



Écobilan de différentes méthodes de lutte contre les renouées exotiques (*Reynoutria* spp.).

Mandant SPAAS-Sezione protezione aria acqua suolo, Dipartimento del territorio, Repubblica e Cantone Ticino; avec le soutien financier des Cantons d'Argovie, Genève, Vaud, Valais et Zürich.

Date 13.07.2020

Réf. mandat 2227



ti  Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento del territorio

Rapport final

Expertises:

Quantis

Quantis, Cécile Guignard/Simone Pedrazzini
Lausanne, Vaud / Bellinzona, Tessin

Andrea De Micheli, Zürich

Gregeco gmbh, Sascha Gregori
Domat/Ems, Graubünden


gregeco
gmbh

Date	13.07.2020
Mandants	SPAAS-Sezione protezione aria acqua suolo, Dipartimento del territorio, Repubblica e Cantone Ticino; avec le soutien financier des Cantons: - Argovie - Genève - Vaud - Valais - Zürich.
Mandataire	Oikos - Consulenza e ingegneria ambientale Sagl Via Riale Righetti 20a 6503 Bellinzona-Carasso +41 91 829 16 81 info@oikos.swiss
Resp. projet	Alberto Conelli alberto.conelli@oikos.swiss
Collaborateur	Lorenzo Schmid, lorenzo.schmid@oikos.swiss
Spécialistes externes	- Sascha Gregori, gregeco gmbh - Andrea De Micheli - Cécile Guignard et Simone Pedrazzini, Quantis
Remerciements	- Christian Cattaneo (AFOR - Azienda Forestale Regionale Valle di Muggio, Sagno); - Marco Rosa (Azienda Agroforestale Ghirò SA, - Camorino); - Germano Farina (Azienda forestale Sagl, Monteggio); - Schmid Daniel Giardini Sagl (Sant'Antonio Bellinzona); - Poncetta SA, impresa costruzioni SA, Bignasco; - Alan Pinchetti e Paolo Aili (Rigassi e Pinchetti SA, Lodrino); - Edo Martinetti (Mario Martinetti SA, Figino); - Luca Jelmini (Agroscope, Campus di ricerca di Cadenazzo); - Damiano Ballarini (Caminada Sementi SA, Cadempino); - Sandrine Tolivia (ELTEL SA, Cronay).
Référence bibliographique	Conelli A., Guignard C. et Pedrazzini S. (2020). Écobilan de différentes méthodes de lutte contre les renouées exotiques. Rapport sur mandat de: SPAAS-Sezione protezione aria acqua suolo, Dipartimento del territorio, Repubblica e Cantone Ticino. Mandataire: Oikos Sagl, Bellinzona, données non publiées, 40 pp.

Indice

1	Introduction	7
1.1	But	7
1.2	Contexte de l'étude	7
2	Promotion de l'étude, financement et organigramme	8
3	Méthodes	9
3.1	Définition et déroulement de l'analyse du cycle de vie	9
3.2	Unité fonctionnelle	10
3.3	Collecte de données	11
3.3.1	Excavation et mise en décharge du sol contaminé.	12
3.3.2	Fauches répétées (fauchage intensif de longue durée)	14
3.3.3	Application foliaire d'herbicide (glyphosate)	15
3.3.4	Broyages répétés	17
3.3.5	Désherbage <i>Ecosystem</i>	19
3.3.6	Injection de vapeur	22
3.4	Évaluation d'impact	24
3.5	Analyse de la variante <i>no action</i>	24
4	Résultats	27
4.1	Screening LCA	27
4.2	Coûts	34
4.3	Variante <i>no action</i>	37
5	Bibliographie	38

Annexes

Annexe 1	LCA - Rapport de détail pour les 3 premières méthodes (Quantis)
Annexe 2	Collecte de données concernant la surface des sites à renouveler et les déplacements

Résumé

La renouée du Japon (*Reynoutria japonica* Houtt.) et ses congénères exotiques (*R. sachalinensis* (F. Schmidt), *R. X bohemica*) comptent parmi les 100 néophytes les plus envahissantes et nuisibles au monde. La lutte pour limiter leur diffusion est très difficile et onéreuse.

Le but de cette étude est de comparer six méthodes de lutte du point de vue de leur impact sur l'environnement, avec une approche standardisée de type analyse du cycle de vie (ACV). Les méthodes sélectionnées comportent autant des méthodes en place et parmi les plus utilisées en Suisse, mais également des méthodes de lutte encore en phase de test. Pour ces dernières, leur efficacité autant que leur impact environnemental devront être validés dans le futur, lorsqu'il y aura plus de recul sur ces méthodes. Les résultats, portant sur plusieurs indicateurs (émissions de gaz à effet de serre, consommation de ressources, utilisation d'eau, impacts sur la qualité des écosystèmes ou sur la santé humaine, unités de charge écologique - éco-points ou UBP pour « *Umweltbelastungspunkte* ») peuvent être synthétisés comme suit :

L'excavation (appelé également « arrachage mécanique ») est la seconde méthode qui a le plus d'impact pour les indicateurs étudiés, ceci à cause du transport et surtout de la mise en décharge de grandes quantités de sol contaminé par les rhizomes. L'utilisation de la pelle excavatrice en chantier ne contribue que faiblement aux impacts environnementaux. Les résultats suggèrent qu'il est nécessaire de trouver des alternatives au transport et à la mise en décharge, grâce par exemple au traitement *in situ* du matériel d'excavation par tamisage.

Les fauches répétées (6 fois par année, pendant 10 ans) émettent 5 fois plus de gaz à effet de serre sur 10 ans par rapport à l'application d'herbicide. Les impacts sont dominés par les déplacements des opérateurs et par les transports des résidus, et non pas par l'utilisation des débroussailleuses. Pour diminuer l'impact des fauches, il faudrait donc optimiser les distances parcourues (entreprises rigoureusement locales, filières d'élimination courtes).

Le scénario d'application foliaire d'herbicide (glyphosate) apparaît comme le meilleur avec les données standardisées actuelles mais c'est également le scénario le plus incertain. En effet, il y a de grandes incertitudes concernant la toxicité du glyphosate pour la santé humaine, qui selon certaines études serait jusqu'à 1'000 fois plus élevée que ce qui a été considéré jusqu'à aujourd'hui (et montré dans le scénario de base). Il est possible que l'écotoxicité soit également sous-estimée jusqu'à présent et les résultats montrent l'influence d'une potentielle sous-estimation. Finalement, l'évaluation des métabolites issues du glyphosate une fois celui-ci appliqué n'est pas incluse dans cette étude et pourrait également augmenter son impact toxique et écotoxique. Pour toutes ces raisons, les résultats obtenus pour le scénario d'application d'herbicide sont à considérer avec prudence. Une recherche plus approfondie serait nécessaire afin de réduire ces incertitudes.

Les broyages répétés ont un impact moyen, bien moins élevé que l'injection de vapeur ou l'excavation, un peu moins que les fauches répétées mais relativement proche du désherbage *Ecosystem*. L'impact est principalement lié aux déplacements des opérateurs tandis que celui du broyeur est comparativement faible. C'est un scénario très intéressant car ses impacts sont relativement bas et les résultats sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes sont bien moins incertains que ceux de l'application de glyphosate.

Le désherbage *Ecosystem* a un impact assez proche de celui des broyages répétés, parfois un peu moins impactant, parfois un peu plus selon les indicateurs considérés, sauf pour l'utilisation d'eau pour lequel l'impact est clairement plus élevé. Cette méthode est donc, comme les broyages répétés, un scénario très intéressant, avec des impacts peu importants et une incertitude moindre que pour l'application de glyphosate. L'impact de production de l'agent moussant (APG) est le principal responsable des impacts pour l'étape d'utilisation. Des recherches pour sélectionner un fournisseur de cette substance qui serait produite à base d'ingrédients moins impactants permettrait de réduire les impacts en lien avec cette méthode. Le déplacement des opérateurs est également un contributeur important, montrant à nouveau l'intérêt de sélectionner des entreprises locales.

L'injection de vapeur, dont l'efficacité contre les renouées à long terme n'est pas encore connue, est la méthode qui a le plus d'impact parmi celles évaluées dans cette étude. L'impact environnemental est majoritairement dû à la combustion du diesel pour la mini-pelle, le moteur de la remorque (pompe) et surtout pour les chaudières produisant la vapeur. Cette méthode étant moins mature que d'autres méthodes évaluées, on peut espérer des améliorations dans le futur, tant dans la réduction du nombre de traitements en fonction de l'efficacité de lutte (la présente étude considère 4 interventions sur les 3 premières années, combinées avec un arrachage manuel), que dans l'efficacité des opérations (rapidité de l'intervention, quantité de vapeur utilisée) ou encore dans les équipements (chaudière plus efficace, utilisation d'un autre combustible pour produire la vapeur). En réduisant le nombre d'interventions à 2 au lieu de 4, les impacts diminueraient de 40 à 50% selon les indicateurs, rendant cette méthode similaire à meilleure que l'excavation, mais toujours clairement plus impactante que les autres méthodes de lutte.

Les coûts sur 10 ans de ces six méthodes de lutte présentent des tendances très similaires à celles de l'impact sur l'environnement : la méthode la plus onéreuse est l'excavation, avec des coûts de 280.- SFr./m² (estimation indicative), suivies par les fauches répétées à 75.- SFr./m², le désherbage *Ecosystem* à 22.- SFr./m² et les broyages répétées à 21.- SFr./m², alors que l'application foliaire d'herbicide est la méthode la moins chère avec un coût de 15.- SFr./m². Les coûts pour l'injection de vapeur n'ont pas été estimés, cette méthode étant encore en phase de test.

En ce qui concerne l'excavation, 80% des coûts sont liés au transport et à la mise en décharge du sol contaminé, alors que les coûts de la phase de chantier sont tout à fait concurrentiels ; il est donc nécessaire de trouver des alternatives au transport et à la mise en décharge du sol contaminé (p.ex. traitement *in situ*).

À la suite des résultats de cette étude, la décision de ne pas intervenir (variante « no action ») pourrait sembler la meilleure solution au niveau des impacts environnementaux et des coûts de gestion. Pour des raisons méthodologiques, cette variante n'a pas pu être incluse dans l'analyse ACV. Cependant, le bilan des milieux naturels atteints montre que cette décision détermine des pertes significatives de valeur biologique (de l'ordre de 10% à 80% en 10 ans suivant les types de milieux). La décision de ne pas intervenir doit donc se baser non seulement sur des critères d'ordre économique (augmentation des coûts de gestion ou de dégâts), mais aussi sur la base de la perte de valeur biologique des milieux naturels ou semi-naturels atteints.

Zusammenfassung

Der Japanische Staudenknöterich (*Reynoutria japonica* Houtt.) zählt gemäss „Internationaler Union zur Bewahrung der Natur“ (IUCN) zu den 100 weltweit schlimmsten invasiven gebietsfremden Arten. Die Bekämpfung und Eindämmung ist äusserst schwierig und aufwendig. Ebenso problematisch verhalten sich die beiden nahverwandten invasiven Neophyten Sachalin- und Bastard-Staudenknöterich (*R. sachalinensis* und *R. x bohemica*).

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Umwelt-Auswirkungen von sechs Bekämpfungsmethoden miteinander zu vergleichen. Bei den untersuchten Methoden gibt es Methoden die bereits in der Schweiz weithin angewendet werden aber auch welche, die noch in der Testphase sind. Für diese müssen die entsprechenden Effizienz und Umweltauswirkungen in Zukunft noch bestätigt werden, erst wenn eine vollständigere Erfahrung zur Verfügung stehen wird. Zur methodischen Anwendung kommt der standardisierte LCA-Ansatz (= *Life cycle assessment* oder Ökobilanz) unter Berücksichtigung der folgenden Indikatoren: Treibhausgasemission, Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch, Ökosystemqualität, menschliche Gesundheit, Umweltbelastungspunkte (UBP). Die Ergebnisse sind folgend zusammengefasst:

Ausbaggern hat zum einen aufgrund der entstehenden Materialtransporte und zum anderen hauptsächlich aufgrund der Ablagerung grosser Mengen knöterichbelasteten Materials in der Deponie die grösste Belastung auf die Umwelt. Die Benutzung des Baggers bewirkt im Vergleich zu den anderen Bekämpfungsmethoden weniger Belastung.

Wiederholter Schnitt (6 Mal pro Jahr, während 10 Jahren): Über den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren ergibt diese Methode eine fünf Mal höhere Treibhausgasemission als bei der Herbizid-Anwendung. Die Umweltbelastung dieser Methode entsteht insbesondere durch die An- und Rückfahrt der Arbeiter und den Abtransport der Grünabfälle und nicht durch den Einsatz der Motorsense vor Ort. Um die Auswirkung dieser Bekämpfungsmethode zu vermindern, müssten daher die zurückgelegten Weg- und Transportstrecken optimiert werden (Einsatz lokaler Unternehmer, minimieren der Entsorgungstrecken).

Herbizid-Anwendung (Blattapplikation mit Glyphosat): diese Bekämpfungsmethode zeigt entsprechend der aktuellen LCA-Bewertung die geringste Umweltbelastung. Dieses Resultat ist jedoch mit einer entscheidenden Unsicherheit behaftet, weil die Beurteilung der Toxizität von Glyphosat auf die menschliche Gesundheit, seit einigen Jahren angezweifelt wird. Gemäss einiger Studien kann diese bis 1'000 Mal höher sein als im vorliegenden Bericht angenommen. Es ist möglich, dass auch die Ökotoxizität bis heute unterschätzt ist und deswegen die vorliegenden Resultate durch diese potenzielle Unterschätzung beeinflusst sind. Zusätzlich fehlt eine Bewertung der nach einer Anwendung von Glyphosat freigesetzten Metaboliten. Aufgrund dieser Unsicherheiten sind die Resultate der Herbizid-Anwendung nur bedingt aussagekräftig.

Der wiederholte Zerkleinerungsschnitt (mit Mulchmäher) hat eine mittlere Belastung. Diese ist viel weniger gross als bei Wasserdampfinjektionen und Ausbaggern, etwas kleiner als bei Wiederholtem Schnitt und ähnlich der Unkrautbehandlung *Ecosystem*. Die Umweltbelastung dieser Methode liegt hauptsächlich in den Arbeitsfahrten der Bearbeiter, wohingegen die Umweltbelastung der Mäher relativ schwach ist. Dieses Szenarium ist sehr interessant, aufgrund der beschränkten Belastung; zudem, im Vergleich zu einer Glyphosat-

Anwendung, hat dieses weniger Unbekannte bezüglich der bedingten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und der Ökotoxizität.

Die Belastung bei der Unkrautbehandlung Ecosystem ist jene der Methode Wiederholter Zerkleinerungsschnitt ähnlich; grösstenteils ist die Belastung weniger gross, aber deutlich grösser in Bezug auf den Wasserverbrauch. Dieses Szenarium ist sehr interessant, aufgrund der beschränkten Belastung und der verminderten Unbekannten im Vergleich zu einer Glyphosat-Anwendung. Hauptverantwortlich für die Belastung in der Anwendungsphase ist der Schaumstoff (APG). Die Suche nach einem Schaumstoffhersteller mit weniger belastenden Zutaten könnte die Umweltbelastung dieser Methode entschärfen. Die Auswirkung der Fahrten ist ebenfalls von Bedeutung, deshalb wäre der Einsatz von lokalen Unternehmern von Vorteil.

Die Methode Wasserdampfinjektion, wovon die langfristige Wirksamkeit bei der invasiven Knöterichbekämpfung weniger bekannt ist, hat die grösste Belastung gezeigt, bei den in der vorliegenden Studie beurteilten Methoden. Die Umweltbelastung ist hauptsächlich durch den Treibstoffkonsum der Maschinen verursacht. Es gibt wenige Erfahrungen bei dieser Methode. In Zukunft sind deswegen Optimierungen anzustreben, sowohl hinsichtlich der Anzahl der Behandlungen in Bezug auf das Wirkungsgrad (die vorliegende Studie hat während den ersten 3 Jahren 4 Behandlungen kombiniert mit manuelles Jäten betrachtet) als auch bezüglich der Effizienz (Behandlungszeiten, benötigte Dampfmenge) oder bezüglich des Materials (effizienterer Heizkessel, alternatives Treibstoff für die Dampfherstellung). Falls man die jährliche Behandlungseingriffe von 4 auf 2 zurücksetzen könnte, könnte die Belastung je nach Indikator von ca. 40-50% vermindert werden. In diesem Fall wäre die Belastung dieser Methode gleich gross oder weniger als das Ausbaggern, aber trotzdem grösser als die der anderen untersuchten Methoden.

Die Kosten für eine Bekämpfungsdauer über 10 Jahren zeigt bei den sechs untersuchten Methoden ein ähnliches Muster wie bei der Umweltbelastung: die teuerste (SFr. pro Quadratmeter Knöterich-Fläche) ist das Ausbaggern mit 280 SFr./m². Folgen der wiederholte Schnitt mit Kosten von 75 SFr./m², die Unkrautbehandlung Ecosystem mit 22.- SFr./m² und der wiederholter Zerkleinerungsschnitt mit 21.- SFr./m². Die Herbizid-Anwendung ist die günstigste Methode mit 15 SFr./m². Die Kosten für die Wasserdampfinjektion wurden nicht abgeschätzt, da diese Methode noch in der Test-Phase ist. Beim Ausbaggern entfallen 80% der Kosten auf Transport und Entsorgung des biologisch belasteten Materials, währendem die Kosten auf der Baustelle vergleichbar mit jenen der anderen Methoden sind. Für die Ausbaggern-Methode, beide LCA- und Kosten-Analyse zeigen, dass in Zukunft alternative Ansätze zum Transport und der Entsorgung in der Deponie, wie die Behandlung des Materials vor Ort z.B. mittels Aus-sieben angewendet werden müssen.

Aus methodischen Gründen konnte die Variante Bekämpfungsverzicht „no action“ in der LCA-Analyse nicht implementiert werden. Eine Ausbreitung der Knöterichbestände hätte für die Bilanz der Biotopwerte einen signifikanten Verlust zur Folge (innerhalb von 10 Jahren je nach Lebensraum von 10% bis zu 80%). Bei einem Bekämpfungsverzicht muss daher nicht nur der ökonomische Aspekt (Anstieg der Unterhalts- und Wiederherstellungskosten), sondern auch der Verlust der Biotopwerte berücksichtigt werden.

Riassunto

Il poligono del Giappone (*Reynoutria japonica* Houtt.) e i suoi congeneri esotici (*R. sachalinensis* (F. Schmidt), *R. X bohemica*) sono considerati tra le 100 neofite più invasive e dannose al mondo. La lotta per contrastare la loro diffusione è molto difficile e onerosa.

Lo scopo di questo studio è di confrontare sei metodi di lotta dal punto di vista del loro impatto sull'ambiente, mediante un approccio standardizzato di tipo "analisi del ciclo di vita" (ACV). Tra i metodi selezionati, vi sono sia metodi affermati e frequentemente utilizzati in Svizzera, ma anche metodi ancora in fase di test. Per questi ultimi, la relativa efficacia e il loro impatto sull'ambiente dovranno essere oggetto di una convalida in futuro, quando vi sarà una prospettiva più completa. I risultati riguardano diversi indicatori: emissione di gas a effetto serra, consumo di risorse, utilizzo di acqua, impatto sulla qualità degli ecosistemi o sulla salute umana, punti di impatto ambientale (PIA, o UBP « *Umweltbelastungspunkte* ») e possono essere sintetizzati come segue:

Lo scavo è il metodo che a l'impatto maggiore per tutti gli indicatori studiati a causa del trasporto e soprattutto della messa in deposito di grandi quantità di suolo contaminato dai rizomi. L'impiego dell'escavatore in cantiere contribuisce in misura relativamente contenuta agli impatti ambientali. Questi risultati suggeriscono che è necessario trovare alternative valide al trasporto e al deposito in discarica, grazie ad esempio al trattamento *in situ* del materiale di scavo (vagliatura).

Lo sfalcio intensivo (6 volte all'anno per una durata di 10 anni) implica l'emissione di gas a effetto serra in misura 5 volte superiore rispetto all'applicazione fogliare di erbicidi (glifosato). Gli impatti sono dovuti non tanto all'impiego dei decespugliatori, quanto piuttosto al trasporto degli operatori e dei residui di sfalcio. Per diminuire l'impatto di questo metodo di lotta occorrerebbe ottimizzare i tragitti (imprese rigorosamente locali, filiere di smaltimento brevi).

L'applicazione fogliare di erbicida (glifosato) è il metodo che causa il minore impatto ambientale secondo i dati standardizzati attuali, ma è anche quello che presenta le maggiori incertezze.

Infatti, vi sono grandi incertezze concernenti la tossicità del glifosato sulla salute umana, che secondo alcuni studi dovrebbe essere considerata fino a 1'000 volte più elevata rispetto ai valori implementati attualmente nell'analisi ACV. È possibile che anche l'ecotossicità sia sottostimata ad oggi e che i risultati qui presentati siano associati ad ulteriori incertezze. Infine, la valutazione dei metaboliti provenienti dal glifosato non è inclusa nel presente studio e potrebbe pure influire sui risultati, aumentando la tossicità e l'ecotossicità di questo metodo di lotta. Per tutti questi motivi, i risultati ottenuti per l'applicazione fogliare di erbicida sono da prendere in considerazione con prudenza. Una ricerca più approfondita sarebbe necessaria al fine di ridurre le incertezze.

La trinciatura intensiva (tarup) presenta un impatto di media entità, nettamente meno elevato rispetto all'iniezione di vapore o allo scavo, leggermente inferiore allo sfalcio intensivo, e analogo all'ecodiserbo. L'impatto è dovuto essenzialmente al trasporto degli operatori, mentre l'impatto del tarup è relativamente basso. Si tratta di uno scenario molto interessante, poiché il suo impatto è relativamente basso, mentre i risultati per quanto riguarda la salute umana e la qualità degli ecosistemi presentano meno incertezze rispetto all'applicazione del glifosato.

L'ecodiserbo (*Ecosystem*) presenta un impatto simile alla trinciatura intensiva, leggermente più impattante o meno impattante di questa a seconda degli indicatori considerati, ad eccezione del consumo di acqua per il quale l'impatto è significativamente più elevato. L'impatto della produzione dello schiumogeno (APG) risulta come il principale responsabile dell'impatto per la fase di utilizzo; la ricerca per selezionare un fornitore di questa sostanza che potrebbe essere prodotta a base di ingredienti meno impattanti permetterebbe di ridurre gli impatti di questo metodo. Il trasporto degli operatori contribuisce pure in maniera rilevante all'impatto, evidenziando ancora una l'interesse di scegliere imprese locali.

L'iniezione di vapore nel suolo, la cui efficacia nella lotta contro i poligoni a lungo termine non è ancora nota, è il metodo che presenta il maggiore impatto tra quelli indagati in questo studio. L'impatto ambientale è soprattutto dovuto alla combustione di diesel per il funzionamento del mini-scavatore, del motore del rimorchio (pompa) e delle caldaie impiegate per la produzione di vapore. Le esperienze relative a questo metodo sono meno consolidate rispetto agli altri, pertanto è auspicabile un'ulteriore ottimizzazione in futuro, sia in termini di numero di interventi in funzione dell'efficacia della lotta (al momento sono stati considerati quattro interventi nei primi 3 anni, combinati con l'estirpazione manuale), sia in termini di efficacia delle operazioni (rapidità di intervento, quantità di vapore utilizzato,) o ancora dell'equipaggiamento (caldaia più efficace, impiego di un combustibile alternativo per produrre vapore). Ipotizzando una riduzione del numero di interventi da 4 a 2, l'impatto ambientale diminuirebbe da 40 a 50% a seconda degli indicatori, rendendo questo metodo simile o migliore dello scavo, ma comunque più impattante rispetto agli altri metodi di lotta testati.

I costi su 10 anni di questi sei metodi di lotta presentano tendenze molto simili a quelle dell'impatto ambientale: il metodo più oneroso è lo scavo, con 280.- SFr./m², seguito dallo sfalcio intensivo con 75.- SFr./m², dall'ecodiserbo con 22.- SFr./m² e dalla trinciatura intensiva con 21 SFr./m², mentre l'applicazione fogliare di erbicida è il metodo meno caro con 15.- SFr./m². La stima dei costi per l'iniezione di vapore, metodo ancora in fase di test, non è stata effettuata. Per quanto riguarda lo scavo, 80% dei costi sono legati al trasporto e alla messa in deposito del suolo contaminato, mentre i costi della fase di cantiere sono concorrenziali rispetto a quelli degli altri metodi di lotta; è dunque necessario trovare delle alternative al trasporto e al deposito in discarica del suolo contaminato (trattamento *in situ*).

Alla luce dei risultati di questo studio, la decisione di non intervenire (variante «no action») potrebbe sembrare la migliore soluzione a livello di impatto sull'ambiente e di costi di gestione. Per motivi metodologici, non è stato possibile includere questa variante nell'analisi ACV. Tuttavia, il bilancio degli ambienti naturali invasi dal poligono indica che questa decisione implica perdite significative di valore biologico (dell'ordine di 10 a 80% in 10 anni a seconda del tipo di ambiente). La decisione di non intervenire dovrebbe quindi basarsi non solo su criteri di ordine economico (aumento dei costi di gestione o dei danni) ma anche sulla base della perdita di valore biologico degli ambienti invasi.

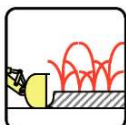
1 Introduction

1.1 But

Le but de cette étude est de comparer du point de vue de leur impact sur l’environnement les six méthodes de lutte contre les renouées exotiques, les plus couramment utilisées en Suisse et dont l’efficacité est bien connue grâce à des études et expériences de longue durée (sauf pour la méthode d’injection de vapeur), en tenant compte de l’efficacité et des coûts :



Fauches répétées (fauchage intensif de longue durée)



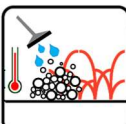
Excavation et mise en décharge du sol contaminé



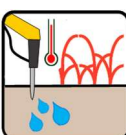
Application foliaire de produit phytosanitaire (glyphosate)



Broyages répétés



Désherbage *Ecosystem*



Injection de vapeur

Pour l’évaluation de l’impact sur l’environnement des méthodes de lutte, une étude de type *analyse du cycle de vie* (ACV ou *life cycle assessment*, LCA) a été réalisée.

