes de développement précises (notamment juste avant la floraison). La gestion par arrachage (des rhizomes) est à conserver pour les très petits foyers sur des zones à enjeux importants.

Bilan

Les trois espèces, ciblées dans le cadre du projet, les renouées asiatiques, le buddléia de David et les solidages américains, bien implantées sur le territoire de la CCG, n'ont pas bénéficié d'une gestion suffisante pour régresser. Les renouées asiatiques et les solidages américains sont même en expansion sur le territoire. Les espèces « hors projet » ont en revanche bien été maîtrisées : les foyers ont été éradiqués (figure 74).

Espèces	Techniques	Evolution des foyers
Espèces dont la gestion s'avère encore insuffisante		
Buddléia de David	Arrachage	Individus arrachés éradiqués, mais banque de graines très importante sur la zone gérée ; des reprises ont lieu chaque année, nécessitant de nouveaux arrachages.
Renouées asiatiques	Variable	Résultats très contrastés, plusieurs foyers stables malgré la gestion continue, ou même en expansion ; espèce toujours en expansion sur le territoire.
Solidages américains	Arrachage - fauche	Aucun foyer éradiqué. Sur 4 foyers, 2 sont encore en expansion (manque de recul sur les 2 autres), malgré la gestion continue par arrachage. Espèce toujours en expansion sur le territoire.
Espèces dont la gestion s'est avérée suffisante – éradication des foyers.		
Balsamine de l'Himalaya	Arrachage	Foyers éradiqués : ceci a été rendu possible par un arrachage 2 fois par an pendant 2 ans.
Cotoneaster horizontal	Arrachage	Foyer éradiqué en 1 arrachage. Espèce semblant peu problématique.
Séneçon du Cap	Arrachage	Foyers éradiqués par un arrachage régulier sur plusieurs années. Les foyers étaient de taille très modérée et regroupés sur un secteur facilement accessible.
Sumac de Virginie	Arrachage	Foyer éradiqué en 1 arrachage. Espèce semblant peu problématique.

Figure 74. Bilan par espèce de la gestion des PEE sur le territoire de la CCG

Conclusions et perspectives

Le diagnostic des PEE du territoire réalisé en 2015, nécessiterait d'être actualisé afin de pouvoir rendre compte de l'état des lieux actuel et de l'analyser au regard des actions qui ont été effectuées (figure 74). Il est néanmoins possible de constater que les objectifs initiaux de priorisation n'ont pas pu aboutir :

- Aucune PEE n'a totalement été éradiquée du territoire : le séneçon du Cap, seule espèce dont la totalité des foyers connus en 2015 ont été mis en éradication, est en pleine expansion régionale et maintenant bien présente le long de certaines grandes voiries du territoire (entre autres localisations). L'éradication complète des espèces en début de colonisation nécessite d'importantes campagnes de communication, avec une action collective. Pour des espèces avec une telle dynamique et provenant des territoires alentours qui n'ont pas de plans d'actions similaires, la pertinence des actions est à déterminer.
- L'action priorisée sur des portions de territoire (par exemple pour éviter qu'une population de PEE en tête de bassin versant colonise toute la partie plus en aval) serait pertinente si la totalité des foyers connus pouvaient être éradiqués. La priorisation intégrant très fortement le paramètre du parcellaire public ne permet pas d'aller au bout de ces actions. Sur le territoire, l'exemple de la balsamine de l'Himalaya est représentatif : plusieurs sites en tête de bassin versant ont été priorisés initialement, mais seulement une partie d'entre eux a été mise en gestion.

5.2.3 Mise en œuvre de l'action « Halte aux renouées » de l'ASL

L'action "Halte aux renouées" de l'ASL s'inscrit en complément de ce que réalisent les communes, les départements ou les cantons suisses en matière de lutte contre les PEE. L'ASL se positionne comme mandataire intégré aux éventuels plans de gestion des gestionnaires de milieux. Elle est intervenue par offres spontanées auprès des communes, cantons ou propriétaires privés. L'action "Halte aux renouées" a permis d'intervenir sur 210 stations de toutes tailles traitées autour du Léman représentant 35 000 m² de rives du lac et de quelques rivières. Près de 300 bénévoles se succèdent tout au long de la saison pour parvenir à maintenir un rythme régulier d'arrachage (6-8x) durant la saison de végétation.

Résultats

Sur le territoire de l'ASL, seule la technique d'arrachage manuel a été appliquée sur des massifs de renouées asiatiques. On compte un total de **14 sites**. Les foyers arrachés n'ont pas repris sur 8 sites (soit 57% des sites) et ont repris partiellement sur 6 sites (soit 43% des sites). On constate aucun foyer stable ou en augmentation (tableau 34 & figure 75).

Tableau 34. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de l'ASL

Techniques employées	Pas de reprise (nb foyers)	Reprise partielle (nb foyers)	Foyer stable (nb sites)	Foyer en augmentation (nb sites)	Nombre total de sites
Arrachage	8	6	0	0	14
Total	8	6	0	0	14

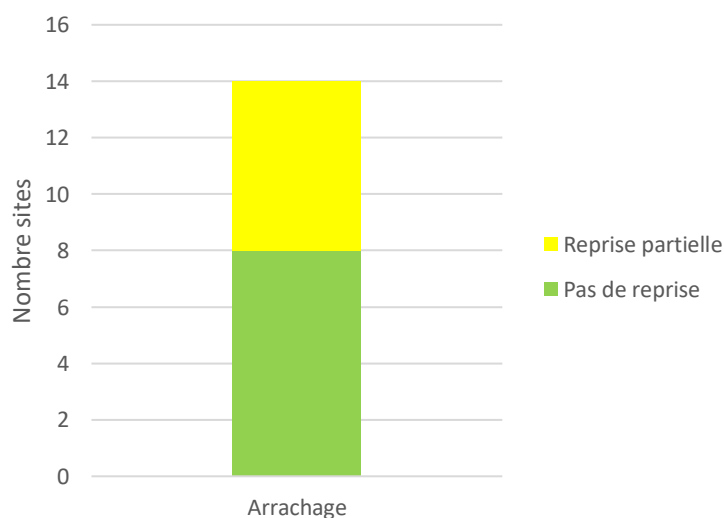


Figure 75. Évaluation qualitative du taux de réussite des techniques de lutttes testées contre les foyers de PEE au sein des sites du territoire de l'ASL

Seules les renouées asiatiques ont été traitées sur le territoire de l'ASL. Les principaux types de milieux traités sont les milieux aquatiques et semi-aquatiques (79% des milieux), soit les berges du lac Léman pour la plupart du temps, ou des rivières. Des talus ont également été traités (14% des milieux) ainsi que d'autres milieux, annexes aux berges du lac (7% des milieux) (figure 76).