1.2 Contexte de l’étude

Les renouées exotiques, telles que la renouée du Japon (*Reynoutria japonica* Houtt.), la renouée Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt)), ainsi que leur hybride *Reynoutria X bohemica*, comptent parmi les 100 espèces néophytes les plus envahissantes et les plus nuisibles au monde [20], [36]. Introduites en Suisse entre 1823 et 1863 [21], les renouées exotiques se sont naturalisées en formant des populations denses représentant une menace pour la biodiversité et engendrant des coûts importants dans le cadre de la gestion des cours d’eau, des infrastructures, des espaces verts ainsi qu’en agriculture. Elles sont inscrites dans la liste noire des néophytes envahissantes de Suisse [21], ainsi que dans la liste des organismes exotiques envahissants interdits selon l’Ordonnance sur la dissémination dans l’environnement (ODE, RS 814.911). Les renouées se reproduisent presque exclusivement de manière végétative, par croissance des rhizomes ; elles possèdent en outre une capacité de régénération végétative très efficace, même à partir de petits fragments de tiges ou de rhizomes (1-2 cm). Leur diffusion est liée essentiellement à l’accroissement des massifs (jusqu’à 1 m par an en conditions favorables) et par transports naturels de parties de plante (emportées par les rivières) ou causés par l’homme (transports de terre, de compost, dépôts de terre, dépôts de déchets de jardins, etc.).

La lutte contre les renouées exotiques est très onéreuse. Elles sont difficiles à éliminer car une seule plante développe des rhizomes dans un rayon de 3 à 7 m autour d'elle et jusqu'à une profondeur d'environ 3 m. La destruction de la partie aérienne n'affecte pas de façon définitive la partie souterraine. Depuis quelques décennies, les méthodes de lutte (p.ex. produits phytosanitaires, lutte mécanique) contre la renouée du Japon et ses congénères exotiques font l'objet de nombreuses études scientifiques et publications orientées vers la pratique, surtout en ce qui concerne leur efficacité par rapport aux coûts [3], [6], [13].

Cependant, il n'existe pas à présent de données permettant de comparer de façon objective les différentes méthodes de lutte - considérées comme faisant partie des meilleures pratiques - selon une approche d'écobilan (ou *analyse de cycle de vie*, ACV), c'est-à-dire une approche qui ne considère pas l'efficacité et les coûts de la lutte comme seuls critères d'évaluation stratégique, mais plutôt son impact sur l'environnement.

Une première étude a été réalisée en 2018 sur les trois premières méthodes de lutte (fauches répétées, excavation et mise en décharge du matériel contaminé, et application foliaire de produit phytosanitaire). En 2019, les trois nouveaux scénarios ont été ajoutés à l'étude (broyages répétés, désherbage *Ecosystem* et injection de vapeur). Le rapport publié en 2018 a donc été mis à jour pour intégrer ces trois nouvelles méthodes.

2 Promotion de l'étude, financement et organigramme

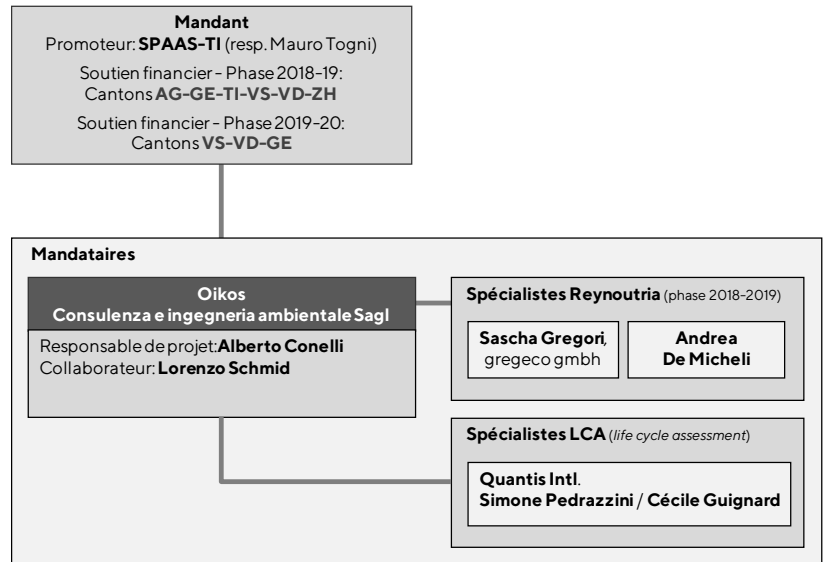
Phase précédente (2018-2019)

Une première phase de cette étude a été promue en 2018-2019, concernant les 3 premières méthodes de lutte (excavation, fauches répétées, herbicide), par SPAAS-TI (Sezione protezione aria acqua suolo - Dipartimento del territorio, Repubblica e Cantone Ticino, resp. Dr. Mauro Togni), avec le soutien financier des Cantons d'Argovie, Genève, Vaud, Valais et Zürich. Le mandat a été octroyé au bureau d'écologie Oikos Sagl de Bellinzona. L'étude a été réalisée en 2019 avec une équipe pluridisciplinaire (Fig.1), composée des spécialistes externes suivants: Sascha Gregori (gregeco gmbH, Domat/Ems), Andrea De Micheli (Zürich), ainsi que le bureau Quantis (Lausanne/Bellinzona), spécialisé en analyses de cycle de vie (resp. Simone Pedrazzini, Cécile Guignard).

Phase courante (2019-2020)

La présente phase de l'étude constitue la poursuite de la phase 2018-2019 ; elle concerne l'étude de 3 méthodes supplémentaires de lutte (broyages répétés, désherbage *Ecosystem* et injection de vapeur). Le promoteur est toujours SPAAS-TI (resp. Dr. Mauro Togni), avec le soutien financier des Cantons de Vaud, Valais et Genève. L'équipe de réalisation du rapport est composée par le bureau Oikos Sagl et Quantis (Lausanne/Bellinzona, resp. Simone Pedrazzini, Cécile Guignard).

Fig. 1 Structure du groupe de travail.



3 Méthodes

3.1 Définition et déroulement de l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV, en anglais LCA pour *Life cycle assessment*) est une méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040 [22] et 14044 [23]) permettant de réaliser des bilans environnementaux (ou écobilans) d'un produit ou d'un service sur l'ensemble de son cycle de vie.

Le but est de connaître et pouvoir comparer les impacts environnementaux d'un système – par exemple l'utilisation des ressources et les conséquences environnementales des émissions – tout au long de son cycle de vie, de l'extraction et de l'acquisition de la matière première, à l'utilisation et à l'élimination finale des déchets (mise en décharge, recyclage) en passant par la production d'énergie et de matière, et la fabrication, l'entretien, et les transports.

Effectué selon la norme internationale ISO 14040 (ISO 14040:2006 [22]), une ACV est structurée en quatre phases:

- I. définition des objectifs et du champ de l'étude : en particulier identification de l'unité fonctionnelle et des principales données du cycle de vie nécessaires au projet, calendrier et organisation interne ;
- II. inventaire du cycle de vie (ICV) : collecte itérative de données partant des informations disponibles ;
- III. évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV) : réalisation du modèle d'analyse, interprétation des résultats, identification et collecte des éventuelles données manquantes ;
- IV. finalisation de l'analyse, préparation des livrables finaux.

La norme ISO définit en outre des critères de qualité, qui comprennent la revue critique des résultats, par exemple par un spécialiste non impliqué dans l'étude.

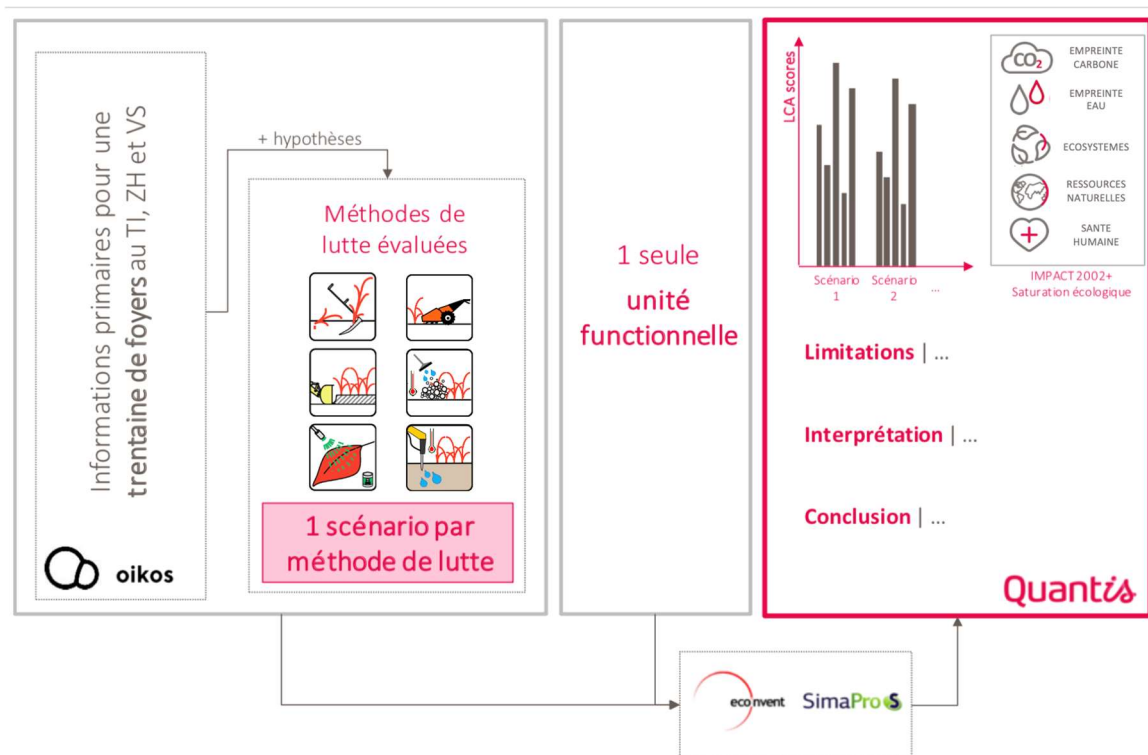


Fig. 2 Schéma du déroulement de l'ACV.

Dans le cadre de ce projet, la revue critique n'a pas été conduite : la présente étude est en effet une ACV simplifiée. Une étude plus détaillée accompagnée d'une revue critique pourrait être une suite possible selon l'intérêt des parties prenantes. Elle permettrait de renforcer la crédibilité de l'étude et d'en communiquer largement les résultats.

3.2 Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est une des composantes centrales de l'ACV : il s'agit de l'unité de référence pour laquelle l'analyse de cycle de vie est réalisée et les résultats présentés. Elle permet de comparer sur une base uniforme les différents produits ou processus étudiés - dans le cas présent, les différentes méthodes de lutte contre les renouées [10]. Voici quelques exemples d'unité fonctionnelle : « une tonne de marchandises transportée sur un kilomètre », « un kilogramme de haricots cuits », « mille litres d'eau minérale mis en bouteille dans le dépôt de boissons régional », ou encore « un mètre carré de tapis aspiré » [10]. Dans le cadre de la présente étude, il a été nécessaire de définir l'unité fonctionnelle suivante pour pouvoir comparer de façon uniforme les six méthodes de lutte contre la renouée :

Unité fonctionnelle = « 200 m² de sol infesté par la renouée (*Reynoutria* spp.) qui est durablement ramené à 5% de couverture maximum à la surface du sol ».

Il a été défini que 10 ans de traitements et/ou contrôle sont nécessaires pour les différentes méthodes de lutte évaluées afin d'atteindre ces 5% de couverture durablement (sans risque de nouvelle expansion). La surface envahie par la renouée a été fixée à 200 m² : il s'agit d'une valeur médiane issue d'une enquête sur environ 40 sites envahis par la renouée connus (cf. Tab. 1).

La variante de ne pas intervenir (= variante *no action*) ne peut pas être incluse dans l'analyse car elle ne peut pas se référer à la définition d'unité fonctionnelle décrite ci-dessus. Pour cette raison, elle fait l'objet d'une évaluation à part (chapitre 4.3).

3.3 Collecte de données

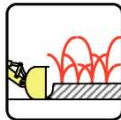
Indépendamment de la méthode de lutte choisie, tous les scénarios étudiés impliquent des déplacements routiers avec différents types de véhicules. Dans le but de disposer d'une base commune et homogène pour l'estimation des km effectués et surtout de valeurs plausibles, nous avons collecté des données concernant la position des sites envahis par la renouée connus au Tessin, ainsi que dans les cantons ayant participé à l'étude, grâce à l'envoi d'un formulaire en format électronique (Excel). Les données collectées ainsi que les valeurs retenues pour l'ACV sont présentées dans l'Annexe 2 et synthétisées dans le Tab. 1. Dans le cas-type retenu, la distance moyenne entre le site traité et l'usine d'incinération la plus proche est de 32 km, alors que celle entre le site et la décharge de type B la plus proche est de 47 km (Tab. 1). Les valeurs de distance tessinoises étant généralement plus importantes que dans les autres cantons à cause probablement des caractéristiques du territoire, elles ont été retenues pour l'ACV dans une perspective conservatrice (Tab. 1).

Les déplacements effectués par les opérateurs des entreprises pour atteindre les sites envahis dépendent de plusieurs facteurs, difficiles à estimer pour définir le cas-type. Les interventions de lutte (excavation, fauches, application foliaire) sont généralement effectuées par des entreprises présentes dans le même canton que le site envahi, mais il arrive fréquemment que l'entreprise mandatée pour la réalisation du travail ne soit pas celle qui est située à la plus petite distance du site à traiter. Nous avons donc estimé qu'une distance de 50 km (100 km aller-retour), légèrement supérieure à celle choisie pour le trajet vers la décharge, pourrait être représentative de la réalité. Cette valeur arrondie a été retenue pour toutes les méthodes de lutte étudiées, tout en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'un paramètre qui pourrait faire l'objet d'un approfondissement si l'analyse montre que sa contribution à l'impact global d'une méthode de lutte est significative.

Tab. 2 Données concernant les déplacements retenues pour l'ACV.

Paramètre	moyenne TI (N = 29)	médiane TI (N = 29)	moyenne ZH-VS (N = 9)	médiane ZH-VS (N = 9)	moyenne totale (N = 38)	médiane totale (N = 38)	min. (N = 38)	max. (N = 38)	Valeurs retenues
Surface renouée [m ²]	680	<u>200</u>	408	200	615	<u>200</u>	6'000	10	200 m²
Dist. site-UIOM [km]	<u>32</u>	32	23	26	30	29	51	12	32 km (A-R = 64 km)
Dist. site-décharge [km]	<u>47</u>	42	24	25	42	35	83	8	47 km (A-R = 94 km)
Dist. site-entreprise [km], estimation	-	-	-	-	-	-	-	-	50 km (A-R = 100 km)

3.3.1 Excavation et mise en décharge du sol contaminé.



Le traitement mécanique du sol est l'une des méthodes de lutte les plus efficaces, très utilisée en Suisse lorsque l'application de produits phytosanitaires n'est pas possible (biotopes, cours d'eau) et lors de chantiers qui requièrent une solution à très court terme [2],[3],[6]. La description détaillée de la méthode s'inspire essentiellement de la procédure développée dans le Canton de Zurich, ainsi que d'expériences menées par les auteurs dans les Cantons du Tessin, de Zürich et des Grisons.

Il s'agit d'intervenir « *una tantum* » en arrachant à la pelle mécanique l'ensemble de la plante et des rhizomes, en creusant sur une largeur et une profondeur suffisantes le sol et le sous-sol colonisé par les rhizomes et en éliminant le matériel d'excavation. La surface est délimitée pendant la saison végétative en tenant compte d'une zone de sécurité d'environ 2 à 3 mètres autour des plantes visibles (Fig. 3). On procède, la plupart du temps en hiver, à l'excavation mécanique du foyer avec un excavateur sur une profondeur variable : jusqu'à presque 2 m dans la zone centrale la plus profonde.

Le sol (horizon A) et les résidus végétaux sont évacués vers une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) pour l'incinération alors que l'horizon B et le sous-sol minéral sont mis en dépôt dans une décharge de type B (anciennement décharges contrôlées pour matériaux inertes). Pendant les années suivantes (année 2 à 10), il faut prévoir des contrôles réguliers.

Voici le déroulement détaillé des opérations :

Année 1

- Transport de la pelle excavatrice par camion (>32 t) sur 100 km (A-R).
- Déplacement des travailleurs : 3 jours de travail considérés (le temps de travail varie entre 8 et 42 h, soit de 1.3 à 7 jours si l'on considère des journées de 6h/j, mais le type d'équipement utilisé permet dans la très grande majorité des cas de réaliser le travail rapidement c'est pourquoi 3 jours est considéré dans cette étude), 100 km (A-R) par déplacement en camionnette à pont.
- Production et fin de vie de la pelle excavatrice : 18 tonnes en moyenne (Tab. 2) ;
- Utilisation de la pelle excavatrice : consommation de 300 l de diesel (Tab. 2);
- Volume total excavé : 400 m³ dont 5% partent en UIOM et 95% en décharge pour matériaux d'excavation.
- Transport du matériel d'excavation en camion de 13 m³ : 2 trajets vers l'UIOM (64 km/trajet) et 30 trajets vers la décharge (92 km/trajet) ;
- Incinération de 5% des 400 m³ excavés (dont 1 t biomasse fraîche considérée sur la base du scénario de fauches répétées), sans récupération d'énergie : le matériel d'excavation est en grande partie inerte (sable, argile) ou humide (biomasse). Pour l'incinération du sol excavé, des données issues de la littérature ont été utilisées pour la composition du sol [33] et un outil Excel fourni par la base de données ecoinvent utilisé pour modéliser les impacts liés à l'incinération du sol [8],[9].
- Mise en décharge de 95% du volume excavé. Une densité de 1.7 t/m³ est considérée dans le scénario de base (la densité varie entre 1.3 et 2.1 t/m³).

Années 2 à 10

- 2 visites de contrôle par année avec un déplacement de 100 km en camionnette à pont par contrôle. Une très faible quantité de biomasse est récoltée lors des contrôles (négligé dans l'étude).

Tab. 2 Temps de travail et consommation de diesel suivant le type de pelle excavatrice. Légende : Cons. = consommation ; * les heures de travail indiquées sont issues de données réelles, ajustées pour les rapporter à une excavation de 400 m³ (cas théorique cible). Source de données: entreprises privées (AFOR - Azienda Forestale Regionale Valle di Muggio, Sagno, Poncetta SA, Bignasco, Rigassi e Pinchetti SA, Lodrino, Mario Martinetti SA, Figino).

Modèle pelle excavatrice	Puissance [kW]	Poids [kg]	Cons. horaire moyenne [l diesel/h]	Heures de travail* [h]	Cons. totale exc. 400 m ³ [l diesel]
Excavateur rampant Euromach R 653	85	9'000	8.5	42	357
Pelle sur chenilles Liebherr R 906	105	25'000	20.0	17	340
HITACHI Zaxis 180W	110	18'500	20.0	16	320
Pelle sur pneus CAT M318 D	124	18'800	12.0	8	96
				Moyenne:	278
				Mediane:	330
				Valeur retenue LCA	300

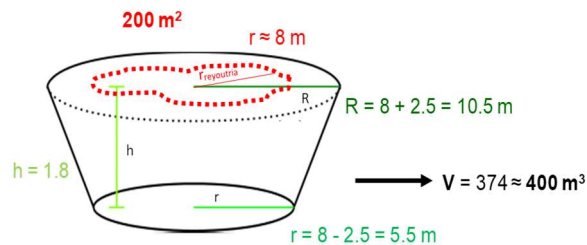


Fig. 3 Excavation d'un foyer de renouée du Japon de 200 m². À droite : schéma pour l'estimation du volume excavé (400 m³).

3.3.2 Fauches répétées (fauchage intensif de longue durée)



Le fauchage intensif, 6 fois par an, est considéré comme une méthode alternative à l'utilisation d'herbicide, surtout parce qu'en principe il n'y a pas de limitation d'application (ORRPChim). Pour apercevoir les premiers résultats, il faut plus de temps qu'avec les autres méthodes de

lutte : les deux premières années représentent le plus de travail (biomasse maximale), et les premières fauches de l'année sont très productives ; après deux ans la biomasse décroît. En 4 ans, le fauchage permet de réduire de façon significative la biomasse en surface ; cette réduction est quantifiée dans le cadre de l'étude « *Pilotversuch* » de l'OFEV entre -70 et -84% [3], [13]. Dans le cadre de cette étude, nous avons fait l'hypothèse qu'avec cette méthode il est possible en 10 ans de ramener la couverture végétale de renouée à moins de 5% (cf. notion d'unité fonctionnelle, chapitre 3.2).

Le déroulement du fauchage est décrit en détail en [3] et [13]. La surface est fauchée par une équipe « minimale » composée d'un opérateur avec une débroussailleuse 2 temps et un opérateur qui s'occupe de la récolte manuelle des résidus. Les résidus de fauche sont évacués vers une UIOM et incinérés. Le tout est répété 6 fois par année pendant 10 ans. Voici une synthèse adaptée à la situation d'étude (200 m² de renouée) :

- Déplacement des opérateurs : camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford Transit), 100 km A-R par déplacement ;
- Production et fin de vie des débroussailleuses. Les hypothèses suivantes ont été prises quant à sa composition :
 - 2 kg aluminium / 1 kg d'acier / 5 kg de moteur / 3 kg PE / 1 kg nylon (système d'attache) ;
 - une distribution sur 500 km en camion est considérée (hypothèse) ;
 - la durée de vie est de 10 ans, avec un usage sur 7 mois, 20 jours par mois et 4 heures/jour, soit un total de 5600 heures sur la durée de vie de la débroussailleuse (hypothèse) ;
 - en fin de vie, il est considéré que la débroussailleuse est démantelée et que les pièces métalliques sont recyclées tandis que les pièces en plastique sont incinérées (hypothèse).
- Utilisation des débroussailleuses : consommation moyenne de 1.1 l/h d'utilisation (huile de moteur avec un ratio 1:50).
- Transport de la biomasse récoltée jusqu'à l'UIOM en camionnette à pont
- Incinération de la biomasse (85% d'humidité, pas d'énergie valorisable : l'énergie de la biomasse incinérée est consommée pour l'évaporation de l'eau contenue dans la biomasse).

Tab. 3 Fauchage intensif de 200 m² de renouée : effort annuel et total, ainsi que biomasse de résidus. Modifié d'après [13].

Description	Surface [m ²]	Temps [ans]										Total 10 ans	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nombre interventions	-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60
Effort annuel débroussailleuse [h m⁻²]	1	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.4
Effort annuel débroussailleuse [h]	200	12	12	10	10	8	8	8	8	8	8	8	92
Effort total (2 op., incl. récolte) [h]	200	24	24	20	20	16	16	16	16	16	16	16	184
Biomasse [kg m⁻²]	1	5	4	3.25	2.25	1.5	1.25	1	1	1	1	1	21.25
Biomasse [t]	200	1.00	0.80	0.6	0.45	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	4.25

3.3.3 Application foliaire d'herbicide (glyphosate)



L'application foliaire de glyphosate est considérée comme une des méthodes les plus efficaces dans la lutte contre les renouées exotiques [2], [3], [6], [13]. La surface est préparée par 1 à 2 opérateurs en juin-juillet avec une fauche (à la débroussailleuse, même impact que dans le scénario des fauches répétées mais une seule fois); les résidus végétaux sont évacués vers une UIOM pour l'incinération. Vers la fin d'août, lorsque les rejets de renouée ont une taille optimale pour le traitement (environ 1-1.5 m), un opérateur se rend sur place et procède à l'application foliaire avec un pulvérisateur à dos avec levier de pompage (ex : *Birchmeyer Flox 10*) d'un produit phytosanitaire à base de glyphosate (363 g/l, dilué à 2%). Pendant les années suivantes, il est suffisant de se rendre 2 fois par année avec un opérateur pour traiter les rejets, toujours par application foliaire. La quantité de glyphosate a été estimée sur la base des quantités mesurées dans le cadre de l'étude « *Pilotversuch* » de l'OFEV [3], [13], Tab. 4. L'effort est très réduit dans les années 2 à 10 (Tab. 5). La biomasse est laissée sur place lors des applications.

Tab. 4 Quantité moyenne de glyphosate appliqué pendant les 3 premières années, selon les tests de l'étude « *Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs* » de l'OFEV ([3],[13]). Source des données : [3]. PPS = produit phytosanitaire. Les codes C1, H1, C2-C7 permettent d'identifier le type de traitement selon la nomenclature définie en [3].

Traitement PPS (glyphosate)		1 an	2 an	3 an
C1	Application 2%, pulvérisateur à dos, 1x août	0.20	0.14	0.06
H1	Application 2%, mini-pulvérisateur manuel, 1x août	0.57	0.27	0.11
C2	Application 2%, pulvérisateur à dos, 2x juin-août	0.42	0.15	0.08
C3	Application 2%, pulvérisateur à dos, 2x mai-août	0.39	0.31	0.10
C4	Fauche 1x juin + application 2%, pulvérisateur manuel, 1x août	0.10	0.04	0.04
C5	Fauche 1x juillet + application 2%, pulvérisateur manuel, 1x août	0.10	0.04	0.04
C7	Application 2%, pulvérisateur à dos, 1x août + labourage sol	0.12	0.08	0.09
Moyenne [g/m²]		0.31	0.16	0.08

Tab. 5 Application foliaire de glyphosate sur 200 m² de renouée : effort annuel et total, ainsi que masse de produit actif utilisé (glyphosate). Légende : PPS = produit phytosanitaire. Modifié d'après [3].

Description	Surface [m ²]	Temps [ans]										Total 10 ans	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nombre interventions	-	1 prép.+1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20
Effort annuel opérateurs [h m ⁻²]	1	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.2
Effort annuel opérateur PPS [h]	200	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	32
Effort annuel débroussailleur [h]	200	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
PPS Glyphosate [g m ⁻²]	1	0.31	0.16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.1
PPS Glyphosate [g]	200	62	32	16	16	16	16	16	16	16	16	16	222

Le déroulement de l'application foliaire retenu pour l'ACV est résumé ci-dessous :

Année 1 (fauche préparatoire):

- Déplacement des opérateurs : camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford transit), 100 km A-R pour le déplacement ;
- Production et fin de vie des débroussailleuses (cf. fauches répétées) ;
- Utilisation des débroussailleuses : consommation 1.1 l/h d'utilisation (cf. fauches répétées) ;

- Transport de la biomasse récoltée jusqu'à l'UIOM en camionnette à pont (1 tonne au total, soit 1 trajet) ;
- Incinération de la biomasse (85% d'humidité, pas d'énergie valorisable : l'énergie de la biomasse incinérée est consommée pour l'évaporation de l'eau contenue dans la biomasse).

Années 1 à 10 : application PPS :

- 1 intervention la première année, 2 interventions/an les années 2 à 10 ;
- Déplacement opérateurs en camionnette à pont, 100 km par déplacement ;
- Application du glyphosate : le matériel d'application (pulvérisateur à dos avec levier de pompage) et l'eau de dilution sont négligés pour cette étude simplifiée.
- La production du glyphosate est incluse, ainsi que les émissions dans l'air (1% de la quantité appliquée, « drift »), dans le sol (4.55% de la quantité appliquée) et sur les feuilles (94.45% de la quantité appliquée, Fig. 4). La partie appliquée sur les feuilles est considérée comme une émission dans le sol car le matériel végétal est laissé sur place et va donc être en contact du sol. Une partie pourrait être lessivée dans les eaux de surface en cas de pluie mais ce scénario n'est pas considéré.

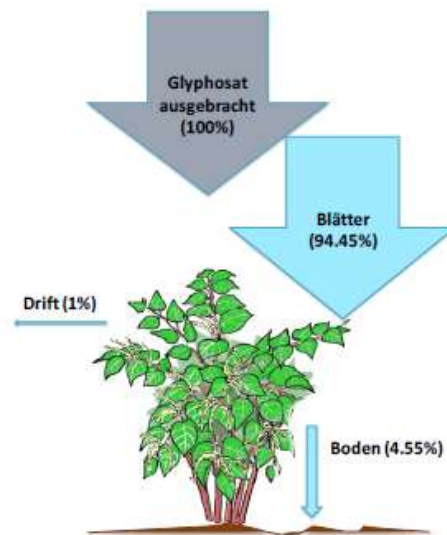


Fig. 4 Répartition en % du glyphosate après application foliaire par pulvérisateur à dos avec levier de pompage. Source: *Pilotversuch* de l'OFEV [3]. À droite : exemple d'application foliaire de glyphosate.

3.3.4 Broyages répétés



Les broyages répétés 6 fois par an constituent une méthode de lutte similaire à la fauche, mais contrairement à celle-ci la biomasse végétale est triturée par l'action du broyeur en petits fragments qui ne seront pas récoltés à la fin du traitement. Du point de vue juridique, le fait de laisser les fragments en place peut être considéré un problème selon l'art. 15 ODE (Ordonnance sur l'utilisation d'organismes dans l'environnement). Cependant, on fait l'hypothèse que le type de broyage utilisé dans le cadre des tests d'efficacité de l'Institut de recherche WSL (Cadenazzo; Pezzatti & Conedera 2019 [31]) produit des fragments de taille insuffisante à la formation de nouvelles plantes. Comme les fauches répétées, cette méthode présente l'avantage qu'il n'y a pas de limitation d'application (ORRChim); cependant, les exigences locales d'accessibilité sont nettement plus contraignantes (pente faible, absence de surfaces irrégulières, absence de plantes ligneuses).

Au niveau de l'efficacité, cette méthode présente un comportement dans le temps très similaire aux fauches répétées : les deux premières années représentent le plus de travail (biomasse maximale), et les premiers traitements de l'année sont plus productifs; après deux ans la biomasse décroît. En ce qui concerne la biomasse, cette méthode est légèrement plus efficace que les fauches répétées car le broyage impacte et endommage aussi les parties basales des plantes dans la zone supérieure du sol, qui ne sont pas affectées par une débroussailluse.

Dans le cadre de cette étude, nous avons fait l'hypothèse qu'avec cette méthode il est possible en 10 ans de ramener la couverture végétale de renouées exotiques à moins de 5% (cf. notion d'unité fonctionnelle, chapitre 3.2). La réduction sur 3 ans est quantifiée dans le cadre de l'étude de WSL [30]).

Fig. 5 Equipement pour les broyages répétés. A gauche, motoculteur, à droite, broyeur « BladeRunner »



Fig. 6 Aspect des résidus après broyage. Compte tenu de leur taille et de leur état, ils sont considérés biologiquement peu actifs (Photo: L.Jelmini).



La surface peut être traitée en principe par un seul opérateur conduisant le broyeur mécanique. Le déroulement des opérations retenu pour l'ACV est résumé ci-dessous :

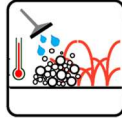
- Premier traitement de l'année 1: un deuxième opérateur est nécessaire, car la biomasse est importante (1'000 kg) à cause des résidus de l'année précédente, et doit être récoltée manuellement. Les résidus sont évacués vers une UIOM avec camionnette à pont et incinérés.

- Les traitements qui suivent sont tous effectués par un seul opérateur avec broyeur mécanique, les résidus pouvant être laissés sur place car biologiquement peu actifs (Fig. 6).
- Déplacement de l'opérateur et de la machine : camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford Transit), 100 km A-R par déplacement ;
- Production et fin de vie du broyeur mécanique (modèle étudié : BCS 750 PowerSafe, équipé de moteur Honda GX390 et outil BladeRunner 75 cm):
 - Moteur Honda type GX390 : 31.7 kg selon fiche technique (http://www.honda-engines-eu.com/documents/10912/16004/TS_GX390).
 - Motoculteur : la masse totale avec moteur est de 112 kg (<https://www.tracmaster.co.uk/products/bcs-740-two-wheel-tractor>), la partie moteur faisant 31.7 kg, le reste pèse 80.3 kg. La composition moyenne d'une machine agricole issue de la base de données générique ecoinvent est considérée en proxy pour le motoculteur.
 - Broyeur BladeRunner 75 cm: 86 kg selon la fiche technique (<http://www.ferrariagri.it/en/product/mowers-53fae23ba2387c182f7b23c7/blade-runner-5437cec5a2387c923a7b23c7>). Sa composition est considérée comme 50% d'acier inox, 40% d'acier et 10% de plastique (hypothèse).
 - Poids total : 198 kg (somme des 3 éléments).
 - Durée de vie : la même hypothèse de durée de vie que pour la débroussailleuse a été faite, soit une utilisation sur 7 mois par année (avril à octobre), 20 jours/mois et 4 heures/jour, ce qui équivaut à 5600 heures sur les 10 années d'intervention.
- Utilisation du broyeur mécanique :
 - 6 broyages par an sur 10 ans
 - L'effort d'engagement ne diminue pas pendant les années : la végétation concurrente est traitée de la même façon que les rejets de renouée
 - Consommation moyenne de 3.5 l/h d'utilisation
 - Temps nécessaire pour traiter 1 fois la surface de 200 m² : 15 minutes.
 - Consommation effective pour traiter 1 fois la surface de 200 m² : 0.8 litres d'essence.

Tab. 6 Broyages répétés de 200 m² de renouée : effort annuel et total, ainsi que biomasse de résidus du traitement préparatoire.

Description	Surface [m ²]	Temps [ans]										Total 10 ans	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nombre traitements par an	-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Effort annuel broyeur [h m ⁻²]	1	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.075
Effort annuel broyeur [h]	200	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	15
Consommation essence [l]	200	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Effort total (1 op.) [h]	200	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
Biomasse [t]	200	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

3.3.5 Désherbage *Ecosystem*



L'application du produit *Ecosystem* (ou *Ecodiserbo System*®, géré au Tessin par l'entreprise *Caminada Sementi SA*, à *Cadempino*) est une méthode d'élimination thermique des mauvaises herbes, alternative à l'application d'herbicide, dont l'efficacité à long terme contre les renouées exotiques est malheureusement encore mal connue. Un test d'efficacité est actuellement en cours à l'Institut de recherche *WSL* (*Cadenazzo*; *Pezzatti & Conedera 2019 [30]*).

Il s'agit d'appliquer un agent moussant d'origine végétale à température élevée (grâce à la vapeur d'eau, entre 105 et 140°C) sur les parties aériennes des plantes (hauteur d'application optimale : environ 30 cm). L'agent moussant, à base d'alkyl-polyglucoside (APG, une famille de substances organiques), présente une biodégradabilité élevée. Dans le cadre des tests menés par le *WSL [30]*, le produit a été appliqué dilué dans de l'eau et à une concentration d'environ 0.5 à 1%. L'appareil *Ecosystem* se compose d'une pompe, d'un moteur diesel type *Honda* série *GX* et d'un compresseur (puissance 11 Hp - 1.500 rpm) montés sur une structure anti-vibration en acier, ainsi que d'un réservoir de 500 litres pour l'eau et un réservoir plus petit pour l'agent moussant. L'application du produit se fait à l'aide d'un diffuseur en lance. La surface à traiter doit être uniformément recouverte par l'émulsion, qui reste au sol pendant quelques minutes après l'application. La mousse a la fonction de créer une "couche thermique" qui prolonge le contact de l'eau chaude avec les parties aériennes des plantes, en limitant sa dispersion par percolation ou évaporation. La mousse se dégrade rapidement sans laisser de résidus persistants. Un opérateur peut traiter de 300 à 400 m² par heure en fonction du degré d'infestation. La consommation d'eau varie entre 1 et 2 litres par m². Pour le cas type d'une surface de 200 m² envahie par de la renouée (avec donc une densité importante de rejets et une hauteur des tiges d'env. 30 cm), nous considérons que pendant les 3 premières années de traitements, 40 minutes d'engagement de la machine sont nécessaires par intervention, ainsi qu'une consommation de 300 litres d'eau. Dès la quatrième année, le temps de traitement et la consommation d'eau diminuent, respectivement à 30 minutes et 200 litres d'eau par intervention.

Le produit doit être appliqué par des conditions météorologiques favorables, sans précipitations pendant les 24 heures suivant l'application. La courbe de dégradation de l'agent moussant APG a été étudiée dans les eaux de percolation d'une surface artificielle traitée (v. analyses *Demetra, 2016*). D'autres données concernant la famille des produits APG sont disponibles dans la littérature (cf. *review in Willing et al. 2004 [35]*). Les résultats montrent une dégradation élevée. À la suite de ces résultats, le Département du territoire du Canton du Tessin a octroyé l'autorisation d'utiliser ce produit sans les limitations mentionnées à l'Annexe 2.5 de l'ORRChim.

Malgré ces tests démontrant la dégradation rapide de l'APG, il a été décidé de modéliser les émissions dans le sol liées à son utilisation. Comme cette substance n'est pas caractérisée dans les méthodes d'évaluation des impacts actuelles, les impacts de son émission dans l'environnement ont été modélisées avec le modèle *USEtox* (<https://usetox.org/>). *USEtox* permet de déterminer dans quel compartiment de l'environnement (eau, air, sol) la substance va se retrouver et en quelle quantité selon ses caractéristiques physico-chimique (taux de dégradation, solubilité, etc.). Une fois ces éléments déterminés et en les combinant avec des tests écotoxicologiques et toxicologiques, le modèle *USEtox* permet de déterminer quel est l'impact sur la biodiversité ainsi que sur la santé humaine lié aux émissions initiales.



Fig. 7 A gauche, équipement pour le désherbage *Ecosystem* (www.caminadasementi.ch) et à droite, application du produit lors de tests d'efficacité (Institut Agroscope Cadenazzo).

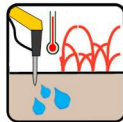
Le déroulement des opérations retenu pour l'ACV est résumé ci-dessous :

- Intervention préparatoire (hiver-printemps de l'année 1) : la biomasse est fauchée à la débroussailleuse. Il s'agit du même travail de fauche préparatoire en année 1 que pour l'application de glyphosate (voir section 3.3.3).
- Interventions *Ecosystem* : 4 interventions de 40 minutes par an pendant les 3 premières années, ensuite 3 interventions/an de 30 minutes. Consommation d'eau : 1.5 l/m² (après les premières 3 années, elle diminue à 1.0 l/m²) ; consommation de carburant : 0.7 l/h diesel, utilisation produit tensioactif (agent moussant) : APG, 0.7% (voir tableau pour les quantités détaillées). De l'eau du robinet est considérée pour la consommation d'eau et l'APG est modélisé en combinant la base de données ecoinvent avec des informations de production de la littérature (Guilbot *et al.* 2013 [14]). Il s'agit d'APG à base d'alcool gras issu de l'huile de palme et d'amidon issu du blé.
- Déplacements de l'opérateur et de la machine : camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford Transit), 100 km par déplacement aller-retour.
- Production et fin de vie de l'équipement *Ecosystem* :
 - Moteur Honda type GX390 : le même moteur que pour les broyages répétés est considéré (hypothèse), soit 31.7 kg
 - Cuve à eau de 500 l : 45 kg HDPE (hypothèse validée par l'entreprise *Caminada Sementi*)
 - Cuve pour le produit APG : réservoir de 25 l, en plastique : 2 kg (donnée *Caminada Sementi*)
 - Structure : le poids de la structure est calculé sur la base du poids total auquel on soustrait le poids des cuves et du moteur, soit 371.3 kg au total. De cela 50 kg de plastique sont considérés, le reste étant estimé comme de l'acier (321.3 kg) (hypothèse validée par l'entreprise *Caminada Sementi*).
 - Poids total : 450 kg (donnée *Caminada Sementi*)
 - Durée de vie : la même hypothèse de durée de vie que pour la débroussailleuse a été faite, soit une utilisation sur 7 mois par année (avril à octobre), 20 jours/mois et 4 heures/jour, ce qui équivaut à 5600 heures pour les 10 années d'intervention.

Tab.7 Application de la méthode de désherbage *Ecosystem* sur 200 m² de surface envahie par la renouée : effort annuel et total, ainsi que masse de produit utilisé (APG).

Paramètre	Surface [m ²]	Temps (ans)										Total 10 ans
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Consommation eau [l/m ²] 1 traitement, 1 m ²	1	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	11.5
Consommation AGP [l/m ²] 1 traitement, 1 m ²	1	0.011	0.011	0.011	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.08
Consommation diesel [l/h] 1 traitement, 1 m ²	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-
Heures de service moteur [h/m ²], 1 traitement, 1 m ²	1	0.0033	0.0033	0.0033	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0275
Nombre traitements par an	-	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	33
Consommation eau [l]	200	1'200	1'200	1'200	600	600	600	600	600	600	600	7'800
Consommation AGP [l]	200	8.4	8.4	8.4	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	55
Consommation diesel [l]	200	1.9	1.9	1.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	13
Heures de service moteur [h]	200	2.7	2.7	2.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	18.5

3.3.6 Injection de vapeur



L'injection de vapeur est une méthode de lutte basée sur la stérilisation thermique profonde du sol. Elle a été mise au point en 2015 par l'entreprise ELTEL SA (Cronay) et est en train d'être testée dans le cadre du projet INTERREG franco-suisse "Stop aux invasives"¹ en collaboration avec l'HEPIA (Haute école du paysage d'Ingénierie et d'Architecture) qui s'occupe du suivi environnemental (impact sur le sol et la végétation). Son efficacité contre les renouées à long terme n'est pas encore connue.

L'équipement prévoit l'engagement d'une mini-pelle excavatrice avec buse modifiée pour l'injection dans le sol de vapeur à haute pression jusqu'à une profondeur importante (sous-sol). Les détails de la procédure de traitement, qui est encore en phase de test, ne sont pas décrits ici.



Fig. 8 Équipement pour l'injection de vapeur dans le sol (ELTEL SA, www.eltel-sa.ch).

Le déroulement des opérations retenu pour l'ACV est résumé ci-dessous :

Année 1

Intervention préparatoire (hiver-printemps de l'année 1) : la biomasse est fauchée à la débroussailluse. Il s'agit du même travail de fauche préparatoire en année 1 que pour l'application de glyphosate (voir section 3.3.3) ou le désherbage *Ecosystem*.

Années 1 à 3

Après la fauche préliminaire, il y a 2 interventions à la vapeur d'eau la première année. Puis une seule intervention les années 2 et 3.

- Interventions : pour une surface de 200 m², il faut compter environ 6 jours de travail (200 m² / 36 m²j⁻¹ = 5.6 j); 1 jour = 6 heures de travail, 33.3 heures de travail par intervention;
- Consommation d'eau (ex: bornes incendie, lacs, étangs): 60'000 l par intervention (1'800 l/h * 6hj⁻¹ * 200 m² / 36 m²j⁻¹ = 60'000 l);
- Consommation de diesel:
 - Mini-pelle: 4 l diesel/h, soit 133 l de diesel par intervention
 - Chaudière: 22.2 l/h, soit 740 l de diesel par intervention
 - Moteur chaudière (pompage entre autres): 8.3 l diesel/h, soit 277 l par intervention.
- Déplacements des opérateurs et des machines: hypothèse de 100 km par déplacement aller-retour. 6 trajets/intervention pour un des deux véhicules (un pour le transport d'une remorque avec mini-pelle, les autres pour le transport des opérateurs), 1 trajet/intervention pour l'autre véhicule restant sur place pour la durée de l'intervention (transport de la remorque avec chaudière). Pour chaque intervention, 2 trajets sont donc considérés avec remorque (un trajet par véhicule) et le reste sans remorque.

¹ <https://www.interreg-francesuisse.eu/beneficiaire/stop-aux-invasives/>

- Production et fin de vie des machines : sur la base des informations collectées par ELTEL SA, la remorque qui contient les chaudières pèse 2.5 t. L'impact de construction et démantèlement est approximé par un véhicule standard et en considérant cette masse. L'impact de la pelle est également estimé au pro rata de sa masse totale et en considérant une pelle excavatrice de la base de données ecoinvent.
- La biomasse est peu importante avant intervention (grâce à la fauche préliminaire et au fait que le premier traitement à la vapeur est fait en début de printemps avant que la biomasse ne devienne importante). Elle est laissée sur place après traitement à la vapeur, sèche et se décompose rapidement de manière aérobie. Aucun impact n'est donc considéré pour cet élément.
- Un certain nombre de visites de contrôle ont lieu ces 3 premières années : 4 visites la première année puis 5 les années 2 et 3. Les visites de contrôle sont considérées de la même manière que les visites de contrôle pour le scénario d'excavation : un déplacement de 100 km en camionnette à pont par contrôle. La biomasse récoltée lors des contrôles est peu importante (75 kg la première année, puis moins de 10 kg par visite). Le transport à l'UIOM est négligé (hypothèse qu'il n'y a pas de trajet dédié) mais l'incinération est considérée la première année. L'incinération est négligée pour les années suivantes où il y a moins de 10 kg de biomasse récoltée.

Années 4 à 10

Dès la quatrième année, il n'y a plus d'injection de vapeur mais des visites de contrôle sont effectuées chaque année.

- Déplacement de 100 km en camionnette à pont par contrôle. Une très faible quantité de biomasse est récoltée lors des contrôles (négligé dans l'étude). Le nombre de visite de contrôle est de 6 les années 4 et 5, puis 2 visites annuelles les années 6 à 10.

NB: le déroulement des opérations retenu pour l'ACV prévoit un nombre relativement élevé d'interventions à la vapeur d'eau (4 au total). Comme l'efficacité de cette méthode vis-à-vis des renouées est encore en train d'être testée, il est possible que le nombre optimal d'interventions puisse être réduit (p. ex. 3 ou 2 interventions, toujours combinées avec un arrachage manuel).

Tab. 8 Application de la méthode d'injection de vapeur sur 200 m² de surface envahie par la renouée: effort annuel et total.

Paramètre	Surface [m ²]	Temps (ans)										Total 10 ans	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Nombre de traitement préliminaire (fauchage)		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Heures de travail [h]	200	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Biomasse enlevée [kg]		1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000
Nombre traitements vapeur par an	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Heures de travail [h]	200	66.7	33.3	33.3	-	-	-	-	-	-	-	-	133
Consommation eau [l]		120'000	60'000	60'000	-	-	-	-	-	-	-	-	240'000
Consommation diesel chaudière [l]		1480	740	740	-	-	-	-	-	-	-	-	2960
Consommation diesel mini-pelle [l]		267	133	133	-	-	-	-	-	-	-	-	533
Consommation diesel moteur [l]		553	277	277	-	-	-	-	-	-	-	-	1107
Nombre contrôles (arrachage manuel) par an	-	4	5	5	6	6	2	2	2	2	2	2	36
Biomasse enlevée annuellement [kg]	200	300	33	27	27	27	0	0	0	0	0	0	413

3.4 Évaluation d'impact

Cette étude a été réalisée avec la base de données d'inventaire ecoinvent (v3.3.), base de données leader sur le marché.

La méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie utilisée est IMPACT 2002+ [16], [24]. Les indicateurs sont différenciés en émissions de gaz à effet de serre (GES), consommation de ressources, utilisation d'eau, qualité des écosystèmes et santé humaine, chacun avec sa propre unité de mesure (Tab. 7).

En complément, les résultats ont été analysés avec une deuxième méthode d'impact, recommandée par l'OFEV : la saturation écologique (ou *ecological scarcity*, cf. méthode OFEV 2013 [10]), avec évaluation de l'impact exprimée en UBP (écopoint ou unités de charge écologique, en allemand *Umweltbelastungspunkte*).

Le software SimaPro a été utilisé pour la modélisation. Il permet de lier les flux de référence avec la base de données d'inventaire et de combiner ces informations avec les méthodes d'évaluation des impacts, tout cela pour obtenir finalement les scores d'impacts présentés dans ce rapport.

Les détails méthodologiques sont indiqués dans le rapport de détail à l'Annexe 1 (cf. pages 25 et 50-56).

3.5 Analyse de la variante *no action*



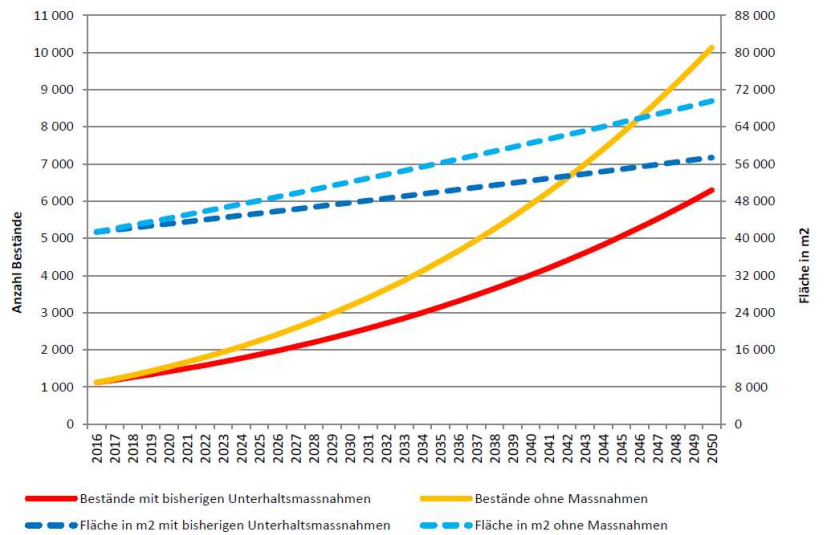
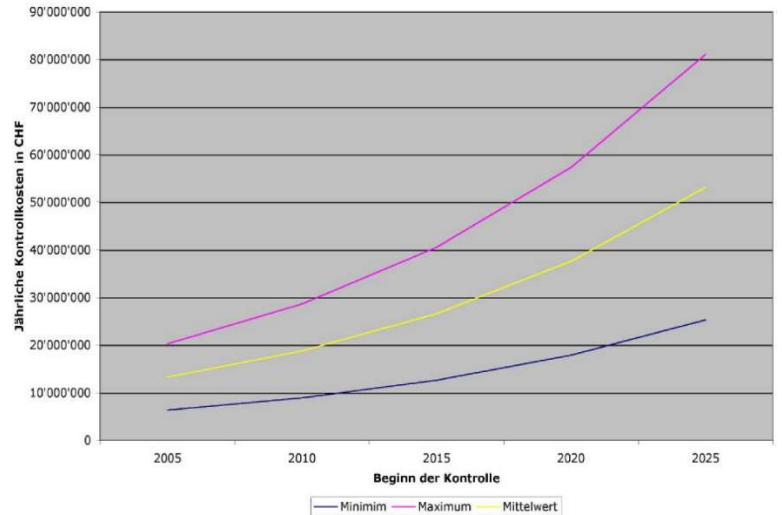
Comme mentionné auparavant, la variante sans intervention (= variante « *no action* ») n'a pas été incluse dans l'ACV, car elle ne peut pas se référer à la définition d'unité fonctionnelle adoptée pour évaluer les différentes méthodes de lutte (v. chapitre 3.2). Pour cette raison, la variante « *no action* » fait l'objet d'une évaluation à part, décrite dans le présent chapitre.

Dans plusieurs publications orientées vers la pratique [11], [17], [26], la nécessité d'intervenir contre les renouées au temps « t » est souvent justifiée en montrant la diffusion ou les coûts engendrés par la diffusion des renouées dans l'hypothèse de ne pas intervenir jusqu'au temps « t + x », x étant une période de plusieurs décennies. Les coûts montrent une croissance exponentielle, liée d'une part à la croissance en surface des foyers existants, d'autre part à la propagation de nouveaux foyers, notamment en ce qui concerne les coûts de gestion des cours d'eau, des espaces verts, des biotopes et des forêts ; les dégâts causés aux infrastructures et aux valeurs immobilières ; les dégâts en agriculture, etc. (Fig. 9). La perte de biodiversité et de valeur biologique des milieux naturels atteints, bien que démontrée scientifiquement par de nombreuses études [12], [15], [28], [29], [32], [36], et souvent citée parmi les dégâts causés par les renouées, ne sont jamais quantifiées sous forme de coûts ou d'écobilan.

Du point de vue d'une administration, les arguments d'ordre économique liés à la décision de ne pas intervenir contre la renouée à long terme peuvent parfois se révéler inconsistants, surtout lorsque les sites atteints sont perçus comme des sites « abandonnés » ou sans intérêt économique particulier et dont une éventuelle gestion ne va pas rentrer en ligne de compte dans le futur immédiat. Dans ces cas, il est opportun de disposer d'une méthode pour quantifier non seulement les pertes économiques dans les sites atteints par les renouées exotiques, mais aussi les pertes de biodiversité et de valeur biologique intrinsèque des milieux atteints.

Dans le but de quantifier la perte de valeur biologique d'un milieu atteint par les renouées et pour lequel il a été décidé de ne pas intervenir (variante « *no action* »), nous proposons d'utiliser une approche de type « écobilan », analogue à celui utilisé pour évaluer les atteintes aux milieux dignes de protection au sens de l'art.18 al.1ter LPN selon les directives de l'OFEV [4],[27]. L'hypothèse de base est de considérer la décision de ne pas intervenir avec la lutte contre la renouée – et donc de la laisser grandir et se propager – comme une atteinte d'ordre

Fig. 9 Exemples de description des effets de la variante « no action », c-à-d de la décision de ne pas intervenir à court et moyen terme contre les renouées. À gauche : prévision d'augmentation des coûts annuels de gestion dans le Canton de Zürich de la renouée du Japon et de 3 autres néophytes, en fonction du début de la lutte (2005-2025 ; source : Gelpke & Weber, 2005) [11]. À droite : prévision d'augmentation de la surface envahie par la renouée du Japon dans le Canton de Zürich et évolution du nombre de sites entre 2016 et 2050, avec ou sans intervention (source : Naturaqua in [26]).