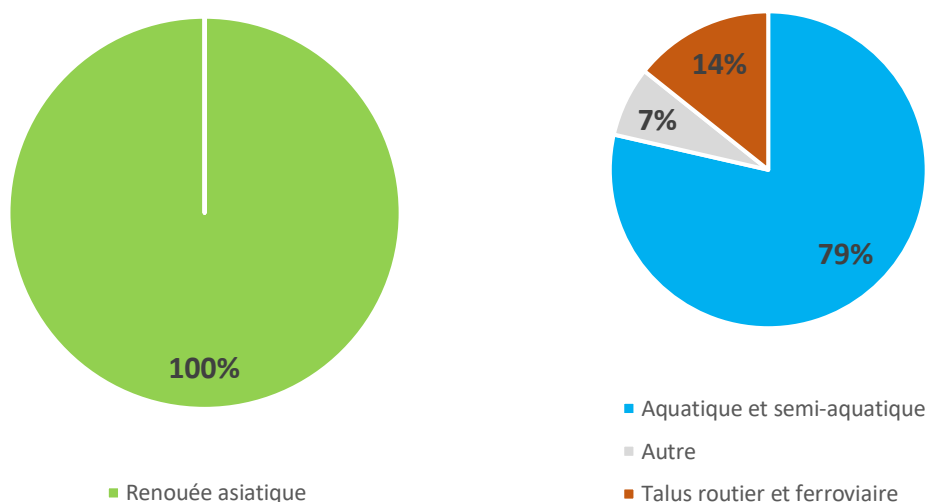


Figure 76. (a) Part d'espèces traitées (b) et types de milieux traités sur le territoire de l'ASL

Par ailleurs, certaines stations ont été l'objet d'un suivi de biomasse allant au-delà du seul pesage des matériaux arrachés. Un secteur d'un mètre carré a été défini, dans lequel les tiges sont comptées, mesurées et pesées. On observe une chute significative de la biomasse des renouées après la troisième année de passage, le nombre d'heures passé sur le terrain pour l'arrachage également (figure 77).

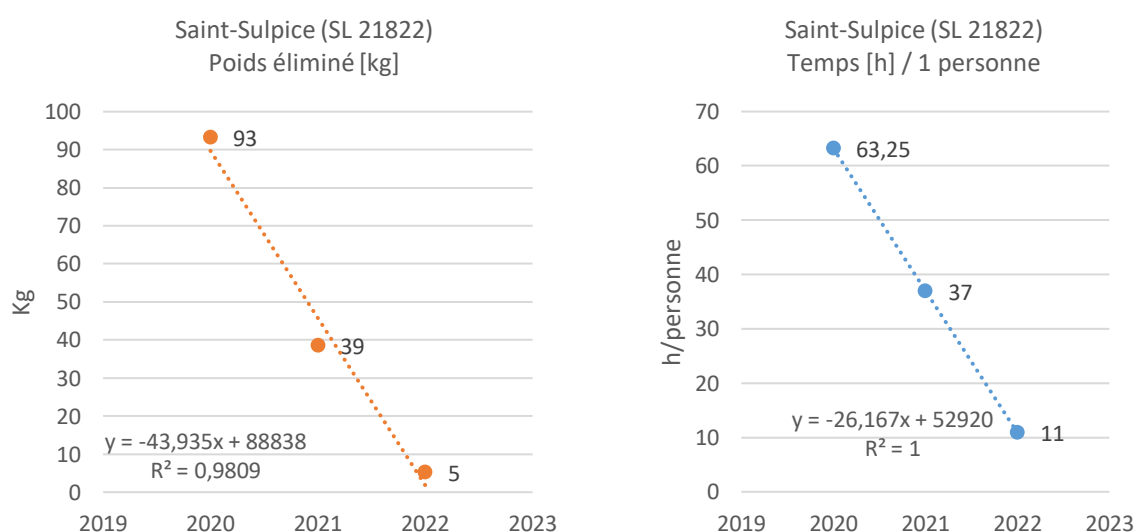


Figure 77. Poids mesuré de la biomasse de renouées asiatiques évacuée par an et temps consacré à l'arrachage et l'évacuation par personne et par an (données sur 705 m²). Cas du site SL 21822 localisé à Saint-Sulpice.

Bilan

Lors des deux premières années de traitement, la reprise des pieds de renouées asiatiques s'est densifiée, mais a diminué par la suite. Les volumes extraits au fil des années d'intervention ont diminué de manière plus marquée dès la quatrième année. L'ASL a aussi observé que les plateaux de tallage, qui n'avaient pu être extraits des enrochements, mais dont les pousses ont été systématiquement coupées, ont fini par sécher. En outre, les tiges des repousses deviennent plus grêles au fur et à mesure des arrachages. Sur certaines petites stations, peut-être plus jeunes que d'autres, la disparition des

renouées est apparue après sept ans, mais avec l'aide de roseaux déjà présents qui ont pu, grâce à l'affaiblissement du foyer, coloniser les secteurs envahis de renouées. Le gage de réussite réside, entre autres, dans la rigueur du rythme d'arrachage durant la saison de végétation. L'ASL a opté pour la fréquence moyenne d'intervention d'une fois par mois sur une durée de dix ans et une surveillance sur les deux ans suivant la disparition des renouées.

Conclusions et perspectives

L'arrachage manuel des renouées asiatiques par mobilisation citoyenne présente des résultats très satisfaisants. Il est important en revanche de suivre et entretenir les sites fréquemment pour obtenir de tels résultats. Cela a été rendu possible grâce aux efforts fournis par ASL pour mobiliser et coordonner des bénévoles. L'association poursuivra son action vu les résultats encourageants et le bon écho rencontré auprès des communes et du public, cela, naturellement conditionné aux financements qui seront obtenus. Les gestionnaires qui souhaitent faire de même sur leur territoire doivent acquérir suffisamment de moyens humains et financiers sur le long terme pour mener à bien ce type de mission.

5.2.4 Bilan de la mise en place des stratégies de gestion dans le cadre du projet

La mise en place d'une stratégie de gestion est une étape cruciale pour mener une lutte efficace et efficiente contre les PEE sur un territoire donné. Le Syr'Usses et la CCG ont expérimenté la mise en place d'une stratégie à l'échelle de leur territoire sur plusieurs années. Ces années de pratiques leur ont permis de tirer des apprentissages :

→ **Constat 1 : pour lutter efficacement contre les PEE sur un territoire, il faut bien connaître leur répartition.** Le manque de données cartographiques est souvent un frein à une gestion globale et efficace des PEE sur l'ensemble d'un territoire. Les principales difficultés rencontrées sont liées à : la nécessité de parcourir la totalité du territoire concerné pour être le plus exhaustif possible ; la répartition des foyers pouvant évoluer rapidement, ce qui nécessite une mise à jour fréquente de la cartographie qui peut être assurée grâce à une surveillance du territoire (en repérant et signalant l'apparition de nouveaux foyers). Il est possible que l'état des foyers, défini durant la phase de diagnostic, ne soit plus le même lors de la mise en œuvre des actions de lutte, ce qui nécessite d'ajuster les opérations, qui peuvent être plus coûteuses que prévu initialement. En outre, des nouveaux foyers et des nouvelles espèces peuvent émerger rapidement entre deux campagnes de cartographie.

→ **Constat 2 : il est difficile voire impossible d'éradiquer une PEE déjà implantée sur la totalité d'un territoire.** En effet, les moyens humains, techniques et financiers sont souvent insuffisants pour mener à bien une éradication totale. D'autant plus que, comme mentionné précédemment, la connaissance de la répartition des foyers et nouvelles espèces émergentes est souvent lacunaire ce qui complique la tâche.

→ **Constat 3 : il faut donc prioriser les actions de lutte pour optimiser les moyens mis en œuvre.**

Il convient de concentrer les efforts sur les milieux les plus exposés et où le rapport "coût/bénéfice/efficacité" pour le milieu sera le plus favorable. Les critères de priorisation utilisés dans le cadre du projet sont : la santé des personnes, la valeur patrimoniale du milieu colonisé, la position des sites dans les bassins versants, le potentiel de dissémination des foyers et l'accessibilité/le foncier d'un site. En outre, lorsque la taille des foyers est trop élevée, les actions de lutte peuvent se cantonner à une « stabilisation » de la taille du foyer ou à une « surveillance » de l'évolution du foyer. Par ailleurs, il est essentiel de bien connaître l'état des foyers environnant un site de lutte : une éradication « totale » sur un secteur n'est possible que si tous les foyers connus sont éradiqués. Dans des zones voisines à des territoires où une gestion intégrée n'est pas assurée et/ou à proximité de propriétés privés hébergeant des foyers, leur degré de priorité d'intervention peut être revu à la baisse comparativement à des zones où il est possible de lutter plus efficacement contre les PEE.

→ **Constat 4 : pour que les actions de lutte contre les PEE soient vraiment efficaces, il faut intervenir globalement et sur le long terme.**

Les efforts de lutte investis peuvent être perdus si des foyers voisins recolonisent les sites traités et/ou si les PEE du site se redéveloppent (dans certains cas, une fréquence d'intervention soutenue est nécessaire pour épuiser les foyers). Il est donc crucial de coordonner les gestionnaires et propriétaires du territoire ciblé et de planifier des actions de lutte sur le long terme en considérant les phases post-travaux d'entretien et de surveillance comme essentielles.

→ **Constat 5 : pour mener une action de lutte globale et intégrée, la prévention collective est essentielle.** La prévention est une étape clef dans la gestion des PEE trop souvent sous-estimée. Elle peut être moins coûteuse que la gestion des espèces une fois implantées. Il est donc important de considérer les actions de communication, sensibilisation, formation, etc. sur le même plan que la lutte directe contre les PEE.

5.3 Synthèse critique des stratégies de gestion, des expérimentations et autres techniques de lutte à 4 ans de projet

Les quatre années d'expérience du projet permettent d'établir une synthèse sur :

- les tests de la technique thermique, des techniques non thermique et leur combinaison,
- les suivis scientifiques des sites expérimentaux « traités thermiquement »,
- ainsi que la mise en place de stratégies de gestion contre les PEE.

Test des techniques de lutte et des combinaisons de techniques contre les PEE

Les tests des techniques de lutte ont permis de constater que **les résultats obtenus sur les sites sont le plus souvent dépendant du contexte des sites et de la bonne mise en œuvre des techniques plutôt que de l'efficacité intrinsèques des techniques en elles-mêmes**. Certaines techniques, comme le traitement thermique et le criblage-concassage pourraient être plus efficaces selon les retours d'expériences des partenaires/gestionnaires, mais sont aussi plus coûteuses et pas toujours applicables (notamment sur terrains accidentés, pentus et sur sols argileux). **Ainsi, le choix d'une technique dépend surtout des caractéristiques des sites à traiter et des ressources humaines et financières à disposition des gestionnaires**. Par ailleurs, les combinaisons de techniques augmentent l'efficacité du traitement. La fauche en traitement préalable permet de dégager le terrain et d'affaiblir un première fois un foyer de PEE. Le bâchage comme technique principale ou complémentaire permet de recouvrir le sol et empêcher la reprise des PEE. En tant que post-traitement, la végétalisation apporte un couvert végétal indigène concurrentiel ; l'arrachage d'entretien permet de maintenir une pression sélective sur les PEE cibles, tout en laissant les autres végétaux se développer. Dans tous les cas, si l'éradication des foyers de PEE n'est pas totale sur un site, des traitements d'entretien sont indispensables jusqu'à épuisement du foyer. **La lutte contre les PEE nécessite un engagement sur plusieurs années pour obtenir des résultats efficaces, et ne pas perdre l'investissement initial mis en œuvre.**

Suivis scientifiques des sites expérimentaux « traités thermiquement »