Selon la méthode standardisée de l'OFEV [4], la valeur d'un biotope peut être quantifiée en éco-points selon une liste de valeurs de référence suivant la classification des milieux naturels de Suisse [7] et ses caractéristiques de qualité. La valeur du biotope est multipliée par la surface sur laquelle il s'étend, exprimée en ares. La plupart des milieux qui ne sont pas dignes de protection atteindront des valeurs entre 4 et 10 éco-points/are. En revanche, les milieux dignes de protection couvrent une plage de valeurs plus large, entre 10 et 64 éco-points/are. Pour les milieux complètement détruits, c'est-à-dire entièrement construits ou imperméabilisés, c'est par définition la valeur de biotope 0 éco-points/are qui s'applique (par exemple rues et places goudronnées, bâtiments). Les sites peu naturels ne pouvant être colonisés que de façon très limitée par les plantes vasculaires et les invertébrés (par exemple pavages perméables, plates-bandes de plantes ornementales, cours d'eau canalisés et endigués), une valeur de biotope de 2 éco-points/are : c'est le cas des peuplements denses de renouées et, plus en général, des néophytes envahissantes [4], Tab. 6.

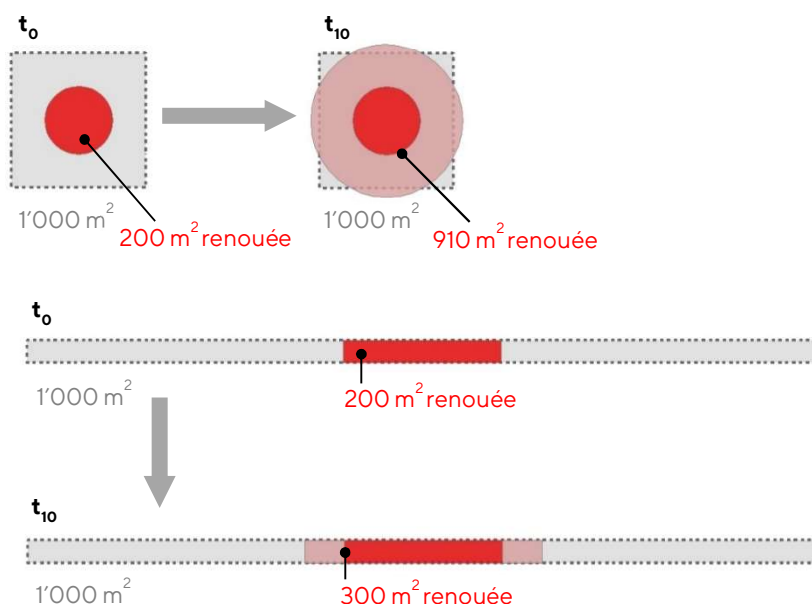
Les scénarii de la variante « no action » à évaluer ont été construits sur la base d'une situation de départ avec un foyer de 200 m² de renouée, en faisant l'hypothèse de ne pas intervenir pendant 10 ans. L'écobilan est réalisé en considérant une surface de référence de 1'000 m², qui

correspond *grosso modo* à la surface maximale pouvant être colonisée en 10 ans par 200 m² de renouée en progression radiale, avec une vitesse de progression du front du foyer de +1 m/an ([3], *worst-case*, Fig. 10). Les scénarii prévoient différents types de milieux selon [7], ainsi que 2 différentes modalités de croissance (progression radiale et progression linéaire, Fig. 10).

Tab. 6 Milieux naturels ou semi-naturels pouvant être envahis par les renouées et valeurs biologiques VB (exprimés en éco-points/are) utilisées pour dans le cadre de l'écobilan de la variante « *no action* » [4].

Milieu [7]	Nom français abrégé	Type de milieu	VB [éco-points/are]
2.1.2.2 Phalaridion	Roselière terrestre	marais / cours d'eaux	16
2.2.1.1 Magnocaricion	Bas-marais (magnocariçaie)	marais	20
2.3.3 Filipendulion	Mégaphorbiée marécageuse	marais / cours d'eaux	8
3.2.1.1 Epilobion fleischeri	Alluvions avec végétation pionnière herbacée	cours d'eaux	16
4.0 Prairie artificielle	Prairie artificielle	talus, agriculture	2
4.5.1. Arrhenaterion	Prairie de fauche de basse altitude	talus, agriculture	7
5.1.3 Convolvulion	Ourlet hygrophile de plaine	talus, ourlets	8
5.3.3 Pruno-Rubion	Buissons mésophiles	haies	5
5.3.6 Salicion elegagni	Saulaie buissonnante alluviale	cours d'eaux	20
6.1.1 Alnion glutinosae	Aulnaie noire	forêt alluviale	48
6.1.2 Salicion albae	Saulaie blanche	forêt alluviale	24
6.1.4 Fraxinon	Frênaie humide	forêt alluviale	28
7.1.1 Agropyro-Rumicion	Endroit piétiné humide	cours d'eaux	7
Peuplement dense de renouée en milieu ouvert			2
Peuplement dense de renouée (sous-bois) en milieu forestier 6.1.1 Alnion glutinosae			32
Peuplement dense de renouée (sous-bois) en milieu forestier 6.1.2 Salicion albae			16
Peuplement dense de renouée (sous-bois) en milieu forestier 6.1.4 Fraxinon			12

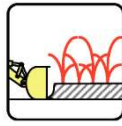
Fig. 10 Croissance d'un foyer de 200 m² de renouée en 10 ans: en haut progression radiale (*worst-case*, +1 m/an); en bas: progression linéaire le long d'un écotone (+1 m/an, p.ex. berge de cours d'eau, ourlet, lisière, etc.).



4 Résultats

4.1 Screening LCA

Les résultats de l'analyse du cycle de vie (*screening LCA*), présentés dans le Tab. 7, ainsi que dans la Fig. 11 et dans la Fig. 12, peuvent être synthétisés comme suit :



L'excavation (= arrachage mécanique) est la deuxième méthode qui a le plus d'impact pour tous les indicateurs étudiés, sauf pour la qualité des écosystèmes où il s'agit de l'alternative la plus impactante. Les impacts sont dominés par le transport et surtout par la mise en décharge des grandes quantités de déchets engendrés par l'arrachage du sol contaminé (400 m³ matériaux d'excavation pour 200 m² de renouée).



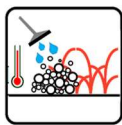
Les fauches répétées émettent 3'400 kg CO₂-eq de plus sur 10 ans par rapport à l'application d'herbicide (glyphosate), soit l'équivalent de 3 personnes prenant l'avion de Paris à New York (aller-simple). Cette méthode est plus impactante que les broyages répétés et le désherbage *Ecosystem* (sauf pour l'utilisation d'eau pour laquelle elle a moins d'impact que ce dernier) mais est bien moins impactante que l'excavation ou l'injection de vapeur. L'impact pour les fauches répétées est surtout causé par les déplacements des opérateurs et par les transports des déchets (résidus de fauche) jusqu'à l'usine d'incinération.



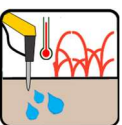
L'application foliaire d'herbicide (glyphosate) est le scénario le moins impactant, mais est lié à la plus grande incertitude pour les indicateurs santé humaine et qualité des écosystèmes, à cause du processus de remise en question du statut de toxicité de ce principe actif actuellement en cours.



Les broyages répétés ont un impact moyen, bien moins impactant que l'injection de vapeur ou l'excavation, moins impactant que les fauches répétées mais relativement proche du désherbage *Ecosystem* (parfois plus impactant, parfois moins selon les indicateurs considérés). L'impact est principalement lié aux déplacements des opérateurs. L'impact du broyeur (production et utilisation) est comparativement faible. C'est un scénario très intéressant car ses impacts sont relativement bas et les résultats sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes sont bien moins incertains que ceux de l'application de glyphosate.



Le désherbage *Ecosystem* a un impact assez proche de celui des broyages répétés, parfois un peu moins impactant, parfois un peu plus, sauf l'utilisation d'eau pour lequel l'impact est clairement plus élevé. L'impact de production de l'APG est le principal responsable des impacts pour l'étape d'utilisation (86 à 97%). Cette méthode est donc, comme les broyages répétés, un scénario très intéressant, avec des impacts peu importants et une incertitude moindre que pour l'application de glyphosate.



L'injection de vapeur est la méthode la plus impactante parmi celles évaluées dans cette étude pour tous les indicateurs, sauf pour la qualité des écosystèmes pour laquelle l'excavation est pire. Cet impact élevé est dû à la production, l'utilisation et fin de vie du matériel, et plus précisément à la combustion du diesel pour la mini-pelle, le moteur de la remorque (pompe) et surtout pour les chaudières. Pour l'utilisation d'eau, c'est l'usage direct d'eau pompée pour la production de vapeur qui explique la haute contribution de l'étape d'utilisation.

Tab. 7 Résultats pour les différents indicateurs utilisés pour une surface de 200 m² traitée durablement ramenée à 5% de couverture maximum à la surface du sol. (Légende : GES = gaz à effet de serre ; PPS = produit phytosanitaire (glyphosate).

Indicateur LCA	Méthode de lutte	Transport opérateurs	Transport matériel	Production, utilisation, fin de vie matériel	Transport déchets	Traitement déchets	Total
Emissions de GES [kg CO ₂ -eq]	1. Excavation	815	291	1'049	2'719	4'267	9'141
	2. Fauches répétées	2'330	0	376	1'491	11	4'208
	3. Application PPS	777	0	17	25	3	821
	4. Broyages répétés	2'330	0	201	25	3	2'558
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	1'320	0	947	25	3	2'294
	6. Injection de vapeur	2'213	442	14'717	25	3	17'400
Consommation de ressources [MJ]	1. Excavation	12'993	4'776	16'031	44'676	117'609	196'086
	2. Fauches répétées	37'124	0	4'701	23'759	104	65'688
	3. Application PPS	12'375	0	220	396	24	13'015
	4. Broyages répétés	37'124	0	2'441	396	24	39'985
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	21'037	0	8'020	396	24	29'477
	6. Injection de vapeur	35'268	6'931	224'578	396	32	267'205
Utilisation d'eau [m ³]	1. Excavation	8	3	10	30	209	260
	2. Fauches répétées	22	0	2	14	1	38
	3. Application PPS	7	0	0.4	0.2	0.1	8
	4. Broyages répétés	22	0	1	0	0	23
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	12	0	71	0	0	84
	6. Injection de vapeur	21	4	313	0	0	338
Qualité des écosystèmes [PDF-m ² -an]	1. Excavation	296	210	175	1'961	2'911	5'552
	2. Fauches répétées	845	0	70	541	7	1'463
	3. Application PPS	282	0	11	9	2	303
	4. Broyages répétés	845	0	38	9	2	893
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	479	0	636	9	2	1'125
	6. Injection de vapeur	803	125	2'361	9	2	3'300
Santé humaine [DALY]	1. Excavation	4.5E-4	2.4E-4	2.0E-3	2.3E-3	1.5E-2	2.0E-2
	2. Fauches répétées	1.3E-3	0	2.6E-4	8.2E-4	34E-5	2.4E-3
	3. Application PPS	4.2E-4	0.	1.4E-5	1.4E-5	7.9E-6	4.6E-4
	4. Broyages répétés	1.3E-3	0	1.4E-4	1.4E-5	7.9E-6	1.4E-3
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	7.2E-04	0.0E+00	8.5E-04	1.4E-05	7.9E-6	1.6E-03
	6. Injection de vapeur	1.2E-03	2.2E-04	3.0E-02	1.4E-05	1.0E-5	3.1E-02
Saturation écologique [UBP]	1. Excavation	793'188	340'898	1'440'051	3'188'617	29'362'997	35'125'751
	2. Fauches répétées	2'266'252	0	706'171	1'450'401	35'310	4'458'134
	3. Application PPS	755'417	0	32'356	24'173	8'308	820'254
	4. Broyages répétés	2'266'165	0	376'587	24'172	8'308	2'675'232
	5. Désherbage <i>Ecosystem</i>	1'284'160	0	1'650'134	24'172	8'308	2'966'774
	6. Injection de vapeur	2'152'856	405'263	19'952'202	24'172	10'800	22'545'295

Fig. 11 Résultats obtenus avec la méthode IMPACT 2002+ [15]. La flèche indique les incertitudes des bases de données actuelles concernant l'impact du glyphosate sur la qualité des écosystèmes et la santé humaine.

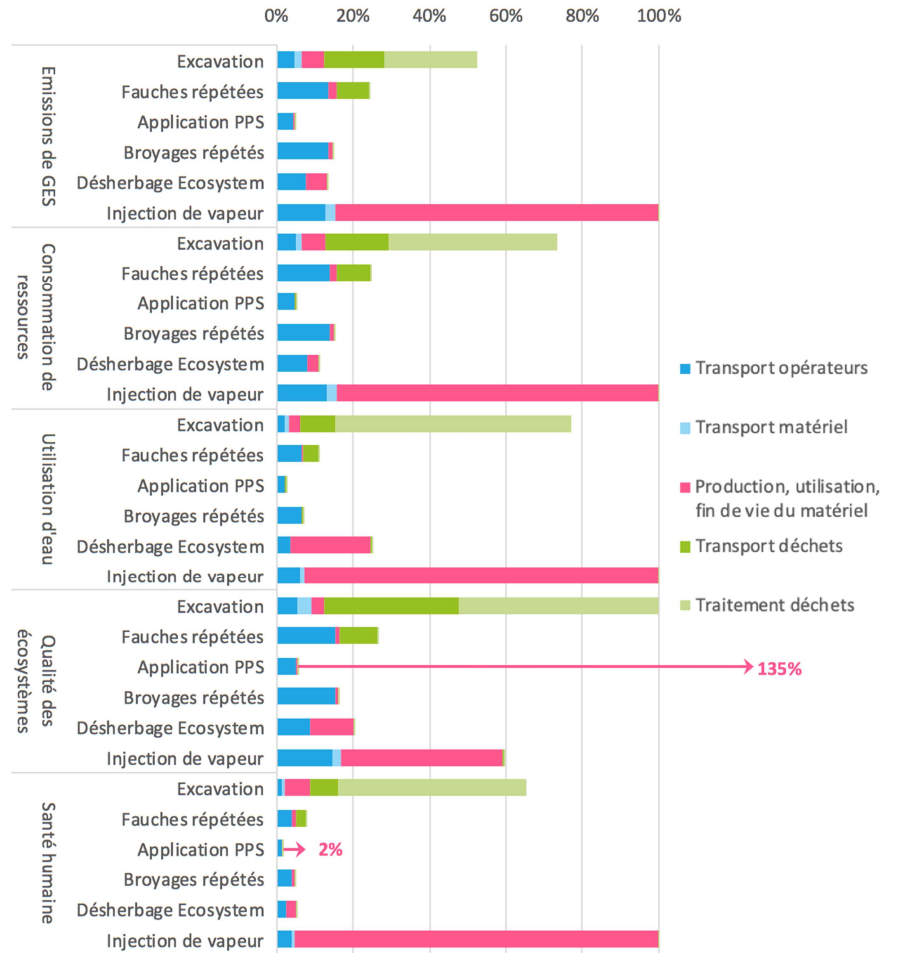


Fig. 12 Résultats de l'évaluation LCA selon saturation écologique (*ecological scarcity*, [10]) exprimé en unités de charge écologique ou UBP.

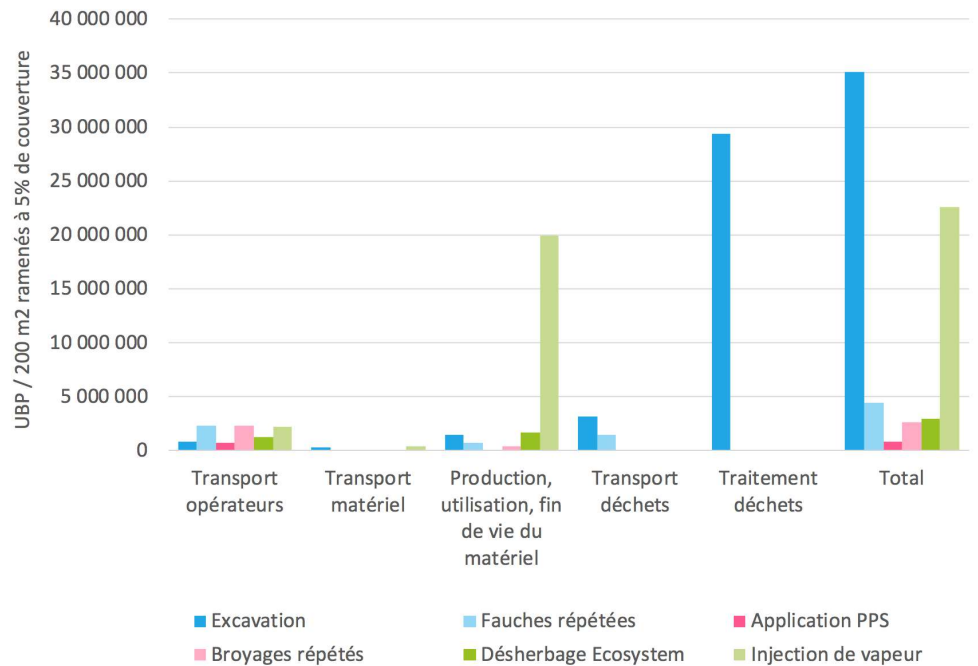




Fig. 13 Le tamisage effectué *in situ* selon différentes dimensions des mailles du crible (jusqu'à 0.5/1.0 cm) permet de réduire jusqu'à -80% le volume de matériel d'excavation à transporter et à mettre en décharge / incinérer. En haut : tamis mobile avec trémie ; en bas à gauche : matériel contaminé à éliminer par incinération ; en bas à droite : matériel criblé à 0.5 cm considéré assaini (sans rhizomes viables) et pouvant être laissé sur site. Photos : chantier CFF à Riazzino (TI).

Les résultats obtenus avec la méthode de la saturation écologique (OFEV, 2013 [10], Fig. 12) sont proches de ceux obtenus avec IMPACT 2002+ [16] (Fig. 11), avec des contributions similaires sauf pour le traitement des déchets qui a un impact bien plus marqué. Cela conduit à un impact final plus important pour l'excavation que pour l'injection de vapeur. Malgré cette différence, les tendances majeures sont proches : l'excavation et l'injection de vapeur sont les méthodes qui ont le plus d'impact, l'application foliaire de glyphosate a l'impact le plus bas (mais toujours avec une incertitude au niveau de la toxicité) et les 3 autres scénarios se trouvent entre deux, avec toutefois un impact un peu plus bas pour les broyages répétés et le désherbage *Eco-system* en comparaison avec les fauches répétées.

L'interprétation des résultats montre que la décomposition de l'impact global dans les différentes phases du cycle de vie (transports opérateurs ; transport matériel ; production, utilisation, fin de vie du matériel ; transport des déchets ; traitement des déchets) peut apporter des éléments très intéressants dans le but de réduire l'impact sur l'environnement et d'améliorer les pratiques dans le cadre de la lutte contre les renouées exotiques.

En ce qui concerne l'excavation, un des résultats les plus significatifs de cette étude est que la mise en décharge des matériaux d'excavation se révèle être une opération bien plus impactante que toutes les autres phases de l'arrachage mécanique : suivant les indicateurs, l'impact de la mise en dépôt est entre 4 et 20 fois plus important que la

production de la pelle excavatrice, sa consommation de diesel pendant la phase d'excavation du sol contaminé et sa fin de vie). Pour diminuer l'impact sur l'environnement dans le cadre de l'excavation, les résultats de cette étude suggèrent qu'il est absolument nécessaire de trouver des alternatives au transport et à la mise en décharge de ces grandes quantités de sol contaminé (Fig. 13, cf. aussi [25]). Si un tri du matériel sur site était possible afin de limiter la matière à envoyer en décharge, cela permettrait de diminuer les impacts en lien avec cette méthode.

Pour les fauches répétées, il est intéressant de remarquer que les impacts sont dominés par les nombreux déplacements des opérateurs et par les transports des déchets (résidus de fauche), à cause de l'extraction et de la combustion du carburant (diesel) consommé par les véhicules, alors que l'impact lié à la débroussailleuse est minime : faible consommation d'essence, équipement léger. L'impact de la débroussailleuse est lui-même principalement lié à la consommation d'essence (90-99% des impacts de la débroussailleuse), l'huile qui constitue le mélange ainsi que la production et la fin de vie de l'appareil sont de très faibles contributeurs. Pour diminuer l'impact sur l'environnement dans le cadre des fauches répétées, il faut donc prioritairement se focaliser sur l'optimisation des distances parcourues avec les véhicules, en choisissant p.ex. des entreprises locales et des filières d'élimination des résidus les plus proches possibles des sites envahis par la renouée. Le choix de véhicules peu gourmands en carburant peut aussi être un élément à considérer.

Le scénario d'application foliaire d'herbicide (glyphosate) apparaît comme le meilleur avec les données actuelles mais c'est également le scénario le plus incertain. En effet, il y a de grandes incertitudes concernant la toxicité du glyphosate pour la santé humaine, qui selon certaines études serait jusqu'à 1'000 fois plus élevée que ce qui a été considéré jusqu'à aujourd'hui (et montré dans le scénario de base) [5]. De plus, le caractère cancérigène du glyphosate est régulièrement réévalué par l'OMS (qui l'a reclassé des produits potentiellement cancérigènes à produits probablement cancérigènes en 2015 à la suite d'une publication de l'Agence International de Recherche sur le Cancer [19]). Il est possible que l'écotoxicité soit également sous-estimée jusqu'à présent, et les résultats montrent l'influence d'une potentielle sous-estimation (avec le même facteur 1000 que pour la santé humaine, bien que ce facteur ne soit pas démontré pour l'écotoxicité). Finalement, l'évaluation des métabolites issues du glyphosate une fois celui-ci appliqué (p.ex. AMPA) ne sont pas incluses dans cette étude et pourraient également augmenter son impact toxique et écotoxique. Pour toutes ces raisons, les résultats obtenus pour le scénario d'application d'herbicide sont à considérer avec prudence. Une recherche plus approfondie serait nécessaire afin de réduire ces incertitudes.

Les broyages répétés ont un impact intermédiaire en comparaison avec les autres méthodes de lutte. Ils ont un impact moindre que l'excavation et l'injection de vapeur, légèrement plus bas que les fauches répétées, notamment car ils évitent le traitement des déchets : la biomasse finement broyée peut être laissée sur place, sauf lors de la première intervention où elle est emmenée en UIOM. Les impacts de cette méthode de lutte sont par contre plus hauts que ceux de l'application PPS (si l'on ne tient pas compte de l'incertitude de l'impact sur la santé humaine ou la qualité des écosystèmes pour cette dernière méthode) et pour certains indicateurs que ceux du désherbage *Ecosystem*. Ces impacts plus élevés sont dus au transport des opérateurs. Les broyages répétés nécessitent effectivement 6 déplacements par année, soit le plus haut nombre d'interventions par année de tous les

scénarios avec les fauches répétées et l'injection de vapeur (les premières années). L'impact de la production du motoculteur et du broyeur, ainsi que son utilisation sont relativement bas. En effet, ce matériel est considéré comme ayant une relativement longue durée de vie et le temps d'utilisation pour traiter 200 m² est faible (15 heures d'usage du broyeur contre par exemple 92 heures au total d'utilisation des débroussailleuses sur les 10 ans).

La méthode de désherbage *Ecosystem* est assez efficace du point de vue des indicateurs environnementaux évalués dans cette étude. Les principaux contributeurs sont le transport des opérateurs, qui domine les impacts, suivi par la production, utilisation et fin de vie du matériel. Ce dernier point est lié à la production de l'agent moussant (APG). Les déplacements moins fréquents que pour les broyages répétés (3 à 4 interventions pour le désherbage *Ecosystem* au lieu de 6 déplacements annuels pour les broyages répétés), expliquent la différence d'impact entre ces deux méthodes de lutte pour la partie déplacements. Le désherbage *Ecosystem* est plus efficace que les broyages répétés pour les émissions de GES et la consommation de ressources, mais plus impactant pour les autres indicateurs. Concernant la consommation d'eau, l'impact plus élevé est lié à la consommation directe d'eau de cette méthode de lutte, mais surtout à la consommation d'eau pour la production de l'alkyl-polyglucoside (APG). Cette substance est produite à partir d'alcools gras (issus de l'huile de palme) et d'amidon (issu du blé). L'irrigation de ces cultures explique en bonne partie l'utilisation d'eau en lien avec l'APG. Concernant la qualité des écosystèmes, c'est à nouveau la production agricole en lien avec l'APG qui explique l'impact de l'étape « production, utilisation, fin de vie du matériel », en lien avec l'utilisation du sol pour les cultures de palmier à huile et de blé. L'utilisation d'huile de tournesol et d'amidon de pommes de terre au lieu d'huile de palme et d'amidon de blé pour la production de l'APG permettrait de diminuer les impacts totaux de cette méthode de lutte de 3 à 40% selon les indicateurs, sauf pour la qualité des écosystèmes qui verrait ses impacts augmenter (car plus de surface agricole est nécessaire pour produire 1 kg d'huile de tournesol que pour 1 kg d'huile de palme). Les transports des opérateurs étant le deuxième grand contributeur aux impacts de cette méthode, les mêmes remarques que pour les fauches répétées s'appliquent pour en diminuer les impacts : choix de l'entreprise la plus proche du site et/ou utilisant les véhicules les plus performants.

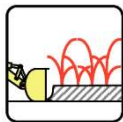
L'injection de vapeur est la méthode la plus impactante parmi celles évaluées dans cette étude pour presque tous les indicateurs étudiés. Cet impact élevé est dû à l'étape de « production, utilisation et fin de vie du matériel », et plus précisément à la combustion du diesel pour la mini-pelle, le moteur de la remorque (pompe) et surtout pour les chaudières. Cette consommation de diesel représente de 19 à 94% de l'impact total dont les 2/3 environ sont liés à la consommation des chaudières pour la production de vapeur (22.2 l diesel/h d'utilisation). Pour l'utilisation d'eau, c'est l'usage direct d'eau pompée dans les écosystèmes naturels qui explique la haute contribution de l'étape d'utilisation (environ 70% de l'utilisation d'eau). Cette méthode étant moins mature que d'autres méthodes évaluées, on peut espérer des améliorations dans le futur, tant dans la réduction du nombre de traitements en fonction de l'efficacité de lutte (cette étude considère 4 interventions sur les 3 premières années, combinées avec un arrachage manuel), que dans l'efficacité des opérations (rapidité de l'intervention, quantité de vapeur utilisée) ou encore dans les équipements (chaudière plus efficace, utilisation d'un autre combustible pour produire la vapeur). L'efficacité de l'utilisation d'eau chaude au lieu de vapeur pourrait également être évaluée car cela permettrait

aussi de diminuer la consommation énergétique. Une analyse de sensibilité a été effectuée afin d'évaluer un cas idéal pour cette méthode avec seulement 2 interventions au lieu de 4: les impacts diminueraient de 40 à 50% selon les indicateurs, rendant cette méthode similaire à meilleure que l'excavation mais toujours clairement plus impactante que les autres méthodes de lutte.