Le suivi scientifique des sites expérimentaux traités avec le prototype de lutte thermique permet d'évaluer différents paramètres de la technique, notamment : son efficacité globale, la saison à laquelle les interventions sont les plus adaptées et son impact sur différentes composantes de l'environnement. Il est constaté que la technique **a permis une diminution de l'invasion sur 90% des sites dont une éradication totale des foyers sur environ 20% des sites**. La clef du succès de l'application de la technique serait **un traitement à une température d'au moins 55°C pendant au moins 5 minutes**. Le traitement thermique est efficace, pour une profondeur maximale comprise entre 40 et 60 cm, en un seul passage sur **des foyers récents ou modérément vigoureux ou étendus**. **Il est préférable d'envisager d'autres techniques et combinaisons de techniques sur des foyers plus anciens et/ou développés** pour économiser les moyens mis en œuvre. **Les interventions réalisées en été (entre juillet et septembre) sont plus efficaces que les traitements printaniers.**

Il a été difficile de déterminer les techniques de post-traitement les plus adaptées, du fait de la grande quantité et l'hétérogénéité des cas de figure. La revégétalisation est toutefois préconisée compte tenu du fait qu'elle favorise la reprise d'une végétation indigène au détriment des espèces exotiques.

Au sein des sites traités thermiquement, on observe :

- **sur la flore bactérienne et fongique du sol : un retour de la composition initial des microbiotes est atteint, un an après traitement.** Certaines espèces et l'équilibre de la flore du microbiote semblent être tout de même impactées. Les micro-organismes adaptés à des conditions d'anaérobiose et des températures plus ou moins élevées sont favorisés sur le court terme par l'effet du traitement thermique sur le sol.
- **sur l'entomofaune : le retour de la composition initiale des communautés n'est pas atteint en un an.** L'abondance et la richesse spécifique des collemboles sont significativement réduites à court terme. Certaines communautés ont quasiment disparu. D'autres communautés plus mobiles et ubiquistes les remplacent.
- **sur la structure du sol : un fort impact sur la texture (remontée des argiles) et le taux de matière organique.** Ces deux éléments sont remaniés sur le profil de sol par rapport à un état initial. Des précautions sont à prendre sur les sols à texture fine (lorsque le taux d'argile est supérieur à 15%).
- **sur la flore : une diminution moyenne de 20-45% de l'invasion des PEE, mais aussi de la couverture végétale totale.** Cette baisse de couverture favorise les espèces pionnières adventices, rudérales ou autres PEE. **La végétalisation permet de concurrencer ces espèces non désirées avec des espèces indigènes typiques du milieu à restaurer.**

Mise en place des stratégies de gestion dans le cadre du projet

Les gestionnaires du projet ayant développés leur stratégie de gestion ont constaté qu'il était dans un premier temps **essentiel de bien cartographier les foyers de PEE** sur leur territoire pour planifier les campagnes de lutte. Cette cartographie doit être régulièrement mise à jour pour limiter les potentiels décalages entre la planification des actions et l'état des populations. **Par ailleurs, l'éradication totale des PEE sur un territoire est souvent difficile, voire impossible du fait d'un stade avancé de leur colonisation et du manque de moyens humains et financiers des gestionnaires. Il convient alors de prioriser les actions de lutte pour optimiser les moyens mis en œuvre.** Les critères de priorisation utilisés dans le cadre du projet sont : la santé des personnes, la valeur patrimoniale du milieu colonisé, la position des sites dans les bassins versants, le potentiel de dissémination des foyers et l'accessibilité/le foncier d'un site. **Il convient d'avoir une connaissance exhaustive des foyers, ainsi qu'une gestion globale et sur le long terme pour que les campagnes de lutte soient efficaces et que les efforts fournis ne soient pas perdus.** Cela ne peut être rendu possible sans une coordination des différents gestionnaires et propriétaires. De fait, **pour mener une action de lutte globale et intégrée, la prévention collective est essentielle.** Les actions de communication, sensibilisation, formation, éducation, etc. sont à considérer sur le même plan que la lutte directe contre les PEE.

6 Information, sensibilisation, formation, éducation

6.1 Sensibilisation, animation auprès des collectivités, habitants et acteurs du territoire

Dans toute élaboration d'une stratégie de gestion des PEE, la sensibilisation et la responsabilisation des acteurs concernés sur un territoire est une étape indispensable. En effet, quelles que soit les mesures prises par les gestionnaires de l'environnement et des milieux naturels contre les PEE, si les autres acteurs et le public continuent à favoriser directement ou indirectement ces espèces (sachant que l'action humaine est la source principale de leur introduction et de leur dissémination), les moyens mis en œuvre ont un effet limité, voir nul, sur les PEE. Il convient alors de mettre en place un ensemble d'outils de sensibilisation nécessaires au succès de la mise en place d'une stratégie de lutte contre les PEE.

6.1.1 Sensibilisation par l'action

Les partenaires du projet « Stop aux invasives » ont mis en place des campagnes de sensibilisation en complément de leurs actions de lutte.

→ **Cas du Syr'Usses** : le Syr'Usses a organisé deux chantiers participatifs en 2022. Ceux-ci ont été menés par un animateur spécialisé (Anim'Nature). Ces chantiers n'ont cependant mobilisé que des effectifs réduits : sept personnes au total sur les deux actions. Ces participants étaient déjà des personnes convaincues.

La difficulté de mobiliser un large public sur ces problématiques a été souligné par plusieurs élus du territoire des Usses. Ce constat est également relevé pour d'autres sujets, la population étant déjà très sollicitée sur de nombreux sujets d'actualités et du quotidien.

Le Syr'Usses prévoit pour les prochaines années de mutualiser l'évènement avec d'autres afin de sensibiliser un public ne connaissant pas la problématique. Le format de chantier participatif à cela d'intéressant qu'il permet de mettre en pratique des conseils en direct, il sera reprogrammé de manière plus large, potentiellement en collaboration avec des publics scolaires et associatifs.