La comparaison des impacts environnementaux liés à ces 6 méthodes de lutte montre une grande variabilité des résultats. Tous les scénarios sont sujets à diverses incertitudes, notamment sur la zone effective à traiter pour atteindre 5% de couverture sur 200 m² après 10 ans : il est considéré qu'exactement 200 m² sont traités avec chacune des méthodes alors que pour certaines il est possible qu'il faille couvrir une plus grande surface que la zone atteinte pour une efficacité suffisante (arrachage mécanique). La distance de transport considérée pour le déplacement des opérateurs a été fixée à 100 km aller-retour. Cet élément étant un contributeur important pour certaines méthodes, il faut se focaliser sur l'optimisation des distances parcourues avec les véhicules, en choisissant p.ex. des entreprises locales et des filières d'élimination des résidus les plus proches possibles des sites envahis par la renouée. Le choix de véhicules peu gourmands en carburant peut aussi être un élément à considérer. Les broyages répétés, le désherbage *Ecosystem* et l'injection d'eau chaude sont des méthodes encore en période de test quant à leur efficacité. Cette analyse considère qu'elles permettent toutes d'atteindre le même résultat d'une couverture de 5% après 10 ans, selon les scénarios d'intervention établis mais cela reste à confirmer dans le futur. Si des interventions plus nombreuses ou une durée de traitement plus longue étaient nécessaires pour atteindre le but souhaité, les résultats de la présente étude ne seraient plus applicables.

4.2 Coûts

Les coûts de la lutte contre les renouées exotiques ont été estimés sur la base des indications contenues dans le *Pilotversuch* de l'OFEV [3],[13], ainsi que dans les fiches cantonales concernant les néophytes du Canton de Vaud [31]. Les bases de calcul, indiquées ci-dessous, tiennent compte de la situation économique du Canton du Tessin (tarif d'excavation, taxes d'élimination, etc.). Les coûts de déplacement des opérateurs et des machines ne sont pas inclus dans le calcul. Les résultats sont synthétisés dans le Tab. 8.

Excavation :

- Intervention : excavation 400 m³ à 20.- SFr./m³; inclus 9 ans de contrôles (3x9 = 27 heures à 70.-/h) ;
- Transport des déchets : tarif 20.- SFr./m³ ;
- Elimination : 380 m³ = 646 tonnes vers une décharge de type B à 50.-/tonne ; 20 m³ = 25 tonnes vers une UIOM à 215.- SFr./tonne

Fauches répétées :

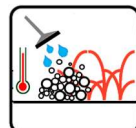
- Intervention : tarif = 70.- SFr./h. ; 172 heures en 10 ans (cf. Tab. 3).
- Transport des déchets : résidus de biomasse 70 kg = 0.25 m³ x 6 fauches ; tarif 120.-SFr. /h (camionnette + chauffeur, 1 heure A-R) x 6 fauches ; capacité camionnette = 4-5 m³ (résidus 300 kg/m³) ; en supposant qu'on puisse optimiser les transports avec la fauche de 5 sites en une journée (1'000 m² de renouée), on divise par 5 l'effort annuel pour 200 m² de renouée : total 12 heures à 120 SFr./h.
- Elimination : biomasse totale sur 10 ans : 4.25 tonnes (cf. Tab. 3) ; tarif incinération pour ce type de résidus: 110.- SFr./tonne.

Application foliaire d'herbicide :

- Intervention : 5 heures d'application foliaire d'herbicide à 70.-SFr./h + fauche préparatoire 4 h à 70 SFr./h; contrôles : 1.5 h x 2 fois par an x 9 ans = total 27 h à 70.- SFr/h.
- Transport et élimination : fauche de préparation, cf. fauches répétées (seulement année 1, 1x).

Broyages répétés :

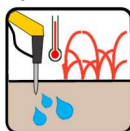
- Intervention : 60 interventions ; total 30 heures de travail (inclus préparation machine); tarifs 70.- SFr./h opérateur + 55.- SFr./h broyeur, total 30 * 125.- SFr./h.
- Transport et élimination : broyage de préparation, cf. fauches répétées (seulement année 1, 1x).

Désherbage *Ecosystem*:

- Intervention : 33 interventions ; total 18.5 heures de travail + env. 5.1 heures de préparation de la machine; tarifs 70.- SFr./h opérateur + 100.- SFr./h machine², total 23.6 * 170.- SFr./h.
- Transport et élimination : fauche de préparation, cf. fauches répétées (seulement année 1, 1x).

² Le coût horaire de la machine *Ecosystem* indiqué ici est une estimation basée sur le coût journalier moyen de location de la machine (entre 500-600.- SFr./jour produits et carburants inclus) et l'utilisation effective (hypothèse: 6 heures par journée de travail).

Injection de vapeur:



- Intervention: le tarif d'ELTEL SA (70.-SFr./m²) est cité dans le rapport Hintermann & Weber 2017 [18]; cependant, comme la méthode est encore en phase de test, l'estimation des coûts sur 10 ans n'a pas été effectuée dans le cadre de la présente étude.

Tab. 8 Estimation des coûts pour les six méthodes de lutte contre les renouées exotiques (200 m², 10 ans de lutte). Injection de vapeur: comme la méthode est encore en phase de test, les coûts n'ont pas été déterminés.

Méthode de lutte	Intervention [SFr./m ²] 10 ans - 200 m ²	Transport déchets [SFr./m ²] 10 ans - 200 m ²	Taxes élimin. [SFr./m ²] 10 ans - 200 m ²	Coût total [SFr./m ²] 10 ans - 200 m ²	Coût annuel [SFr./m ²] 1 an - 1 m ²	Coût total / m ² [SFr./m ²] 10 ans - 1 m ²
1. Excavation	9'890	8'000	37'700	55'600	28.-	280
2. Fauches répétées	12'900	1'500	500	14'900	7.50	75
3. Application PPS	2'600	120	200	2'920	1.50	15
4. Broyages répétés	3'800	120	200	4'120	2.06	21
5. Desherbage <i>Ecosystem</i>	4'100	120	200	4'420	2.20	22
6. Injection de vapeur	n.d.					

Il est intéressant de remarquer que les tendances observées pour les coûts (Fig. 14) sont très similaires à celles de l'impact sur l'environnement (cf. Fig. 11 et Fig. 12). La méthode la plus onéreuse est l'excavation, avec un total d'env. SFr. 55'000 pour éliminer 200 m² de renouée, ce qui correspond à un prix unitaire de 280.- SFr./m². Cette estimation est nettement plus basse que les coûts indiqués pour l'excavation par l'étude de l'OFEV (480.- SFr./m³), ainsi que les prix unitaires indiqués par le Canton de VD [21], qui prévoit une fourchette entre 100 et 300.- SFr./m³ pour la phase d'intervention, ainsi que 148-278.- SFr./tonne pour l'élimination du sol végétal en UIOM et 30-50.- SFr./tonne pour la mise en dépôt. Les coûts estimés pour les fauches répétées et l'application foliaire d'herbicide, sont en revanche très similaires à ceux que l'on obtient en appliquant les prix unitaires proposés par les études de l'OFEV [3] et par les fiches cantonales vaudoises [31]. Les broyages répétés et le desherbage *Ecosystem* ont des coûts légèrement plus élevés (env. SFr. 4'000.- pour éliminer 200 m² de renouée) par rapport à l'application foliaire d'herbicide (< SFr. 3'000.-), mais beaucoup moins importants par rapport aux fauches répétées (env. SFr. 15'000.-), ceci surtout à cause du fait que la biomasse est laissée sur place.

En ce qui concerne l'excavation, il est intéressant de noter que les coûts liés au transport et à la mise en décharge constituent environ 80% des coûts. La décomposition des coûts présentée dans la Fig. 14 montre que pour réduire l'impact économique de l'excavation, il est absolument nécessaire de trouver des alternatives au transport et à la mise en décharge de ces grandes quantités de sol contaminé. Les coûts de l'intervention pour l'arrachage mécanique sont en effet tout à fait concurrentiels avec les autres méthodes de lutte, au moins en ce qui concerne la situation économique du Canton du Tessin³. À ce sujet, nous proposons quelques éléments de réflexion dans le chapitre concernant les perspectives. L'analogie avec l'impact sur l'environnement est évidente.

³ Notre expérience montre que des tarifs d'excavation de 20.- SFr./m³ ne sont pas sous-estimés au Tessin; au contraire, dans les chantiers de taille importante, il est souvent possible de traiter l'arrachage du sol à des tarifs nettement inférieurs, p.ex. entre 8.- et 12.- SFr./m³.

Fig. 14 Estimation des coûts pour les six méthodes de lutte contre les renouées exotiques (200 m², 10 ans de lutte) au Tessin. Injection de vapeur: coûts non déterminés (n.d.)

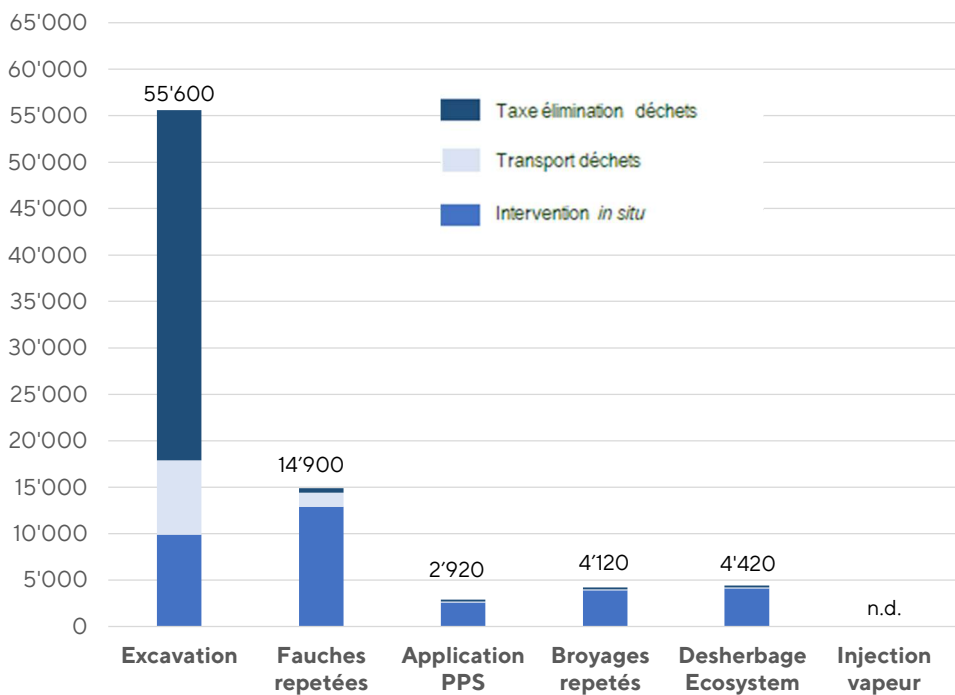
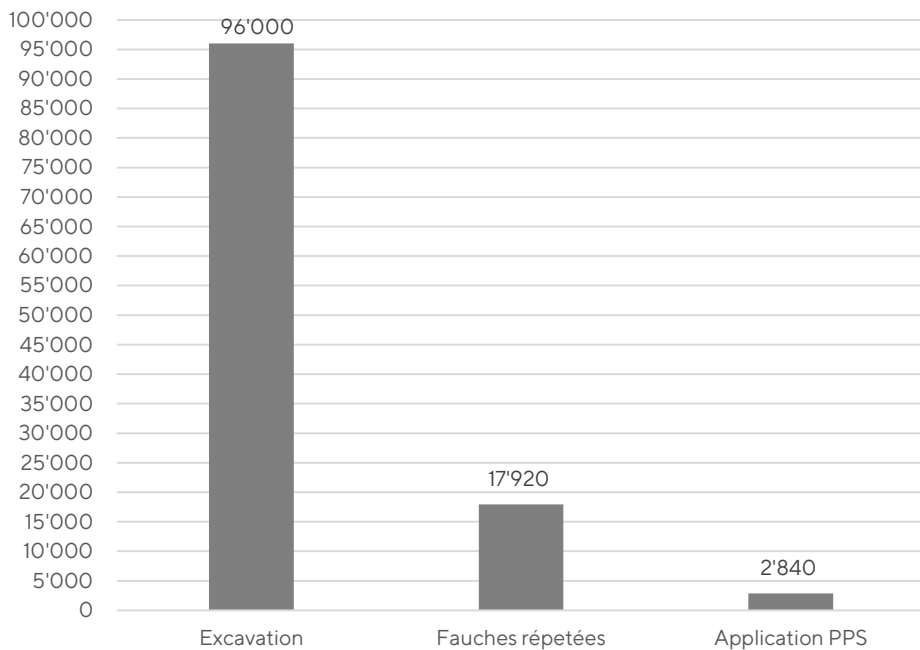


Fig. 15 Estimation des coûts pour trois méthodes de lutte selon les études de l'OFEV [3], [13] (200 m², 10 ans de lutte).



4.3 Variante *no action*



L'écobilan de la variante « *no action* » montre que l'absence d'intervention sur un foyer de 200 m² de renouée détermine une perte significative de la valeur biologique. Suivant les milieux testés et les modalités de croissance choisies (progression radiale ou progression linéaire), en 10 ans la perte de valeur d'une surface de 1'000 m² peut être nulle (p.ex.: prairies artificielles et milieux agricoles cultivés) à presque totale (78% de perte de valeur dans le cas de milieux marécageux ouverts).

Les cas les plus réalistes sont probablement les scénarios de croissance écotonale (p.ex.: berges de cours d'eau, ourlets, lisières), où en 10 ans on assiste à une perte de valeur biologique de l'ordre de 10%. Les résultats par type de milieu sont présentés dans le Tab. 9. Ces résultats suggèrent que la décision de ne pas intervenir contre les renouées exotiques doit être prise non seulement sur la base de critères d'ordre économique (augmentation des coûts de gestion ou de dégâts), mais aussi sur la base de critères comme la perte significative de la valeur biologique des milieux naturels ou semi-naturels.

Tab. 9 Bilan de la variante « *no action* » : perte de valeur biologique des milieux atteints par la renouée, suivant le type de milieu (classification Delarze *et al.* 2015 [7]).

Milieux atteints	VB [éco-points/are]	Progression radiale +1 m/an (<i>worst case</i>) Valeur biotope BT [éco-points/are]			Progression linéaire +1 m/an Valeur biotope BT [éco-points/are]		
		t = 0	t = 10 ans	Perte	t = 0	t = 10 ans	Perte
<i>Reynoutria</i> spp. vs.:	2						
2.1.2.2 Phalaridion Roselière terrestre	16	132	32.6	-75%	132	118	-11%
2.2.1.1 Magnocaricion Bas-marais (magnocariçaie)	20	164	36.2	-78%	164	146	-11%
2.3.3 Filipendulion Mégaphorbiée marécageuse	8	68	25.4	-63%	68	62	-9%
3.2.1.1 Epilobion fleischeri Alluvions	16	132	32.6	-75%	132	118	-11%
4.0 Prairie artificielle Prairie artificielle	2	20	20	0%	20	20	0%
4.5.1 Arrhenaterion Prairie de fauche	7	60	24.5	-59%	60	55	-8%
5.1.3 Convolvulion Ourlet hygrophile de plaine	8	68	25.4	-63%	68	62	-9%
5.3.1 Pruno-Rubion Buissons mésophiles	5	44	22.7	-48%	44	41	-7%
5.3.6 Salicion elegagni Saulaie alluviale	20	164	36.2	-78%	164	146	-11%
6.1.1 Alnion glutinosae Aulnaie noire	48	388	274.4	-29%	388	372	-4%
6.1.2 Salicion albae Saulaie blanche	24	196	139.2	-29%	196	188	-4%
6.1.4 Fraxinion Frênaie humide	28	228	114.4	-50%	228	212	-7%
7.1.1 Agropyro-Rumicion Endroit piétiné humide	7	60	24.5	-59%	60	55	-8%

5 Bibliographie

- [1] Aguilera, A.G., Alpert, P., Dukes, J.S. & Harrington R. (2010). Impacts of the invasive plant *Fallopia japonica* (Houtt.) on plant communities and ecosystem processes. *Biol Invasions* (2010) 12: 1243.
- [2] Bollens, U. (2005). Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs - Literaturreview und Empfehlung für Bahnanlagen. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- [3] Bollens U. & Fischer D. (2013): Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs: Schlussbericht 2012. Kanton Zürich, Baudirektion. Im Auftrag von Bundesamt für Umwelt (BAFU). 104 p.
- [4] Bühler C., Wunderle K., Birrer S. (2017). Méthode d'évaluation des atteintes aux milieux dignes de protection. Hintermann & Weber AG, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne, et de la CDPNP Reinach, 83 pp.
- [5] Defarge N., Spiroux de Vendômois J., Séralini G.E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology reports*, 156-163.
- [6] De Micheli A., Bollens U., Gelpke G., Streit B., Fischer D. (2006). Bericht und Empfehlungen zur Bekämpfung des Japanknöterichs. Im Auftrag der Kantone Aargau / Bern / Glarus / Luzern / Wallis / Zuerich, 51 p.
- [7] Delarze R., Gonseth Y., Eggenberg S., Vust M. (2015). Lebensräume der Schweiz; Ökologie - Gefährdung - Kennarten. 3. Aufl. hep Verlag: 456 S.
- [8] Doka G. (2008). Calculation tool for waste disposal in municipal solid waste incinerators MSWI for ecoinvent v2.1. Excel tool available on www.ecoinvent.ch
- [9] ecoinvent (2016). Ecoinvent database v3.3. Available at www.ecoinvent.ch
- [10] Frischknecht R., Büsser Knöpfel S. (2013). Ecofacteurs suisses 2013 selon la méthode de la saturation écologique. Bases méthodologiques et application à la Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissance de l'environnement n° 1330*: 46 p.
- [11] Gelpke, G.; Weber, E. (2005): Situation und Handlungsbedarf bezüglich invasiver Neophyten im Kanton Zürich. Im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).
- [12] Gerber, E.; Krebs, C.; Murrell, C.; Moretti, M.; Rocklin, R.; Schaffner, U. (2008): Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biol. Conserv.* 141: 646-654.
- [13] Gregori S. (AWEL) (2017). Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs Schlussbericht Phase II 2013-2016. Bericht im Auftrag des BAFU, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, 25 p.
- [14] Guilbot, J.; Kervedo, S.; Milius, A.; Escolat, R.; Pomrehn, F. (2013). Life cycle assessment of surfactants: the case of an alkyl polyglucoside used as a self emulsifier in cosmetics. *Green Chem.*, 15, 3337-3354.
- [15] Haag, S.; Nobis, M.P.; Krüsi, B.O. (2013): Profitieren invasive Neophyten von Flussrevitalisierungen? Untersuchungen an 16 Flüssen der Schweiz. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 45 (12), 2013, 357-364.
- [16] Humbert S, De Schryver A, Margni M, Jolliet O (2012). IMPACT 2002+ user guide: draft for version 2.2. Quantis, Lausanne, Switzerland. Available at www.impactmodeling.org.
- [17] Hintermann und Weber (2013): Bestandes- und Kostenschätzung Knöterich ZH und CH.
- [18] Hintermann & Weber SA (2017) Rapport final de suivi des travaux d'ELTEL sur les néophytes envahissantes, 27.03.2017.
- [19] IARC (2015). IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. 20 March 2015.
- [20] IUCN (2008). View 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. http://www.issg.org/worst100_species.html (état 06.12.2017).
- [21] www.infoflora.ch

- [22] ISO 14040 (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [23] ISO 14044 (2006). Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [24] Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G., Rosenbaum R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *Int J LCA* (2003) 8: 324.
- [25] Jörg, E. (2014): Mechanische Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs beim Naturschutzgebiet Häftli mit dem Schaufelseparator. Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern.
- [26] Kanton Zürich, Baudirektion – Abteilung Wasserbau (2016): Knöterichmanagement im Gewässerraum Phase 1.1. Grundlagenaufbereitung. 16. Dezember 2016.
- [27] Kägi B., Stalder A., Thommen M., (2002). Reconstitution et remplacement en protection de la nature et du paysage, Guide de l'environnement n° 11, 125 p., 2002, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.
- [28] Kowarik, I. (2010): Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. 2. Auflage.
- [29] Maerz, J.C., Blossey, B. & Nuzzo, V. (2005). Green frogs show reduced foraging success in habitats invaded by Japanese knotweed. *Biodivers Conserv* (2005) 14: 2901.
- [30] Pezzatti, G.B. & Conedera M. (2019). Progetto prove gestionali di superfici invase da poligono del Giappone a Cadenazzo. Rapporto interno. Istituto federale di ricerca WSL, su mandato dell'Ufficio dei rifiuti e dei siti inquinati (Dipartimento del Territorio, Repubblica e Cantone Ticino). Dati non pubblicati.
- [31] Recommandation de lutte contre les néophytes envahissantes, Canton VD, version 2013.
- [32] Slobodan Jovanović, Vesna Hlavati-Širka, Dmtar Lakušić, Nejc Jogan, Toni Nikolić, Paulina Anastasiu, Vladimir Vladimirov, Jasmina Šinžar-Sekulić (2018). Reynoutria niche modelling and protected area prioritization for restoration and protection from invasion: A Southeastern Europe case study, *Journal for Nature Conservation*, Volume 41, 2018, Pages 1-15, ISSN 1617-1381.
- [33] Stefanowicz A. M., Stanek M., Nobis M., Zubek S. (2017). Few effects of invasive plants *Reynoutria japonica*, *Rudbeckia laciniata* and *Solidago gigantea* on soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment* 574, 938-946.
- [34] Urgenson, Lauren & Reichard, Sarah & Halpern, Charles. (2009). Community and ecosystem consequences of giant knotweed (*Polygonum sachalinense*) invasion into riparian forests of western Washington, USA. *Biological Conservation*. 1536-1541. 10.1016/j.biocon.2009.02.023.
- [35] Willing, A., Messinger, H. and Aulmann, W. (2004). Ecology and toxicology of alkyl polyglucosides. In: Zoller, U. (ed); *Handbook of Detergents, Part B: Environmental Impact*. – New York, New York, pp. 487-522.
- [36] Wittenberg R. (éd.), (2006). Espèces exotiques en Suisse. Inventaire des espèces exotiques et des menaces qu'elles représentent pour la diversité biologique et l'économie en Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissance de l'environnement n° 0629*: 154 p.

Annexe 1

LCA - Rapport de détail pour les 3 premières méthodes (Quantis)



Quantis

ECOBILAN DE DIFFÉRENTES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LA RENOUÉE DU JAPON (REYNOUTRIA JAPONICA)

Présentation des résultats

Simone Pedrazzini | Quantis

simone.pedrazzini@quantis-intl.com

+41 76 679 54 09

Cécile Guignard | Quantis

cecile.guignard@quantis-intl.com

19 septembre 2018



OIKOS 2000
CONSULENZA E INGEGNERIA AMBIENTALE SAGL

1

Introduction

2

Contexte et objectifs

3

Systemes étudiés et unité fonctionnelle

4

Données, base de données et méthode d'impact

5

Résultats et messages clés

6

Annexes

1

Introduction



mission

We guide top organizations to define, shape and implement intelligent environmental sustainability solutions.

We deliver resilient strategies, robust metrics, useful tools, and credible communications.

In a nutshell, we're the creative geeks. Our clients trust us to take the latest science and make it actionable.

A global team



SWITZERLAND
USA
FRANCE
COLOMBIA
GERMANY
ITALY



University Spin-off



Research Projects



ISO standards



Scientific Thought Leaders

Some of our clients



FERRERO



KERING

LAVAZZA

Nestlé



BOSS
HUGO BOSS

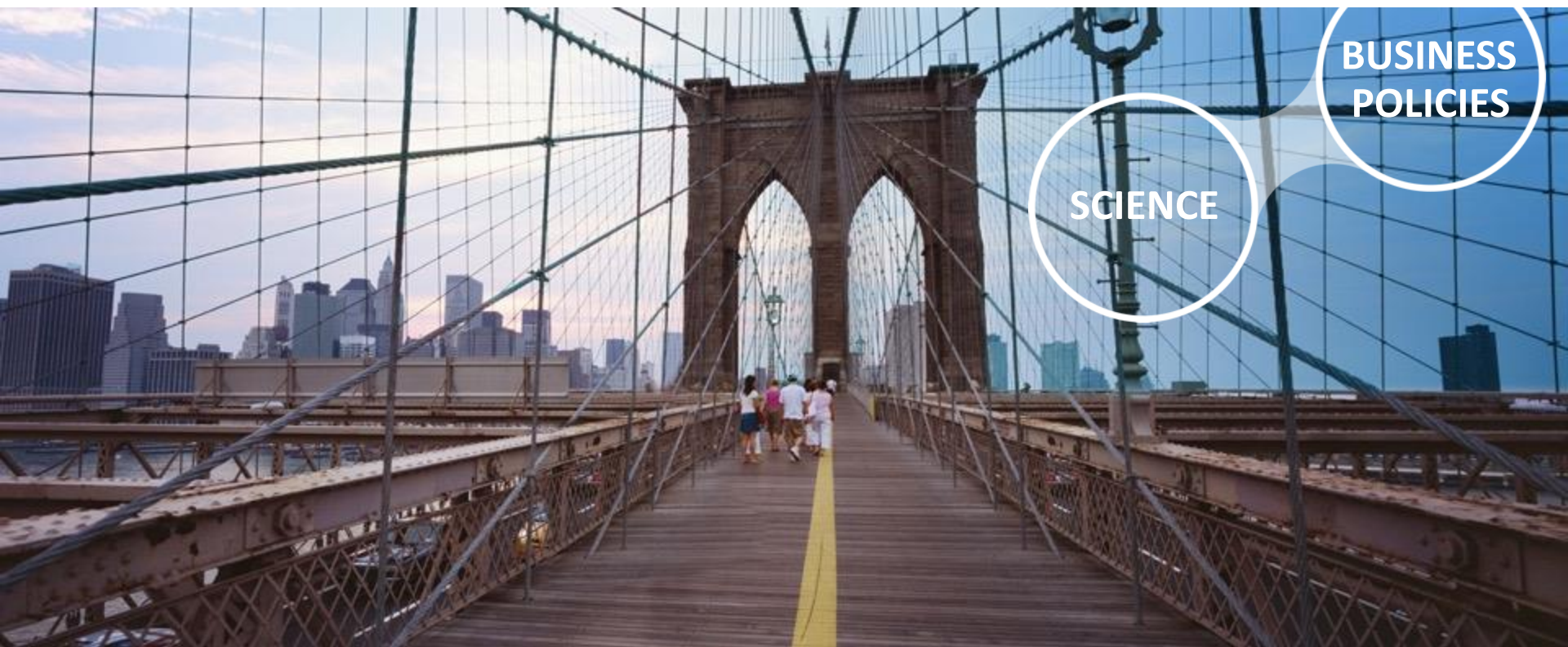


riri



Our work

In a nutshell, we're the creative geeks



Building the bridge between the science of sustainability
to its application in business and policies

We specialize in seamlessly connecting left-brain scientific thinking with right-brain creative solutions, transforming complex sustainability metrics into relevant and meaningful solutions.