→ **Cas de l'ASL** : l'action de terrain "Halte aux renouées" donne l'occasion de communiquer sur la problématique des EEE auprès de différents publics : personnes s'inscrivant comme bénévoles, collaborateurs communaux, employés des diverses entreprises participant à des journées de *team building* ou élus. L'ASL est sollicitée pour présenter son action dans le cadre de journées de formation proposées par différents organismes (Sanu, InfoFlora). Ces journées sont essentiellement destinées aux acteurs agissant sur le terrain tels que des chefs de services extérieurs, employés communaux ou collaborateurs d'entreprises paysagistes. L'ASL est également amenée à présenter « Halte aux renouées » avec un stand lors de diverses manifestations autour du bassin lémanique.

6.1.2 Sensibilisation par les outils

Afin que tous puissent trouver les principales informations sur les plantes invasives, les enjeux de leur gestion et les techniques de lutte pouvant être mises en place, il convient d'éditer, de mettre à disposition et/ou de fournir des supports adaptés. Ce travail est complémentaire aux interventions « physiques » par l'action.

→ **Cas du Syr'Usses** : le Syr'Usses a rédigé un guide "Stop aux invasives" à destination du grand public et des entreprises de travaux. Celui-ci est mis à disposition de tout un chacun sur le site internet du Syr'Usses, est diffusé auprès des collectivités (EPCI et Communes) en version papier et est distribué sur chaque évènement du syndicat.

Toutefois, plus qu'un outil de sensibilisation il s'agit d'un outil d'aide à l'intervention sur le terrain. Pour que le plus grand nombre s'en saisisse et l'utilise dans le cadre de ses interventions sur les espaces verts (privés ou publics), il doit être couplé à des animations/rencontres sur le sujet.

Début 2022, des courriers ont été envoyés à chacune des 48 communes afin de leur communiquer les outils disponibles pour les accompagner dans la gestion des PEE sur leur territoire. Des exemples de clauses particulières pouvant être inscrites dans les marchés publics de travaux ont été transmises pour anticiper la gestion de ces plantes sur les chantiers à venir dans l'année.

Au printemps 2022, des courriers ont été envoyés à chacun des 1136 riverains concernés par des interventions dans le cadre de la mise en œuvre du plan de gestion des PEE. Ces courriers s'appuyaient et faisaient références aux outils à disposition des usagers : le guide « Stop aux invasives », le plan de gestion des PEE sur les cours d'eau du BV des Usses (CEVE, 2021), les formations et chantiers participatifs à venir dans l'année, et le guide établi par l'UPGE (2020).

→ **Cas de l'ASL** : les actions de l'ASL apparaissent régulièrement dans les numéros de sa revue "Lémaniques" et dans les journaux. Un flyer a été édité et envoyé aux propriétaires genevois, vaudois et valaisans riverains du lac ainsi qu'aux entreprises paysagistes lémaniques (figure 78). Les communes concernées par des stations gérées par l'ASL l'ont diffusé à leur population. Un rapport annuel détaillé est mis en ligne sur son site depuis 2017. Par ailleurs, des affiches ont été posées sur plusieurs stations gérées par l'ASL et visibles par le public.



Figure 78. Flyer de communication développé par ASL dans le cadre de l'action « Halte aux renouées ! »

6.2 Formation élus et acteurs économiques référents

Outre la sensibilisation, la formation est également un outil efficace pour responsabiliser les acteurs directement ou indirectement concernés par la question des PEE. Si ces derniers sont en capacité de lutter contre ces espèces, de limiter leur expansion ou à minima de ne pas les favoriser, le travail des gestionnaires est alors optimisé. Il est à noter que certains acteurs économiques (BTP, paysagistes, services techniques, services de voirie, etc.) ont une forte responsabilité sur la propagation des PEE. En effet, ceux dont l'activité génère un déplacement important de matériaux et de végétaux et donc de graines de PEE, rhizomes, etc. peuvent largement favoriser l'expansion des PEE si une vigilance particulière n'est pas appliquée sur certaines opérations et certains travaux.

→ **Cas du Syr'Usses** : en 2022, le Syr'Usses a organisé deux sessions de formation à destination des élus, agents techniques des collectivités et personnels des entreprises du BTP. Celles-ci ont été très appréciées des 26 personnes qui y ont participé (figure 79).

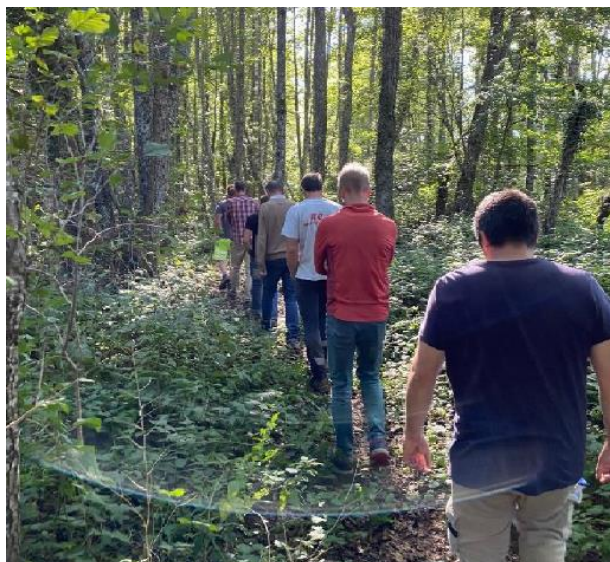


Figure 79. Formation sur la mise en œuvre d'un plan de gestion EEE proposée par le Syr'Usses en 2022

Afin de faciliter la mobilisation des professionnels lors de ces séances, elles ont été réparties sur le territoire. L'une a été organisée à Cruseilles (amont du bassin versant), l'autre à Frangy (aval du bassin versant). 7 élus, 18 agents techniques et 1 personnel d'une entreprise de TP ont pu échanger en salle, puis sur le terrain, des interventions possibles sur les plantes invasives. La majorité des participants était demandeuse avant tout de connaissances pour reconnaître les PEE et anticiper l'entretien de ces plantes.

Ces formations, appuyées par les apports du projet « Stop aux invasives », ont permis de distribuer des outils aux gestionnaires pour agir lorsque les plantes sont installées, et surtout pour prévenir l'installation de nouveaux foyers (clauses dans les CCTP, choix des plantes, conseils aux riverains, liste d'espèces pour les haies dans les PLU, etc.). Néanmoins, tous relèvent les difficultés liées aux moyens humains et financiers pour les gérer une fois qu'elles sont installées. Ces formations seront réitérées dans les années à venir.

→ **Cas de la CCG** : La CCG a organisé une formation à destination des professionnels (services techniques des communes, BTP, paysagistes, ...) en 2021 (07/10/2021). Au total, ce sont 26 participants qui ont été sensibilisés à la question des PEE.

Les objectifs de cette formation étaient d'apprendre aux professionnels à mieux reconnaître les espèces problématiques sur le territoire et de leur présenter les moyens de lutte à mettre en place avec une démonstration des méthodes.

→ **Cas d'ELTEL** : Une présentation générale des PEE a été réalisée avant de laisser place aux entreprises luttant contre ces plantes. ELTEL SA a notamment présenté sa méthode de lutte thermique. Ces échanges ont permis aux professionnels (domaines publics, TP, employés communaux) de différents horizons d'échanger sur la thématique et d'acquérir des connaissances.

6.3 Séminaires et capitalisation

La concertation entre les acteurs directement concernés par lutte contre les PEE est indispensable pour la mise en place d'une stratégie de gestion globale et efficace. Le projet « Stop aux invasives » a favorisé les échanges entre une multitude d'acteurs de part et d'autre de la frontière franco-suisse. Certaines séances organisées par les partenaires ont permis d'établir un état des lieux sur le territoire du projet :

- L'assemblée plénière du 15 mars 2019 (compte rendu en annexe 2a) ;
- L'assemblée plénière du 13 mars 2020 (compte rendu en annexe 2b, bilan intermédiaire 2019 en annexe 2c).

Par ailleurs, le colloque final du projet « Stop aux invasives », organisé le vendredi 14 octobre 2022 à la salle de l'Arande à Saint-Julien-en-Genevois, commune française frontalière, a permis de rassembler 80 personnes concernées par la problématique des PEE, ainsi que d'exposer et discuter le travail réalisé dans le cadre du projet (figure 80 & figure 81).



Figure 80. Colloque final stop aux invasives : échanges et perspectives sur les stratégies de lutte contre les PEE

		Plénière 1 - Le traitement thermique : une nouvelle approche de lutte contre les invasives	Modération : Patrice Prunier (HEPIA)
09:00	09:20	Pourquoi solliciter la méthode de traitement thermique ?	Emmanuelle Favre (Canton GE)
09:20	09:40	La technique de traitement thermique : développement de la machine	Sandrine Tolivia (ELTEL)
09:40	10:00	La technique de traitement thermique : mise en oeuvre	Cyril Blondet (ERM)
10:00	10:20	Techniques courantes de lutte contre les plantes invasives : l'arrachage manuel, le bâchage et le concassage	Olivier Goy (ASL) et Nicolas Balverde (Avis-Vert)
10:20	10:40	Le génie végétal en complément à la lutte contre les invasives	Pierre-André Frossard (HEPIA)
		Plénière 2 - Suivi scientifique : l'évolution des sites suite à un traitement thermique	Modération : Patrice Prunier (HEPIA)
11:00	11:20	Dispositif expérimental et évolution thermique du sol suite à un traitement	Laurent Huber (HEPIA)
11:20	11:40	Contrôle des renouées asiatiques par un procédé thermique : analyse des paramètres d'efficacité	Amandine Fontaine (HEPIA)
11:40	12:00	Suivi métatranscriptomique de l'évolution du microbiote du sol après traitement thermique	Julien Crovadore (HEPIA)
12:00	12:20	Effet des traitements thermiques sur la faune du sol et sa structure	Charlène Heiniger (HEPIA)
12:20	12:40	Effet des traitements thermiques sur la végétation en place et les néophytes	Laurent Huber (HEPIA)
		Plénière 3 - La lutte contre les invasives : stratégies de gestion	Modération : Patrice Prunier (HEPIA)
14:00	14:15	Stratégies de gestion suisse et française des espèces exotiques envahissantes	Millo Pénault-Ravaillé (Veget'Action)
14:15	14:30	Gestion des PEE sur les cours d'eau du bassin versant des Usses	Julie Aubert-Moulin et Rémi Lafond (Syr'Usses)
14:30	14:45	La gestion des néophytes en Valais	Barbara Molnar (Canton VS)
14:45	15:00	Intégration de la lutte thermique dans un plan de gestion intercommunal (basse plaine du Rhône)	Pierre-Antoine Coquoz (Groupement forestier des Agittes) et Joaquim Golay (HW Romandie)
15:00	16:00	Stratégies de lutte contre les invasives : échanges et perspectives	J-Y. Mâchard (Syr'Usses) ; O. Goy (ASL) ; E. Favre (canton GE) ; P. Chassot & A. Peltan (CCG) ; P-A. Coquoz (grpt forestier des Agittes) & J. Golay (HW Romandie) ; P. Sauze (DREAL)
16:00	16:15	Conclusions	Sandrine Tolivia (ELTEL) et Cyril Blondet (ERM)

Figure 81. Programme du colloque final « Stop aux invasives »

6.4 Communication technique et socio-environnementale (tous acteurs)

Outre la création de groupes de concertation et de capitalisation, différents supports de communication ont été développés afin de fournir des informations sur l'avancement du projet, ainsi que plus largement sur la problématique des PEE sur le territoire transfrontalier.

Films du projet

Un film réalisé par le bureau Avis Vert présente le projet. Il a pour vocation de valoriser les actions financées dans le cadre du projet Interreg « Stop aux invasives ». Il a été diffusé pendant le séminaire de capitalisation d'octobre 2022, ainsi que sur les sites internet de différents partenaires. Il est disponible en deux versions :

- version courte (2'), disponible en ligne : https://www.youtube.com/watch?v=24B_asOVSLg
- version longue (11'), disponible en ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=zm6o70qBkx0>

Sites internet

Le site internet de chaque partenaire a mis en avant le projet à travers une page web dédiée. Aussi, le projet a fait l'objet de la création d'un site internet dédié mettant en avant les objectifs de « Stop aux invasives ». L'actualisation de ce site s'est montrée problématique sur la fin du projet au regard du retrait du partenaire en charge de sa mise à jour. Les partenaires ont préféré maintenir une page à jour sur leur propre site internet, mais cela n'a pas encore été réalisé sur tous les sites.