OUR DIFFERENTIATION
COMES FROM THIS CRITICAL
CONNECTION POINT

2

Contexte et objectifs



Contexte et objectifs

Contexte

Oikos 2000 Consulenza e ingegneria ambientale Sagl travaille sur la problématique de la **renouée du Japon** depuis de nombreuses années et de manière plus spécifique via son implication au sein du projet du SPAAS-TI (resp. Mauro Togni) et des Cantons AG-GE-TI-VS-VD-ZH.

Oikos a mandaté Quantis **pour établir l'écobilan de différentes méthodes de lutte** contre la renouée du Japon.

Objectifs

Les objectifs de cette étude sont **i)** d'évaluer les impacts environnementaux de 3 méthodes de lutte contre la renouée du Japon au moyen d'une analyse de cycle de vie et **ii)** de comparer les résultats obtenus pour ces 3 méthodes.

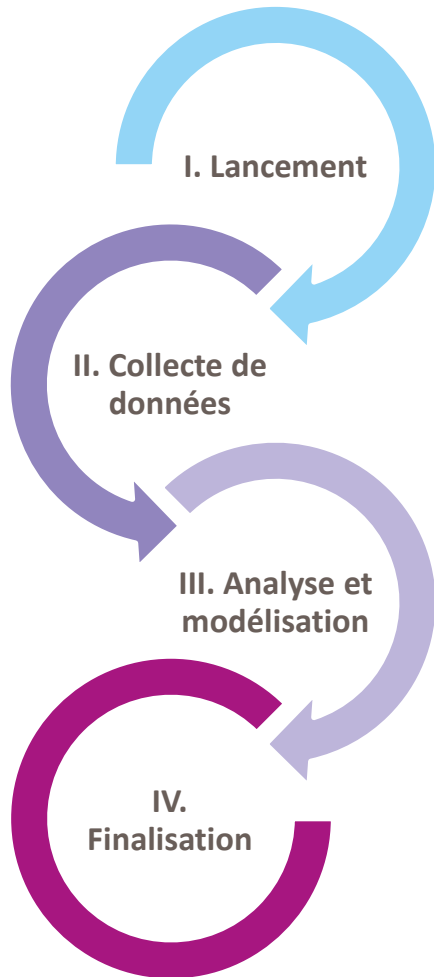
Les 3 méthodes de lutte étudiées sont:

- Les fauches répétées
- L'arrachage mécanique
- L'application foliaire de PPS

Deux autres méthodes ont été écartées pour cette première étude

- L'arrachage manuel
- L'application d'eau chaude sur le sol

Déroulement du projet



Rappel des objectifs, identification des principales données nécessaires au projet, calendrier et organisation interne

Séance de lancement

Collecte itérative de données partant des informations mises à disposition par Oikos

Réalisation du modèle d'analyse par Quantis, interprétation des résultats, identification et collecte des éventuelles données manquantes

Séance intermédiaire

Finalisation de l'analyse, préparation des livrables finaux

Séance de restitution finale

Votre avis sur la question?

- Quelle est l'alternative qui a le plus d'impact pour tous les indicateurs évalués?
 - Les fauches répétées
 - L'arrachage mécanique +++
 - L'application de glyphosate +
- Quel est le principal contributeur aux fauches répétées?
 - Le déplacement des travailleurs IIIII
 - L'incinération de la biomasse II
 - La consommation d'essence des débroussailleuses 0
- Qu'est-ce qui domine les impacts pour l'arrachage mécanique?
 - La consommation de diesel des machines de chantier I
 - Le transport du matériel d'excavation jusqu'au lieu de traitement IIIII
 - La mise en décharge du matériel d'excavation II



3

Systemes étudiés et unité fonctionnelle

Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est l'unité de référence pour laquelle l'analyse de cycle de vie est réalisée et les résultats présentés.

L'unité fonctionnelle commune pour les 3 méthodes de lutte étudiée a été définie comme

« 200 m² de sol infesté par la renouée du Japon qui est ramené à 5% de couverture maximum à la surface du sol durablement »

Il a été défini que 10 ans sont nécessaires dans les 3 méthodes de lutte évalués pour atteindre ces 5% de couverture durablement (sans risque de nouvelle expansion).

Méthodes de lutte étudiées

Arrachage mécanique



- Excavation du sol la première année
- 5% du sol envoyé en UIOM, 95% en décharge
- 2 visites de contrôle annuelles pendant les années 2 à 10

Fauches répétées



- 6 fauches par an pendant 10 ans
- La biomasse est récoltée et incinérée en UIOM

Application foliaire PPS



- Fauche préliminaire avec récolte de la biomasse qui est incinérée en UIOM
- 2 visites annuelles avec application de glyphosate pendant 10 ans avec une quantité décroissante de glyphosate
- La biomasse est laissée sur place

Frontières du système

L'analyse du cycle de vie réalisée inclus tous les éléments nécessaires aux méthodes de lutte pour remplir l'unité fonctionnelle:

Transport des équipes de travail

Transport du matériel

Production, utilisation (y.c. émissions) et fin de vie du matériel (pelle excavatrice, débroussailleuse, glyphosate)

Transport des déchets (sol / biomasse)

Traitement des déchets (sol / biomasse)



4

Données, base de données et méthode d'impact

Données considérées

Arrachage mécanique

Année 1

- 3 déplacements en camionnette
- Transport de la pelle excavatrice par camion
- Production et fin de vie de la pelle excavatrice de 18 t et utilisation (300 L diesel)
- Volume total excavé: 400 m³ (1.7 t/m³) dont
 - 5% part en UIOM (2 trajets)
 - 95% en décharge pour matériaux d'excavation (13 trajets)

Années 2 à 10

- 2 visites de contrôle par année, 100 km en camionnette à pont par contrôle

Fauches répétées

Année 1 à 10

- 6 déplacements/an en camionnette
- Production et fin de vie des débroussailleuses de 12 kg et utilisation (1.1 L/h, 8 à 12 h/an)
- Biomasse récoltée (200 kg à 1 t/an) transportée en UIOM (6 trajets/an)

Application foliaire PPS

Année 1

- Une fauche préparatoire (voir fauches répétées) + une application PPS (voir application ci-dessous)

Années 2 à 10

- 2 déplacements/an en camionnette
- Production et émissions du glyphosate (16 à 62 g/an)

Transport des équipes de travail

Transport du matériel

Production, utilisation et fin de vie/émissions du matériel (pelle excavatrice, débroussailleuse, glyphosate)

Transport des déchets (sol / biomasse)

Traitement des déchets (sol / biomasse)

Données considérées: arrachage mécanique

Année 1

- Transport de la pelle excavatrice par camion (>32 t) sur 100 km
- Déplacement travailleurs: 3 jours de travail considérés (entre 8 et 42 h, soit 1 à 5 jour si l'on considère 8h/j), 100 km par déplacement en camionnette à pont
- Production et fin de vie de la pelle excavatrice: 18 tonnes en moyenne
- Utilisation de la pelle excavatrice: 300 L diesel
- Volume total excavé: 400 m³ dont 5% part en UIOM et 95% en décharge pour matériaux d'excavation
- Transport du matériel d'excavation en camion de 13 m³: 2 trajet vers l'UIOM (64 km/trajet) et 30 trajets vers la décharge (92 km/trajet)
- Incinération des 5% des 400 m³ excavés (dont 1 t biomasse fraîche considérée sur la base du scénario de fauches répétées). Pas de récupération d'énergie considérée (le matériel d'excavation est en grande partie inerte (sable, argile). Mise en décharge de 95% du volume excavé. Une densité de 1.7 t/m³ est considérée dans le scénario de base.

Années 2 à 10

- 2 visites de contrôle par année, déplacement de 100 km en camionnette à pont par contrôle (une très faible quantité de biomasse est récoltée lors des contrôles (négligé dans l'étude))

Incinération du sol excavé

Pour l'incinération du sol excavé, des données issues de la littérature ont été utilisées pour la composition du sol (Stefanowicz 2017) et un outil excel fourni par la base de données ecoinvent utilisé pour modéliser les impacts liés à l'incinération du sol (<https://db.ecoinvent.org/files.php?area=3e2c0806caa3c&action=list>). Le modèle a été ensuite réalisé dans l'outil SimaPro en utilisant la base de données ecoinvent v3.3.

Table 5
Physical and chemical properties of soils under three invasive plant species and native vegetation within and outside river valleys (means ± standard deviations, N = 8).

Variable	<i>Reynoutria japonica</i>				<i>Rudbeckia laciniata</i>				<i>Solidago gigantea</i>			
	Outside valley		Valley		Outside valley		Valley		Outside valley		Valley	
	Invaded	Native	Invaded	Native	Invaded	Native	Invaded	Native	Invaded	Native	Invaded	Native
Sand (%)	71 ± 15	72 ± 13	44 ± 15	53 ± 19	35 ± 14	26 ± 11	29 ± 7	32 ± 11	58 ± 23	54 ± 24	46 ± 20	42 ± 10
Silt (%)	12 ± 9	11 ± 10	25 ± 8	19 ± 10	32 ± 13	37 ± 9	31 ± 5	32 ± 12	21 ± 11	19 ± 10	21 ± 7	22 ± 10
Clay (%)	17 ± 10	17 ± 7	31 ± 9	28 ± 10	33 ± 11	38 ± 11	40 ± 8	35 ± 6	21 ± 12	27 ± 15	34 ± 14	36 ± 10
Moisture (%)	14 ± 5	12 ± 5	14 ± 5	14 ± 4	16 ± 4	15 ± 4	20 ± 9	18 ± 5	13 ± 3	16 ± 5	13 ± 3	14 ± 4
pH _{H2O}	7.8 ± 0.8	7.7 ± 0.7	7.5 ± 0.8	7.7 ± 0.7	6.5 ± 0.6	6.4 ± 0.6	6.5 ± 0.4	6.6 ± 0.7	6.6 ± 0.8	6.7 ± 0.6	7.6 ± 0.7	7.6 ± 0.7
pH _{KCl}	6.7 ± 1.0	6.3 ± 1.2	6.3 ± 0.9	6.6 ± 0.7	5.0 ± 0.7	5.0 ± 0.7	5.2 ± 0.5	5.4 ± 0.7	5.4 ± 1.0	5.4 ± 0.9	6.5 ± 0.7	6.5 ± 0.7
Organic matter (%)	5.0 ± 2.7	5.8 ± 3.8	3.4 ± 2.2	3.6 ± 1.7	4.9 ± 1.2	4.7 ± 1.2	6.6 ± 3.4	6.5 ± 1.5	5.7 ± 2.1	5.7 ± 2.8	5.3 ± 2.1	5.1 ± 1.1
C _{org} (%)	2.4 ± 1.3	2.8 ± 1.9	1.6 ± 1.0	1.5 ± 0.7	1.9 ± 0.4	2.0 ± 0.6	2.6 ± 1.1	2.6 ± 0.4	2.2 ± 0.7	2.3 ± 0.9	2.3 ± 0.8	2.2 ± 0.7
C _{ex} (g kg ⁻¹)	4.5 ± 3.6	3.7 ± 4.4	2.6 ± 1.6	2.8 ± 1.3	1.9 ± 0.7	1.6 ± 0.7	2.4 ± 0.8	2.3 ± 0.7	2.8 ± 3.5	2.2 ± 1.8	3.6 ± 2.9	3.2 ± 1.1
C _{tot} (g kg ⁻¹)	1.5 ± 0.7	1.2 ± 1.0	1.2 ± 0.5	1.3 ± 0.4	1.0 ± 0.4	0.8 ± 0.3	1.4 ± 0.7	1.5 ± 0.6	1.5 ± 1.5	1.3 ± 1.0	1.5 ± 0.4	1.4 ± 0.5
Fe _T (g kg ⁻¹)	11 ± 8	10 ± 6	16 ± 3	19 ± 5	17 ± 5	15 ± 5	21 ± 8	21 ± 5	13 ± 9	13 ± 10	20 ± 4	18 ± 5
K _T (g kg ⁻¹)	1.1 ± 0.6	1.1 ± 0.7	3.9 ± 2.0	5.5 ± 2.9	3.8 ± 3.2	3.3 ± 2.4	4.8 ± 2.2	5.7 ± 2.6	2.1 ± 1.5	2.1 ± 1.5	4.8 ± 2.1	4.0 ± 1.5
K _{ex} (mg kg ⁻¹)	251 ± 148	155 ± 115	205 ± 83	215 ± 79	144 ± 106	171 ± 85	116 ± 51	223 ± 104	87 ± 39	81 ± 65	182 ± 84	152 ± 65
Mg _T (g kg ⁻¹)	1.8 ± 1.5	1.6 ± 1.5	4.0 ± 1.0	4.7 ± 1.3	3.1 ± 1.1	2.9 ± 1.1	4.2 ± 1.1	4.2 ± 1.3	2.3 ± 1.4	2.3 ± 1.5	4.4 ± 1.2	4.2 ± 1.2
Mg _{ex} (mg kg ⁻¹)	214 ± 105	193 ± 175	180 ± 64	212 ± 92	220 ± 105	175 ± 91	297 ± 146	271 ± 96	141 ± 73	146 ± 79	273 ± 83	255 ± 96
Mn _T (mg kg ⁻¹)	327 ± 194	362 ± 250	442 ± 135	556 ± 170	460 ± 109	403 ± 115	492 ± 129	544 ± 158	358 ± 237	376 ± 235	533 ± 116	503 ± 116
N _T (g kg ⁻¹)	2.2 ± 1.3	2.3 ± 1.2	1.4 ± 0.6	1.6 ± 0.5	2.0 ± 0.5	2.2 ± 0.6	2.6 ± 1.0	2.5 ± 0.5	2.1 ± 0.5	2.4 ± 0.9	1.8 ± 0.8	1.8 ± 0.8
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	9.1 ± 8.2	10.6 ± 7.5	3.6 ± 2.5	4.2 ± 3.4	6.8 ± 5.7	7.5 ± 5.0	2.9 ± 1.4	3.3 ± 2.5	6.5 ± 6.7	3.8 ± 3.2	4.5 ± 2.4	6.5 ± 4.5
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	19.2 ± 11.5	7.3 ± 6.5	17.7 ± 12.0	12.2 ± 9.3	10.1 ± 6.9	17.2 ± 10.7	17.0 ± 9.2	20.0 ± 13.1	6.2 ± 5.9	7.5 ± 4.1	5.2 ± 6.2	10.4 ± 10.1
Na _T (mg kg ⁻¹)	50 ± 51	53 ± 57	107 ± 61	105 ± 40	100 ± 47	85 ± 49	133 ± 56	137 ± 55	85 ± 78	62 ± 48	100 ± 36	93 ± 48
P _T (mg kg ⁻¹)	848 ± 508	851 ± 377	265 ± 66	393 ± 263	404 ± 217	732 ± 434	287 ± 102	533 ± 535	680 ± 536	651 ± 478	496 ± 252	606 ± 311
P _{oc} (mg kg ⁻¹)	3.4 ± 1.1	4.5 ± 1.6	5.9 ± 2.2	6.7 ± 2.0	5.3 ± 1.0	4.9 ± 1.0	5.8 ± 0.8	6.6 ± 2.6	5.9 ± 2.8	5.7 ± 3.8	4.9 ± 1.7	5.4 ± 1.7
S _T (g kg ⁻¹)	0.39 ± 0.19	0.46 ± 0.25	0.42 ± 0.23	0.44 ± 0.30	0.28 ± 0.06	0.28 ± 0.08	0.38 ± 0.20	0.38 ± 0.05	0.33 ± 0.14	0.36 ± 0.18	0.78 ± 0.82	0.73 ± 0.74
Zn _T (mg kg ⁻¹)	377 ± 258	367 ± 380	130 ± 129	189 ± 207	82 ± 17	82 ± 27	107 ± 40	112 ± 31	95 ± 54	101 ± 61	262 ± 163	233 ± 107

EX-exchangeable, OC-Olsen, ORG-organic, T-total

German name	German name	German name for waste	Formula	german synonyms	unit	mean value
upper heating value	Ho	Obere Heizwert	MJ/kg			0.00
lower heating value	Hu	Untere Heizwert	MJ/kg			0.00
Water content	H2O	Wassergehalt	kg/kg waste			0.14
Oxygen (without O from H2O)	O	Sauerstoff	kg/kg waste			0.440346009
Hydrogen (without H from H2O)	H	Wasserstoff	kg/kg waste			0.004204237
Carbon (enter share of biogenic C below)	C	Kohlenstoff	kg/kg waste			0.02
Sulfur	S	Schwefel	kg/kg waste			0.000405
Nitrogen	N	Stickstoff	kg/kg waste			0.0018
Phosphor	P	Phosphor	kg/kg waste			0.0005565
Boron	B	Bor	kg/kg waste			0
Chlorine	Cl	Chlor	kg/kg waste			0
Bromine	Br	Brom	kg/kg waste			0
Fluorine	F	Fluor	kg/kg waste			0
Iodine	I	Jod	kg/kg waste			0
Silver	Ag	Silber	kg/kg waste			0
Arsenic	As	Arsen	kg/kg waste			0
Barium	Ba	Barium	kg/kg waste			0
Cadmium	Cd	Cadmium	kg/kg waste			0
Cobalt	Co	Kobalt	kg/kg waste			0
Chromium	Cr	Chrom	kg/kg waste			0
Copper	Cu	Kupfer	kg/kg waste			0
Mercury	Hg	Quecksilber	kg/kg waste			0
Manganese	Mn	Mangan	kg/kg waste			0.0003845
Molybdenum	Mo	Molybdän	kg/kg waste			0

Données considérées: scénario fauches répétées

Déplacement travailleurs: camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford transit), 100 km par déplacement

Production et fin de vie des débroussailleuses

Utilisation des débroussailleuses: consommation 1.1 L/heure d'utilisation

Transport de la biomasse récoltée jusqu'à l'UIOM en camionnette à pont

Incinération de la biomasse (85% d'humidité, pas d'énergie valorisable: l'énergie de la biomasse incinérée est consommée pour l'évaporation de l'eau contenue dans la biomasse)

Année		1	2	3	4	5	6	7 à 10
Déplacements équipe	#	6 déplacements par an, 100 km/déplacement						
Utilisation débroussailleuse	h	12	12	10	10	8	8	8
Biomasse récoltée	t	1	0.8	0.65	0.45	0.3	0.25	0.2
Trajets à UIOM	#	1 trajet à l'UIOM à chaque intervention, i.e. 6 x/an, 64 km aller-retour pour chaque déplacement						

Production, fin de vie et utilisation des débroussailleuses

Le poids de la débroussailleuse considérée (STIHL FR 460 TC-M) est d'environ 12 kg (fiche technique Stihl)

Les hypothèses suivantes ont été prises quant à sa composition:

- 2 kg aluminium / 1 kg d'acier / 5 kg de moteur / 3 kg PE / 1 kg nylon (système d'attache)

Une distribution sur 500 km en camion est considérée (hypothèse)

La durée de vie est de 10 ans, avec un usage sur 7 mois, 20 jours par mois et 4 heures/jour, soit un total de 5600 heures sur la durée de vie de la débroussailleuse (hypothèse)

En fin de vie, il est considéré que la débroussailleuse est démantelée et que les pièces métalliques sont recyclées tandis que les pièces en plastique sont incinérées (hypothèse)

La débroussailleuse consomme 1.1 L/h d'utilisation (donnée Oikos) d'un mélange essence : huile de moteur avec un ratio 1:50 (fiche technique Stihl)

Données considérées: application foliaire PPS

Année 1 fauche préparatoire

- Déplacement travailleurs: camionnette à pont (p.ex. Toyota Dyna 150 ou Ford transit), 100 km par déplacement
- Production et fin de vie des débroussailleuses
- Utilisation des débroussailleuses: consommation 1.1 L/heure d'utilisation
- Transport de la biomasse récoltée jusqu'à l'UIOM en camionnette à pont (1 tonne = 1 trajet)
- Incinération de la biomasse (85% d'humidité, pas d'énergie valorisable: l'énergie de la biomasse incinérée est consommée pour l'évaporation de l'eau contenue dans la biomasse)

Années 1 à 10: application de glyphosate

- 1 intervention la première année, 2 interventions/an les années 2 à 10
- Déplacement travailleurs en camionnette à pont, 100 km par déplacement

Année	1	2	3	4 à 10
Glyphosate appliqué g	62	32	16	16*

*hypothèse que les années 4 à 10 sont égales à l'année 3 (scénario conservateur). En réalité, les visites de contrôles se font 2x/an et l'herbicide est appliqué seulement en cas de besoin (si la couverture est supérieure à 5%)

Application de glyphosate

Le matériel d'application (pulvérisateur) et l'eau de dilution sont négligés pour cette étude simplifiée.

La production du glyphosate est incluse, ainsi que les émissions dans l'air (1% de la quantité appliquée), dans le sol (4.55% de la quantité appliquée) et sur les feuilles (94.45% de la quantité appliquée).

La partie appliquée sur les feuilles est considérée comme une émission dans le sol car le matériel végétal est laissé sur place et va donc être en contact du sol. Une partie pourrait être lessivée dans les eaux de surface en cas de pluie mais ce scénario n'est pas considéré.

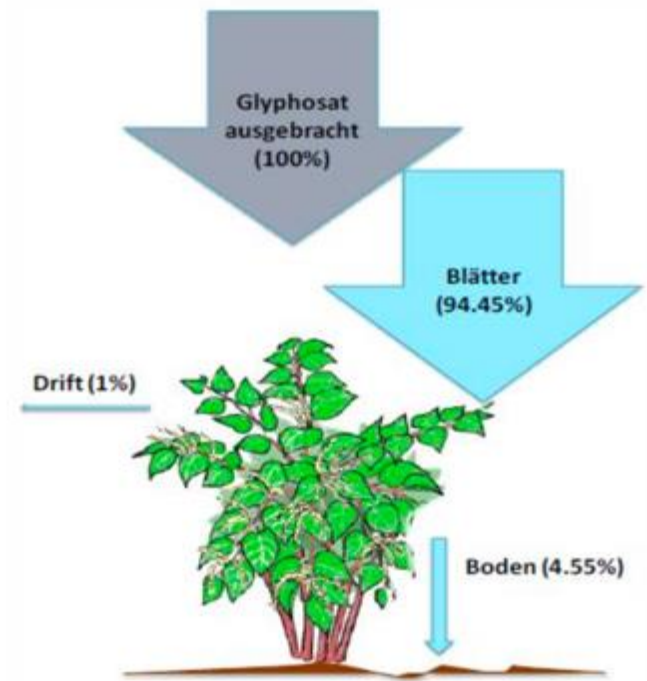


Abbildung 67: Verteilung von Glyphosat nach Blattapplikation mit der Rückenspritze beim Ersteinsatz.

Base de données d'inventaire, méthode d'impact et software

Cette étude a été réalisée avec la **base de données d'inventaire ecoinvent 3 (v3.3.)**, base de données leader sur le marché.



La méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie utilisée est **IMPACT 2002+**.
Les indicateurs suivant sont évalués:



EMISSIONS DE GAZ A
EFFET DE SERRE (GES)



CONSOMMATION
DE RESSOURCES



UTILISATION
D'EAU



QUALITE DES
ECOSYSTEMES



SANTE HUMAINE

En complément, Quantis a analysé les résultats avec une deuxième méthode d'impact: la **saturation écologique** (méthode UBP 2013).

Le software **SimaPro** a été utilisé pour la modélisation. Il permet de lier les flux de référence avec la base de données d'inventaire et de combiner ces informations avec les méthodes d'évaluation des impacts, tout cela pour obtenir au final les scores d'impacts présentés dans ce rapport.



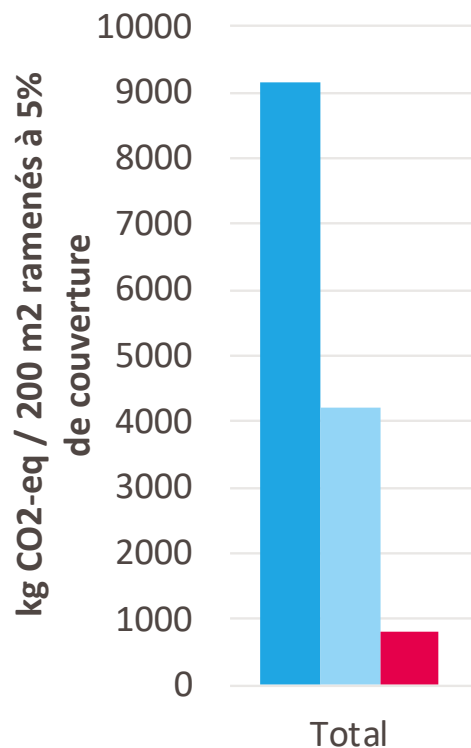
Les choix méthodologiques proposés sont reconnus au niveau national et international et prennent en compte les **recommandations fournies par Frank Hayer du BAFU**.