- Site web du projet : <http://www.stop-invasives.com/>
- Site web de la CCG : <https://www.cc-genevois.fr/fr/la-collectivite-et-son-territoire>
- Site web du Syr'Usses : <https://www.rivieres-usses.com/gerer-nos-milieus>
- Site web d'ELTEL : <https://eltel-sa.ch/>
- Site web d'ERM : <https://www.erm74.com/>
- Site web d'HEPIA : <https://www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement>
- Site web d'ASL : <https://asleman.org/>

Presse

- Un article est paru dans le magazine « le Genevois » de la CCG dans le n°12 de juillet 2022. A destination du grand public, il l'informe sur la problématique des espèces exotiques envahissantes sur le territoire et sur l'implication de la CCG dans le programme Interreg « Stop aux invasives » au travers notamment d'une journée de formation auprès des professionnels.
- Les avancées du projet « Stop aux invasives » ont été présentées aux usagers du territoire du Syr'Usses au long du projet grâce à la parution d'articles dédiés dans le journal le Papyr'Usses. Les numéros 8 d'août 2019, n°9 d'août 2021, n°10 de décembre 2022 ainsi que le rapport d'activité 2021 du Syr'Usses présentent les actions menées dans le cadre du projet.

Réseaux sociaux

- Syr'Usses sur Facebook de la collectivité

Documents papiers

- Guide Stop aux Invasives (Syr'Usses)
- Les actes du colloque (bientôt disponibles en ligne sur le site d'HEPIA)
- Flyer de présentation du projet

Communication liée aux interventions de lutte contre les PEE

Afin d'être visible sur ses actions de lutte contre les PEE, chaque chantier mené par le Syr'Usses est accompagné d'informations sur le site internet du Syr'Usses, ainsi que de panneaux de chantiers sur site (même temporaires) pour signaler les interventions en cours (figure 82).



Figure 82. Panneau « Stop aux invasives » et intervention sur chantier Usses par arrachage

Bilan du projet

Ensemble des actions réalisées

Sept partenaires franco-suisse et huit co-financeurs publics (FEDER, Conseils départemental 74 et régional AURA en France, cinq cantons en Suisse), se sont engagés en 2017 dans le projet « Stop aux invasives ». Le projet a permis de :

- tester **neuf techniques** sur un ensemble de **132 sites**, sur une surface de **8 ha**, **pour lutter contre six espèces exotiques envahissantes** durant quatre années et de synthétiser les retours d'expériences qui en découlent,
- réaliser un suivi détaillé sur un échantillon de **36 sites**, dont **24 sites** traités thermiquement et **12 sites** traités non thermiquement, soit sur **0,3 ha**, dont les résultats sont présentés dans des fiches de retours d'expériences (**sites REX**),
- développer une technique innovante de traitement thermique et d'appliquer un suivi scientifique complet sur un échantillon de **10 sites expérimentaux**, sur une surface **0,12 ha**, pour mieux connaître certaines conditions techniques de sa mise en œuvre, ainsi que son impact sur différentes composantes de l'environnement,
- développer des stratégies et **plans de gestion sur deux territoires** du projet et de recueillir les retours d'expériences des gestionnaires concernés,
- mener à bien **un ensemble d'actions complémentaires à la lutte directe** contre les PEE (communication, sensibilisation, formation, etc.), définies dans le cadre du projet,
- réunir différents acteurs concernés par la problématique des PEE et **favoriser les réflexions et les échanges nécessaires à une lutte globale et intégrée.**

Ces actions ont permis d'amorcer et/ou de consolider les actions de luttés contre les PEE sur le territoire franco-suisse du projet.

Retours d'expériences et résultats des expérimentations

Les retours d'expériences des partenaires et les expérimentations ont permis d'apporter des précisions aux **trois axes** suivants :

→ **La technique de traitement thermique sur le plan technique et économique** : la technique de traitement thermique fonctionne sur des foyers récents, modérément vigoureux ou étendus. Son application est peu adéquate sur les terrains accidentés, pentus, difficilement accessibles et sur des sols à texture fine. Par ailleurs, il est nécessaire d'avoir une borne à eau à proximité du site (< 2 km). Enfin, Il est techniquement difficile de traiter des surfaces de plus de 40 m² par jour. Le traitement thermique est efficace si la température atteinte dans le sol est d'au moins 55°C pendant au moins 5 minutes. La profondeur d'action maximale se situe entre 40 et 60 cm de profondeur. Il est recommandé d'intervenir en période estivale (entre juillet et septembre) plutôt qu'en période printanière.

→ **La technique de traitement thermique sur le plan fondamental** : d'après les analyses de l'impact environnemental de la technique, on constate un retour de la composition initiale des microbiotes, un an après traitement. Le retour à la composition initiale n'est pas atteint pour l'entomofaune : l'abondance et la richesse spécifique des collemboles sont significativement réduites. Le traitement thermique impacte également la structure du sol, et particulièrement les sols à texture fine (taux d'argiles supérieur à 15%). On observe une diminution de l'invasion sur 90% des sites traités thermiquement, dont une éradication totale des foyers sur environ 20% des sites. La couverture végétale totale est également diminuée. La revégétalisation après traitement permet de favoriser la reprise d'une végétation indigène qui concurrence les espèces indésirables (les adventices, les espèces rudérales, les PEE ciblées ou de nouvelles PEE). L'apport d'espèces typiques des milieux naturels souhaités, adaptées aux caractéristiques écologiques et au contexte socio-économiques d'un site, accélère le processus de reconstitution écosystémique.

→ **La gestion des invasives** : une cartographie des foyers de PEE régulièrement mise à jour grâce à une surveillance du territoire (repérer et prévenir l'apparition de nouveaux foyers) est la base de l'élaboration d'une stratégie de gestion efficace. Sur un territoire donné, l'éradication totale est souvent impossible, il convient alors de hiérarchiser les interventions. Ces interventions doivent s'intégrer dans une vision globale et de long terme de la gestion des PEE ; autrement, les efforts investis peuvent être perdus. Pour faciliter cela, la prévention collective est essentielle (communication, sensibilisation, formation et éducation) pour impliquer tous les acteurs concernés du territoire.