5

Résultats et messages clés

Emissions de GES



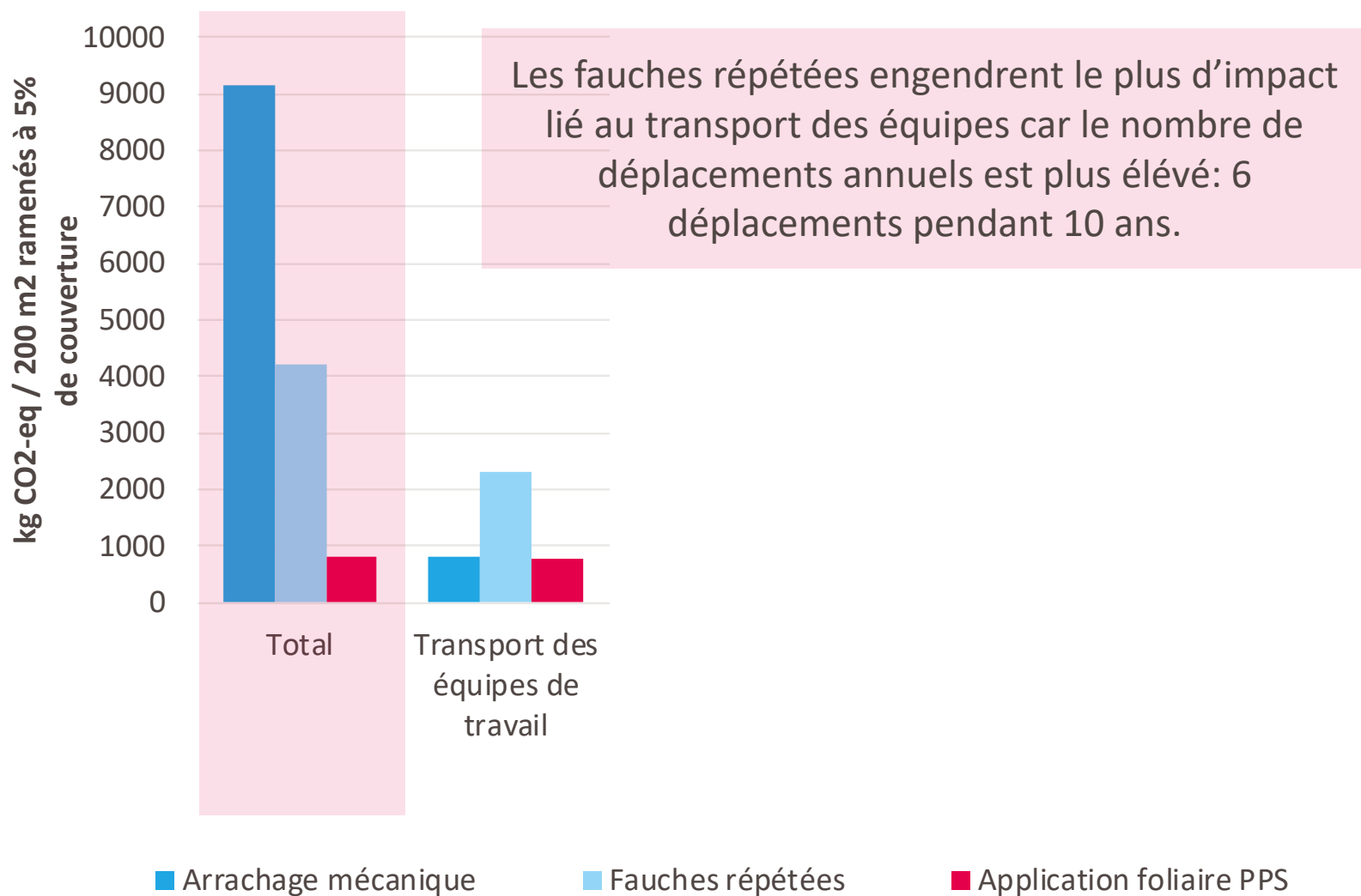
L'arrachage mécanique est la méthode de lutte qui émet le plus de gaz à effet de serre: environ 2 fois plus que les fauches répétées et 11 fois plus que les applications foliaire PPS

■ Arrachage mécanique

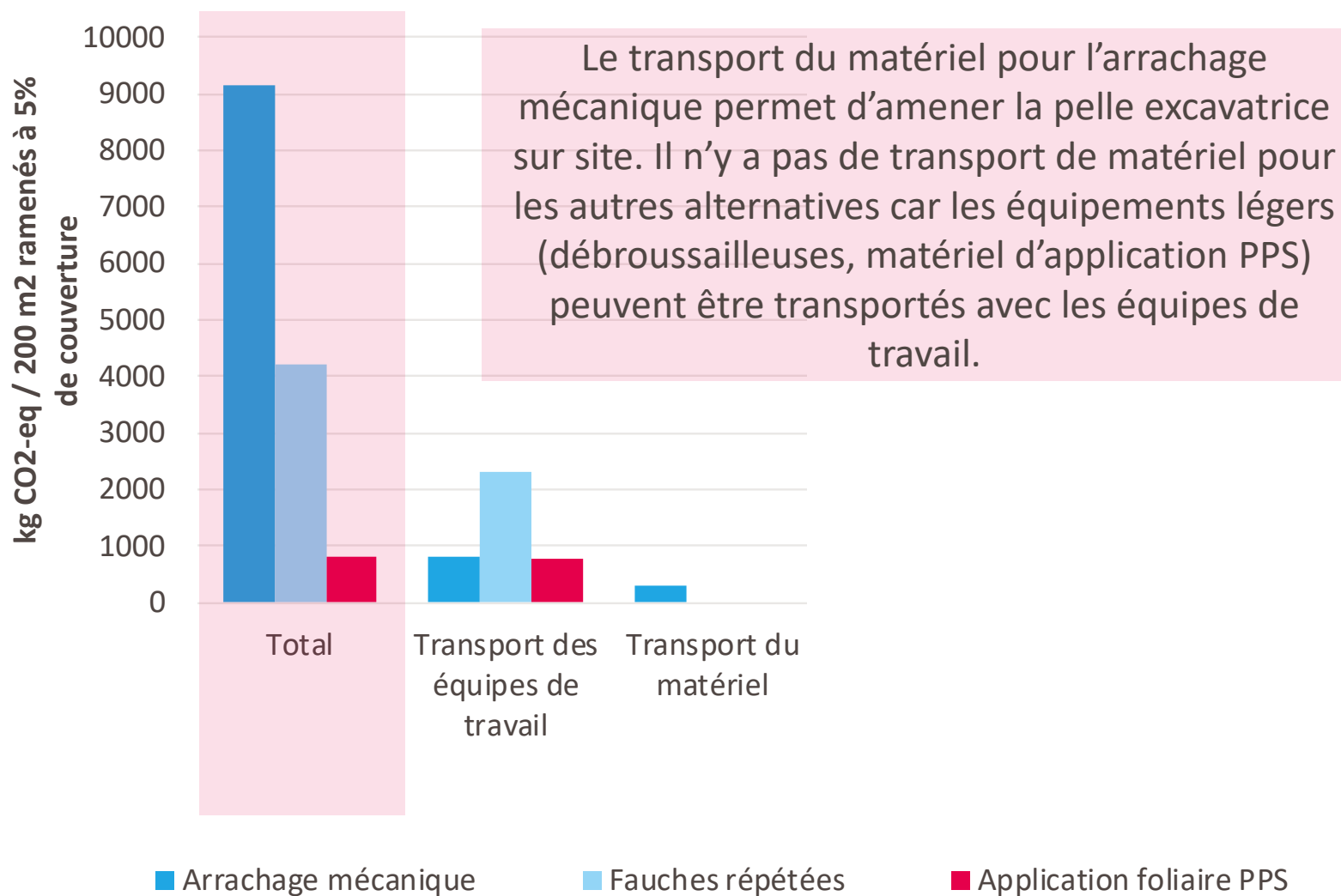
■ Fauches répétées

■ Application foliaire PPS

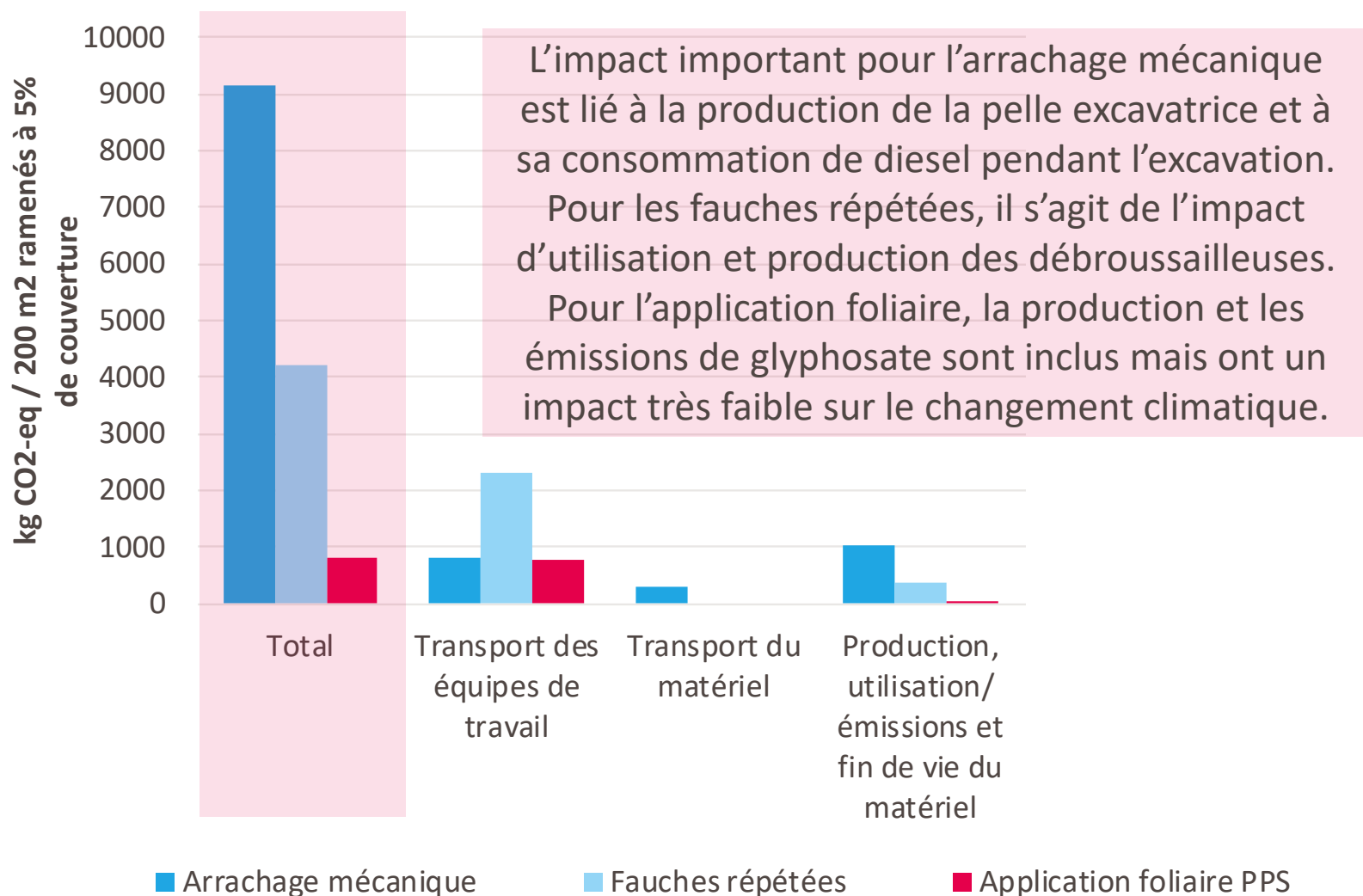
Emissions de GES



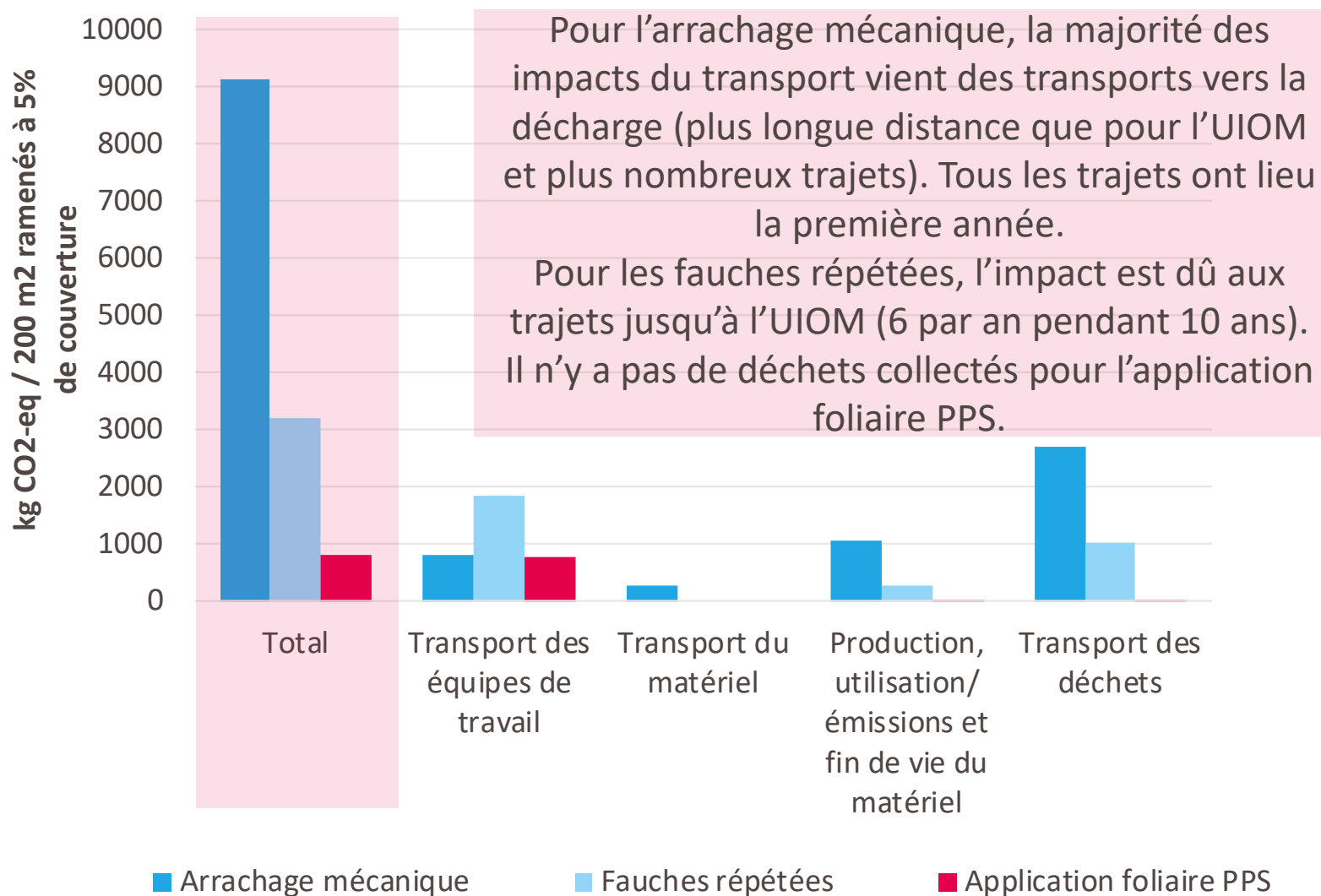
Emissions de GES



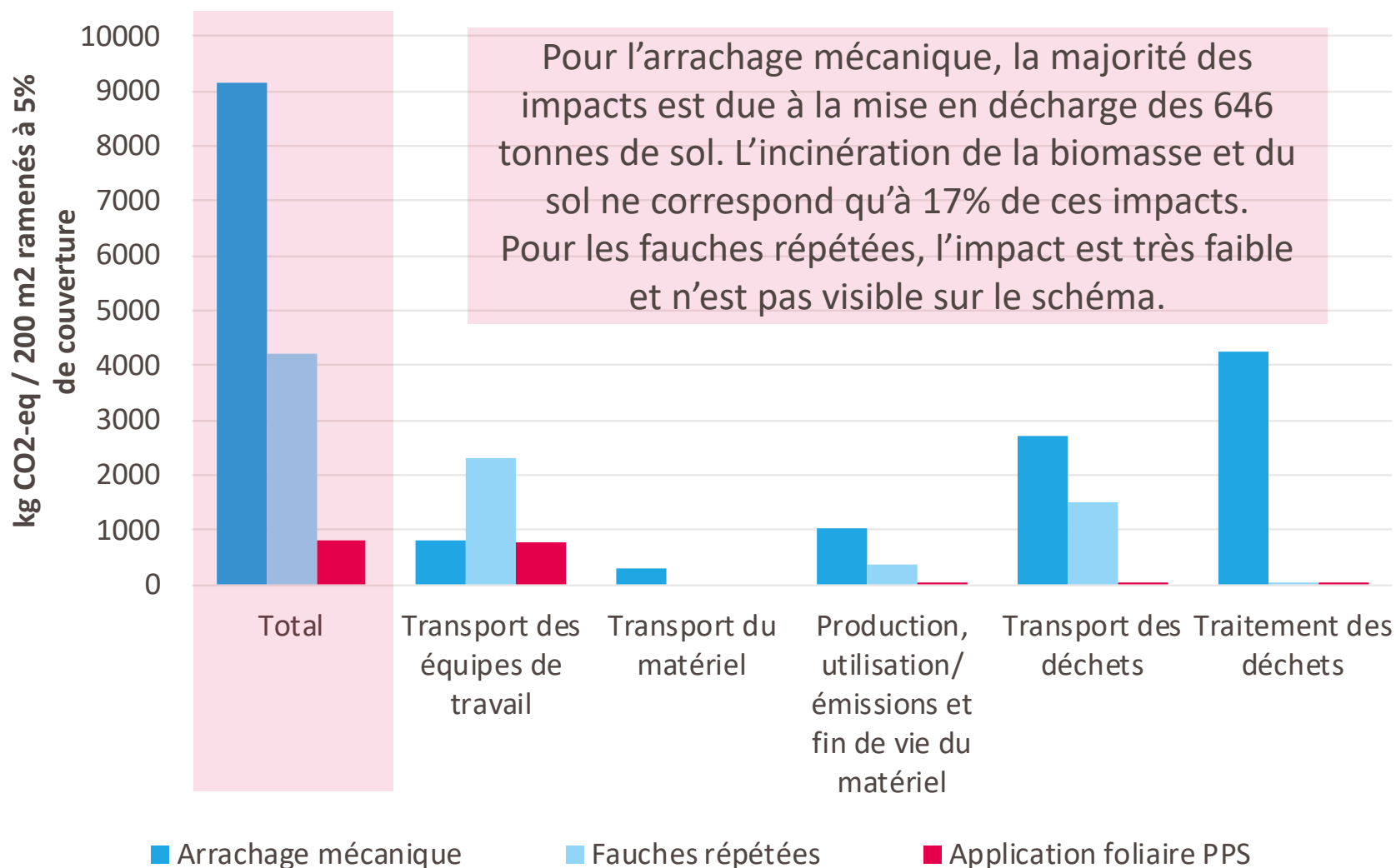
Emissions de GES



Emissions de GES

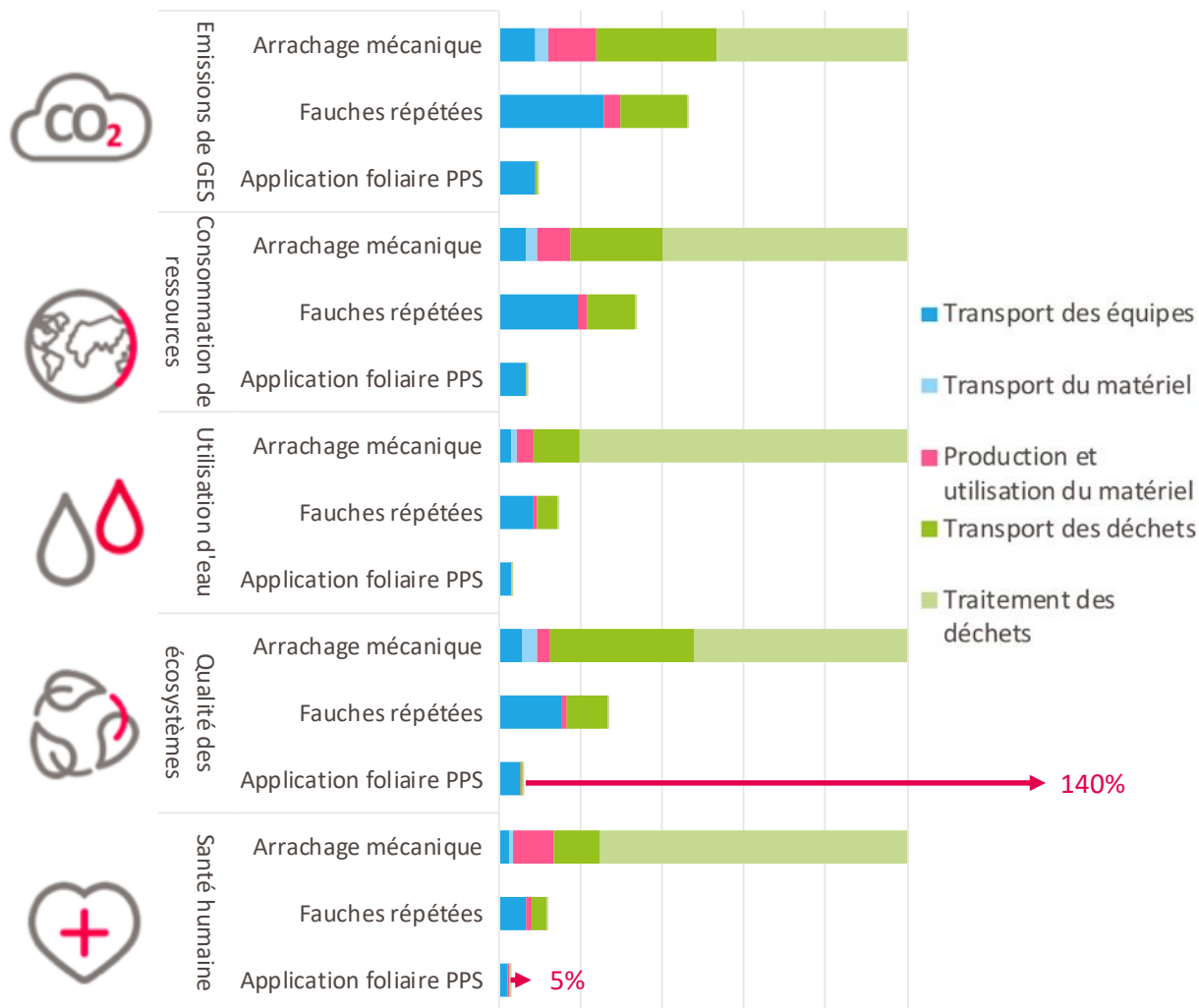


Emissions de GES



Résultats globaux – IMPACT 2002 +

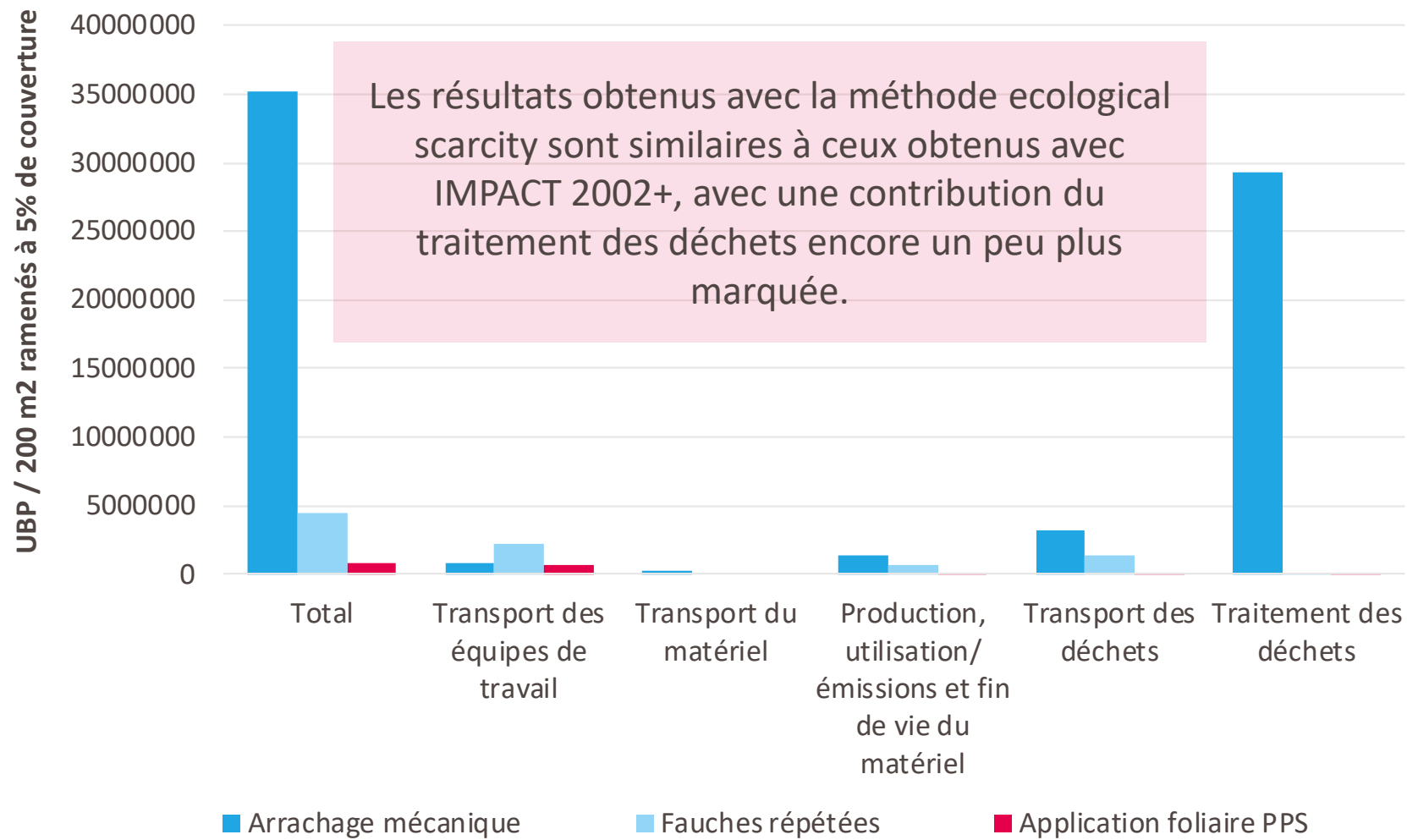
0% 20% 40% 60% 80% 100%



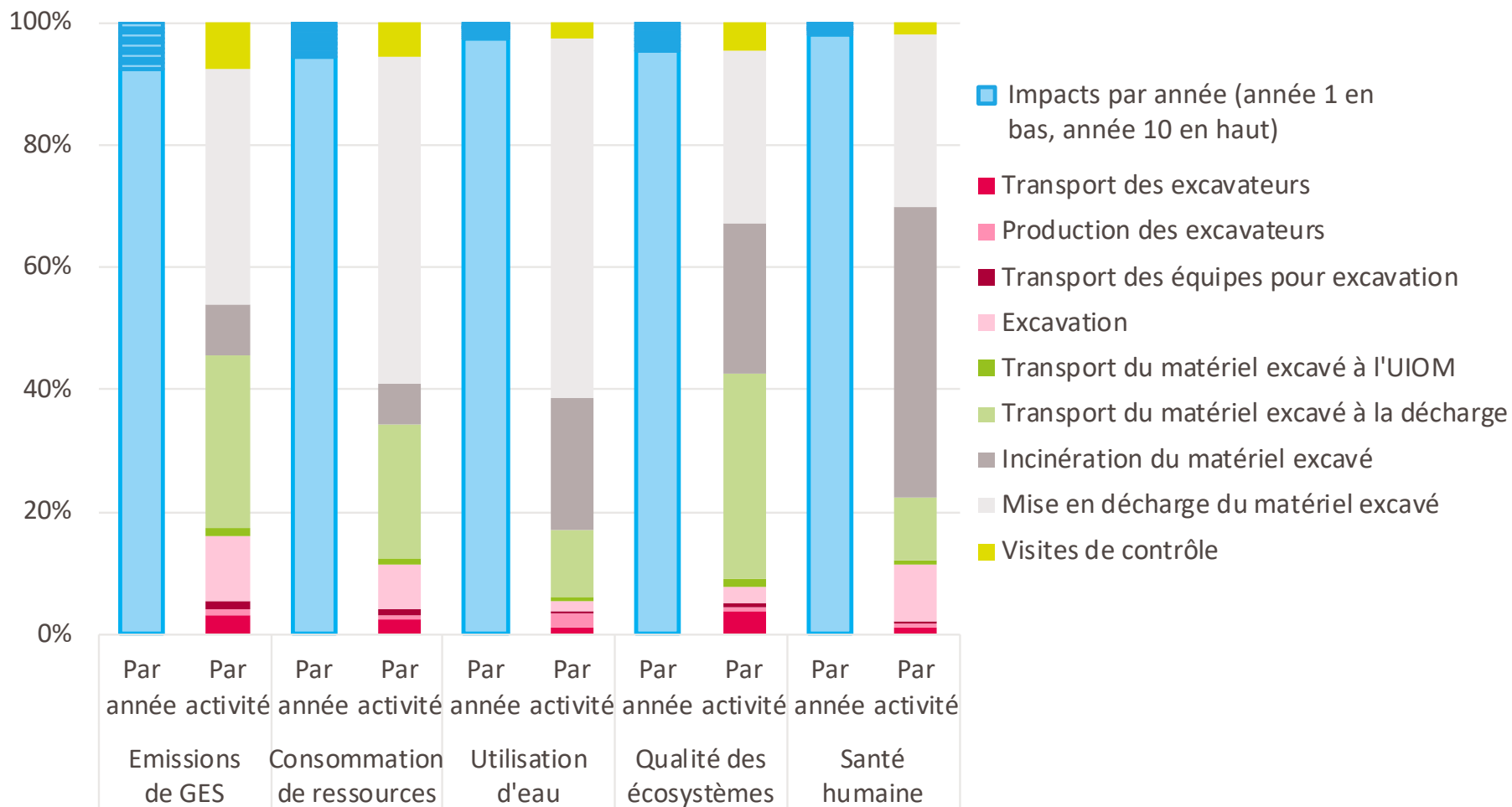
A priori le scénario d'application foliaire PPS est meilleur avec les données actuelles.