Dans le cadre du projet, les différentes techniques montrent des taux de réussite aux proportions similaires : on observe une absence de reprise des foyers sur 10 à 20% des sites, une reprise partielle sur 50 à 70% des sites, des foyers stables sur 10 à 20% des sites et des foyers en augmentation sur 5 à 15% des sites. L'efficacité de la mise en œuvre de mesures est dépendante du contexte environnemental et socio-économique d'un site, du stade de développement initial des foyers et de la bonne mise en œuvre d'une technique. Le choix d'une technique se réalise en fonction des caractéristiques d'un site (accessibilité, nature du sol, terrain, etc.) et des moyens humains et financiers à disposition des gestionnaires. Le criblage-concassage et le traitement thermique sont les techniques les plus efficaces selon les retours d'expériences des partenaires/gestionnaires, mais elles sont coûteuses (surtout le criblage-concassage) et leur mise en œuvre n'est pas toujours possible si le terrain est trop pentu et/ou accidenté. L'arrachage et la fauche sont techniquement plus simples à mettre en œuvre, mais la fréquence de passage nécessaire peut être importante selon le stade de développement des foyers. Par ailleurs, les combinaisons de techniques permettent d'optimiser les résultats. Dans le cadre du projet, les techniques les plus fréquemment combinées sont : la fauche comme traitement préalable, le traitement thermique comme technique principale, le bâchage en technique principale ou complémentaire, la végétalisation comme post-traitement et l'arrachage comme post-traitement et mesure d'entretien. Dans tous les cas, pour capitaliser les investissements de luttés initiaux, des mesures d'entretien (post-traitements) sont nécessaires tant que le foyer n'est pas totalement éradiqué.

Perspectives du projet

L'ensemble des actions et expérimentations, réalisées dans le cadre du projet « Stop aux invasives », offrent des nouvelles clefs et ouvrent des pistes de recherche sur les modalités techniques et les stratégies de lutte à mettre en œuvre contre les plantes exotiques envahissantes.

Les modalités de la bonne utilisation du prototype de traitement thermique sont connues dans leur ensemble. Le prototype peut encore être amélioré pour pallier certaines contraintes d'usage (réduction de la consommation d'eau et d'essence, utilisation d'énergies renouvelables, accessibilité aux sites, nombre de piques, surfaces maximales traitées, etc.). L'impact de la technique sur l'environnement est mieux connu, il peut être compensé grâce à la technique de revégétalisation.

Le développement de filières de valorisation des déchets verts issus des interventions permettrait de limiter l'impact sur l'environnement de la lutte contre les PEE. Cela peut se traduire par le développement de plateforme locale de compostage et / ou de favoriser la méthanisation sur des pôles existants ; l'objectif étant de gérer les PEE sur l'ensemble du processus de lutte (de l'intervention à l'élimination) tout en limitant les risques de dissémination, les coûts directs et indirects et les impacts à l'environnement (énergie dépensée notamment).

Par ailleurs, les données et retours d'expériences sur l'ensemble des techniques testées sont encore à compléter et ne permettent pas de répondre à toutes les questions et hypothèses posées. Certaines pistes méritent d'être approfondies en multipliant les essais techniques (dont la combinaison de techniques) accompagnés de suivis complets réalisés sur le long terme (> 5-10 ans).

Enfin, ces constats et perspectives peuvent être partagés et diffusés à une échelle plus large que celle du projet, en vue de mutualiser les retours d'expériences, de trouver de nouvelles synergies entre les acteurs concernés, ainsi que de mobiliser des moyens humains et financiers pour poursuivre les recherches, expérimentations et campagnes de lutte contre les plantes exotiques envahissantes.

Bibliographie

AERMC, Concept Cours d'EAU SCOP et GEN Tereo (2016). Savoirs et savoir-faire sur les populations exotiques envahissantes végétales et animales et préconisations pour la mise en œuvre des SDAGE (réf. 062). Etude réalisée pour le compte de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse. Tome 1 - volume 1 : p 1-196. www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr

ASL (2021). Rapport 2020 – Projet ASL « Halte aux Renouées ». 53p. asleman.org

Assemblée nationale (2021). Rapport de la mission d'information sur la prolifération des plantes invasives et les moyens pour endiguer cette situation - N° 4391 ASSEMBLÉE NATIONALE - Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 21 juillet 2021. 101p www.assemblee-nationale.fr

CEVE (2021). Plan de gestion des plantes exotiques envahissantes sur le Bassin versant des Usses. Pour le compte du Syndicat de Rivières les Usses. (Tomes 1 à 4). Synthèse : www.rivieres-usses.com

Debay P, Legland T et Pache G (2020). Liste actualisée et hiérarchisée des espèces exotiques envahissantes, bilan de la problématique végétale invasive en Rhône-Alpes. Conservatoire botanique national alpin. 44p. especies-exotiques-envahissantes.fr

Ecosphère (2015). Lutte contre la perte de biodiversité liée aux néophytes sur la Communauté de Communes du Genevois (FA 75 - Contrat corridors Champagne-Genévois). 138p

Fontaine A (2021). Control of Japanese knotweed by a thermal process. Master of Science HES-SO in Life Sciences - Natural Resource Management. Lausanne. 37p.

Golay J et Stuber A (2017). Essai ELTEL néophytes envahissantes - Rapport final de suivi des travaux réalisés par ELTEL avec injection de vapeur d'eau visant à l'élimination des néophytes envahissantes dans plusieurs secteurs test du canton de Vaud. Hintermann et Weber SA. 32p

UICN Comité français, Suez Recyclage et Valorisation France (2022). Accompagner le traitement des déchets de plantes exotiques envahissantes issus d'interventions de gestion. Guide technique. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN Comité français & Office français de la biodiversité. 136p. especies-exotiques-envahissantes.fr

UPGE (2020). Cahiers des charges et EVEC. Préconisations pour une meilleure prise en compte du risque de dissémination des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEC) terrestres dans les projets de travaux. 29p. www.genie-ecologique.fr

Références - Liens internet

- Liste noire (*Info Flora*) : www.infoflora.ch
- Liste d'espèces exotiques préoccupantes pour l'Union Européenne (Centre de ressources des EEE) : especies-exotiques-envahissantes.fr
- Site du centre de ressources des EEE : especies-exotiques-envahissantes.fr