En revanche, il y a de grosses incertitudes sur la toxicité du glyphosate. Certaines études montrant que sa toxicité serait jusqu'à 1000 x plus élevée que ce qui a été considéré jusqu'à aujourd'hui (et montré dans le scénario de base). Cette influence est montrée pour la santé humaine et aussi pour la qualité des écosystèmes (bien que cette augmentation d'un facteur 1000 ne soit pas démontrée pour l'écotoxicité).

Ecological scarcity



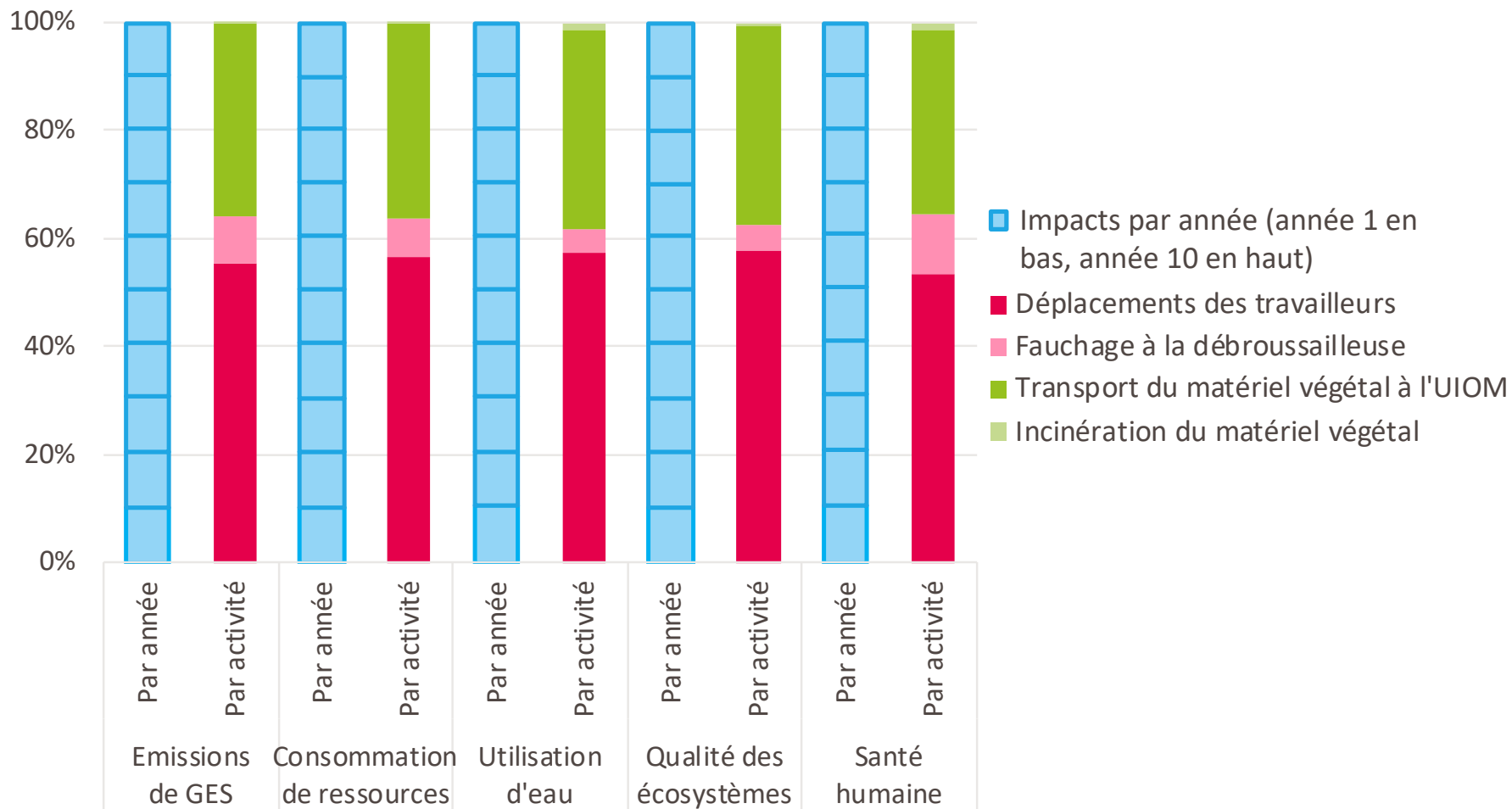
Résultats arrachage mécanique – IMPACT 2002+



Résultats arrachage mécanique – IMPACT 2002+

- Les impacts ont quasiment tous lieu la première année lors de l'arrachage mécanique. Les visites de contrôle les 9 autres années contribuent à 1 à 6% des impacts.
- Les différents contributeurs sont très similaires d'un indicateur à l'autre
- Les impacts sont dominés par la mise en décharge et le transport jusqu'à la décharge. Cela s'explique par la grande quantité de sol qui est traité (380 m³, soit 646 tonnes).
- L'impact de l'incinération et de l'excavation sont aussi des contributeurs importants. Le premier à cause des émissions directes de l'incinération et le second dû aux émissions lors de la combustion du diesel de l'excavatrice.

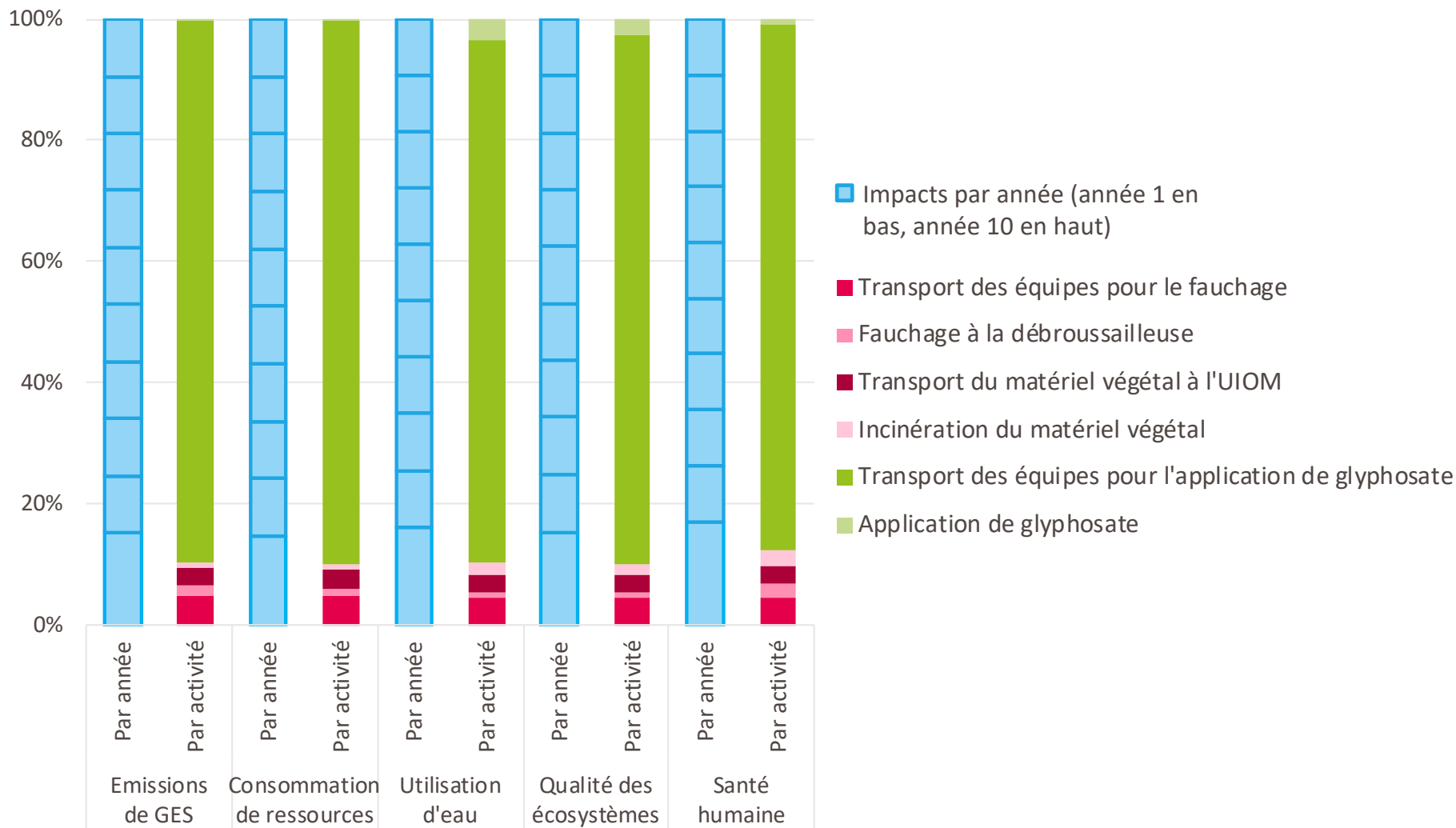
Résultats fauches répétées – IMPACT 2002+



Résultats fauches répétées – IMPACT 2002+

- Les différents contributeurs sont très similaires d'un indicateur à l'autre
- Les impacts sont dominés par les transports: déplacements des équipes de travailleurs ou trajets à l'incinérateur.
- L'impact de ces transports est lié à l'extraction (consommation de ressources) et la combustion (autres indicateurs) du diesel consommé par la camionnette
- L'impact lié à la débroussailleuse est minime: faible consommation d'essence, équipement léger. L'impact de la débroussailleuse est lui-même principalement lié à la consommation d'essence (90-99% des impacts de la débroussailleuse), l'huile qui constitue le mélange ainsi que la production et la fin de vie de l'appareil sont de très faibles contributeurs
- L'impact de l'incinération du matériel végétal est faible: émissions de carbone biogénique

Résultats application foliaire PPS – IMPACT 2002+

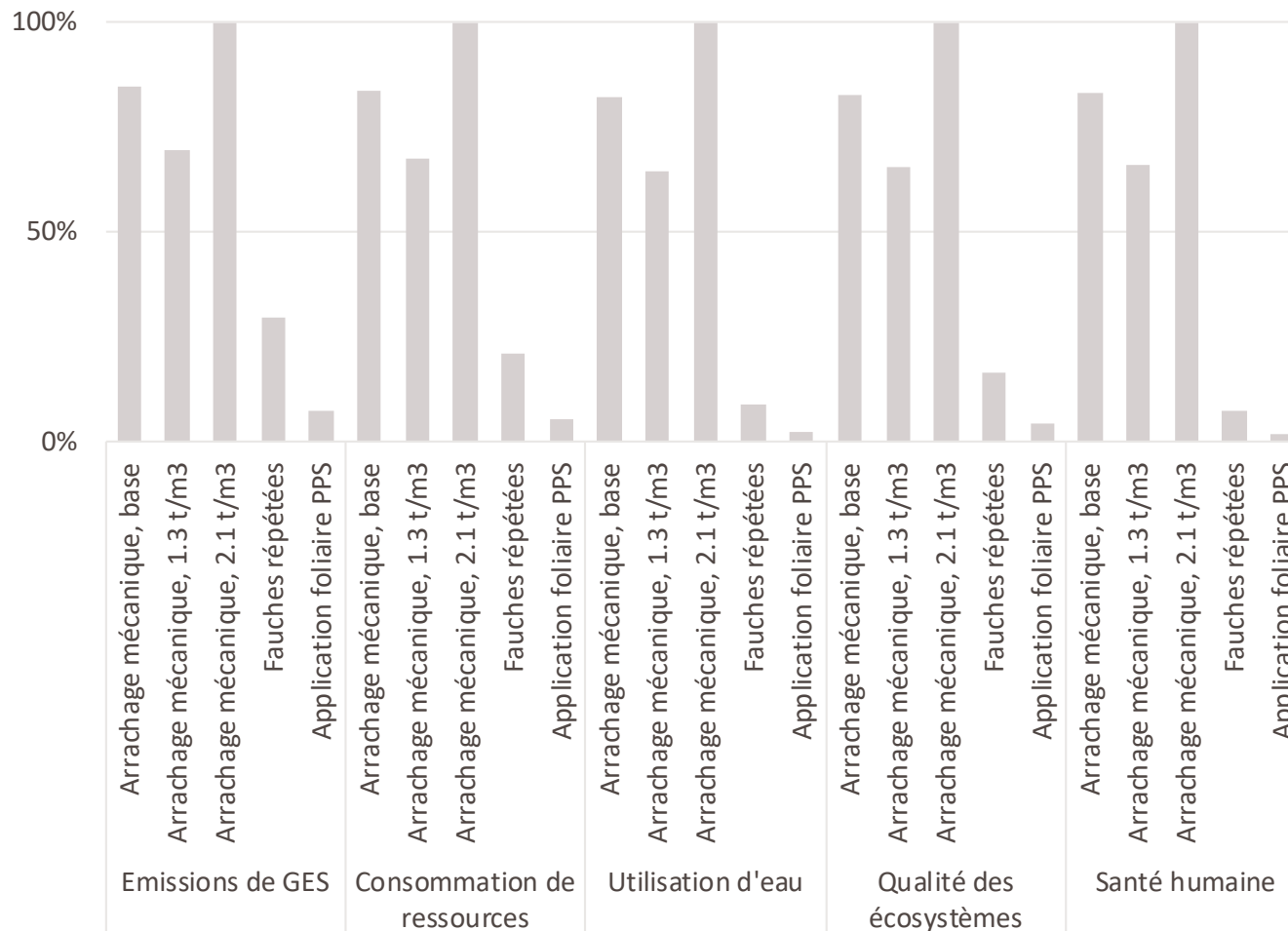


Résultats application foliaire PPS – IMPACT 2002+

- L'impact de la première année est plus important que les années suivantes dû à la fauche préliminaire
- Les différents contributeurs sont très similaires d'un indicateur à l'autre
- Les impacts sont dominés par le déplacement des travailleurs pour les applications de glyphosate (6 déplacements par an)
- L'application de glyphosate ne semble pas un contributeur important mais la toxicité du produit est controversée et les facteurs utilisés dans cette étude correspondent plutôt à une toxicité basse. Une analyse de sensibilité est conduite sur ce point

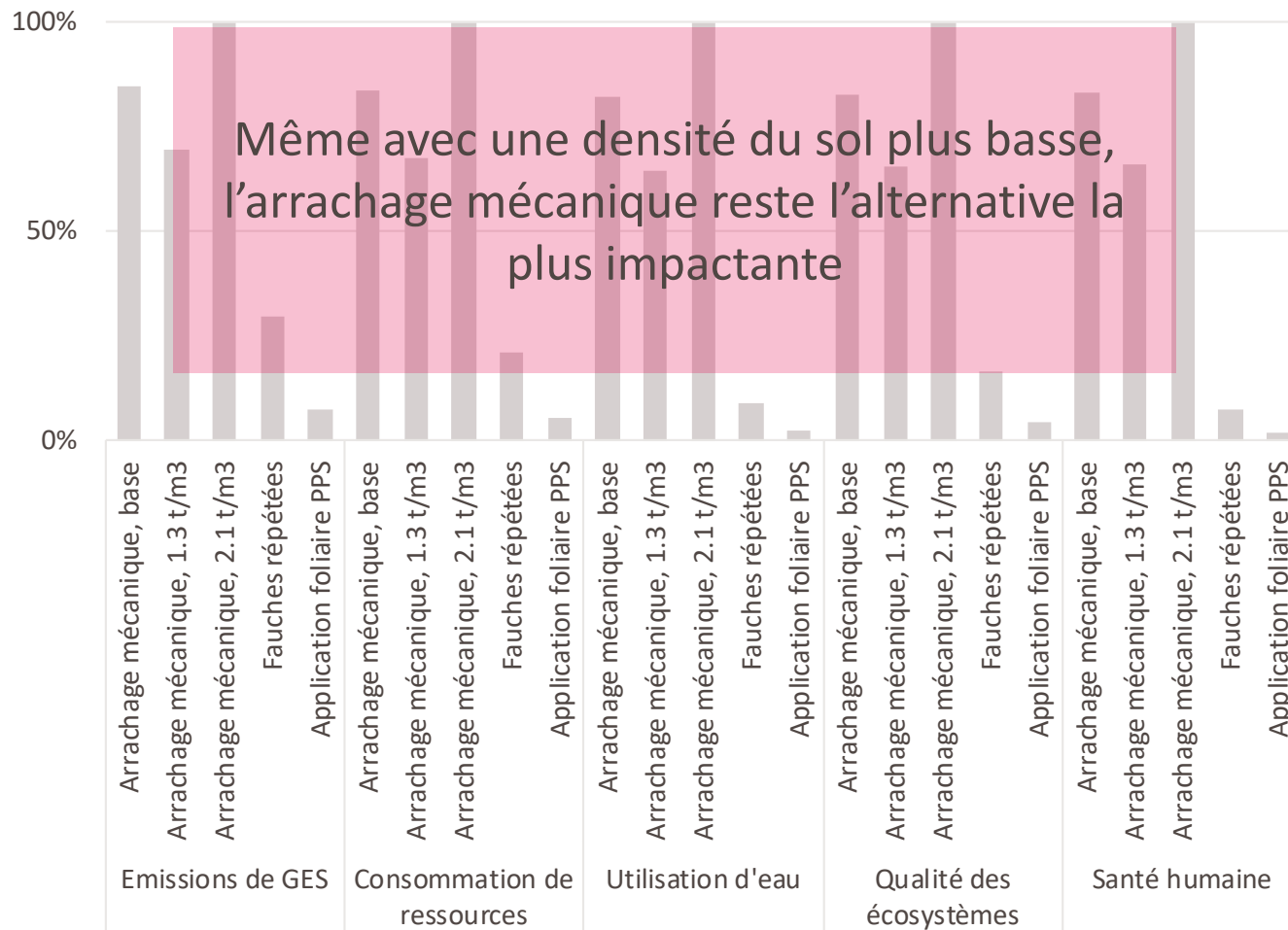
Analyse de sensibilité pour l'arrachage mécanique

Evaluation de la variation des impacts avec une densité du sol de 1.3 t/m³ ou de 2.1 t/m³



Analyse de sensibilité pour l'arrachage mécanique

Evaluation de la variation des impacts avec une densité du sol de 1.3 t/m³ ou de 2.1 t/m³



Messages clés

- L'arrachage mécanique?
 - C'est l'alternative qui a le plus d'impact pour tous les indicateurs.
- Les fauches répétées?
 - Les fauches émettent 3400 kg CO₂-eq de plus sur 10 ans que le scénario d'application de glyphosate, soit l'équivalent de 5 personnes prenant l'avion de Paris à New York.
- L'application foliaire PPS?
 - Ce scénario est le moins impactant mais est lié à la plus grande incertitude pour les indicateurs santé humaine et qualité des écosystèmes.

NOTRE RECOMMANDATION PARMI LES MÉTHODES ÉVALUÉES

« Si les fauches répétées et l'application foliaire PPS sont financièrement acceptables, les fauches répétées peuvent être favorisées, à condition de compenser les émissions carbone supplémentaires qui y sont liées (de l'ordre de 100 à 200 CHF).

Cela permet d'éviter le risque de toxicité humaine et d'écotoxicité qui est incertain mais potentiellement important. »

Limite spécifique concernant la toxicité du glyphosate

Il y a une grande incertitude concernant la toxicité du glyphosate:

- Les méthodes actuelles ne montrent pas un grand impact pour le glyphosate mais des études reposent régulièrement la question de sa toxicité (par exemple le changement de positionnement de l'OMS sur le glyphosate qui passe de potentiellement cancérigène à probablement cancérigène (2015)* ou l'étude Defarge 2018** qui mentionne que la toxicité du glyphosate pourrait être sous-estimée d'un facteur 1000***).
- Les métabolites issus du glyphosate une fois appliqué ne sont pas incluses dans cette étude (p.ex. AMPA).

*OMS 2015: déclaration sur la base de IARC (2015) IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. 20 March 2015.

**Defarge 2018: Defarge N, Spiroux de Vendômois J, Séralini G E, 2018. *Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides*. Toxicology reports, 156-163.

*** Il n'y a pas d'indications dans cette publication quant à l'écotoxicité du glyphosate. On ne sait donc pas si elle est elle aussi sous-estimée. La projection présentée en page 28 est donc à considérer avec précaution.

Limite spécifique concernant la biodiversité

L'impact direct sur la biodiversité des méthodes de lutte n'est pas inclus

- L'**arrachage mécanique** enlève tout le sol et annihile donc toute la biodiversité indigène présente, l'usage de machines lourdes et les accès ont également un impact sur la biodiversité locale (compactage, arrachage). En revanche, l'intervention est courte et la biodiversité peut reconquérir rapidement les lieux.
- Pour les **fauchages répétés** à la débroussailleuse, il est difficile de faire de la fauche sélective, la végétation indigène est donc fauchée également. Suivant les espèces, cela peut diminuer ou favoriser leur capacité à reprendre leur place et occuper le terrain.
- L'**application de glyphosate** a un impact sur les plantes indigènes et diminue leur capacité à reprendre leur place (alors que l'occupation du terrain par les plantes indigènes aide dans la lutte contre la renouée). Il a également un impact sur la biodiversité du sol qui est inclus dans l'étude mais avec un risque de sous-estimation (voir point précédent)
- Bien que non-évalué dans le cadre de ce projet, l'**arrachage manuel** est sans doute une option très intéressante en ce qui concerne l'impact direct sur la biodiversité car il permet un arrache sélectif et donc une meilleure reprise de la végétation indigène.

Pour rappel, le bienfait direct sur la biodiversité d'éliminer la renouée du Japon n'est pas inclus dans cette étude mais il est considéré que l'efficacité après 10 ans pour les différents scénarios est exactement la même (unité fonctionnelle). Il faut également avoir en tête la faible biodiversité dans les surfaces envahies par la renouée du Japon: quelque soit la méthode employée, le bilan de l'opération en terme de biodiversité serait positif.

Limites de l'étude

- Cette étude ne tient pas compte que toutes les méthodes ne sont pas applicables dans tous les cas: p.ex. glyphosate proscrit en bordure de cours d'eau, excavation mécanique peu aisée dans certains lieux très accidentés ou difficilement accessibles, etc. et n'inclut pas non plus d'évaluation des coûts.
- L'unité fonctionnelle considère 10 ans de traitement/suivi pour les 3 alternatives bien que cette durée ne soit pas absolument nécessaire dans les 3 scénarios pour obtenir une couverture de 5% maximum sur la durée.
- Certaines données utilisées sont des hypothèses et sont donc liées à plus d'incertitudes, p.ex. la durée de vie des débroussailleuses ainsi que leur composition
- Certains éléments n'ont pas été inclus dans l'évaluation car il est attendu qu'ils aient une faible contribution, néanmoins il reste important de garder en tête qu'ils ne sont pas considérés. C'est le cas p.ex. pour l'entretien des débroussailleuses, la production, l'entretien et la fin de vie des pulvérisateurs et des protections pour l'application de glyphosate.
- La composition du sol, sa teneur en matière organique et la part de matière organique partant en décharge sont basés sur la littérature (pour un autre pays que la Suisse pour les 2 premier points)et sur des hypothèses (pour le dernier point).

Pistes à explorer

Autres méthodes de lutte

- Certaines méthodes de lutte comme l'arrachage manuel et l'application d'eau chaude sur le sol ont été écartées pour cette étude. Elles pourraient être évaluées et positionnées par rapport aux 3 premières méthodes analysées.
- L'arrachage manuel est une méthode très couramment mise en œuvre, notamment en bordure de cours d'eau. La matière organique est généralement laissée sur place sur un lit de bois mort, n'engendrant pas de transport des déchets. Cette alternative serait donc intéressante à positionner par rapport aux 3 évaluées dans cette étude.

LCA avec revue critique

- La présente étude est une ACV de type screening. Une étude plus détaillée accompagnée d'une revue critique pourrait être une suite possible selon l'intérêt des parties prenantes. Elle permettrait de renforcer la crédibilité de l'étude et d'en communiquer largement les résultats.

Evaluation plus poussée du glyphosate

- La toxicité et l'écotoxicité du glyphosate sont incertaines (soulignées par certaines études, remises en question par d'autres, enjeux économiques et politiques importants). Plusieurs éléments permettraient d'avoir une meilleure idée sur cet élément:
 - Une mise à jour des facteurs utilisés sur la base de la littérature récente
 - Un test d'utilisation d'autres méthodes d'impact ou une analyse focalisée au niveau des «midpoints» toxicité humaine et écotoxicité
 - L'ajout de l'impact des produits de dégradation du glyphosate («métabolites»)

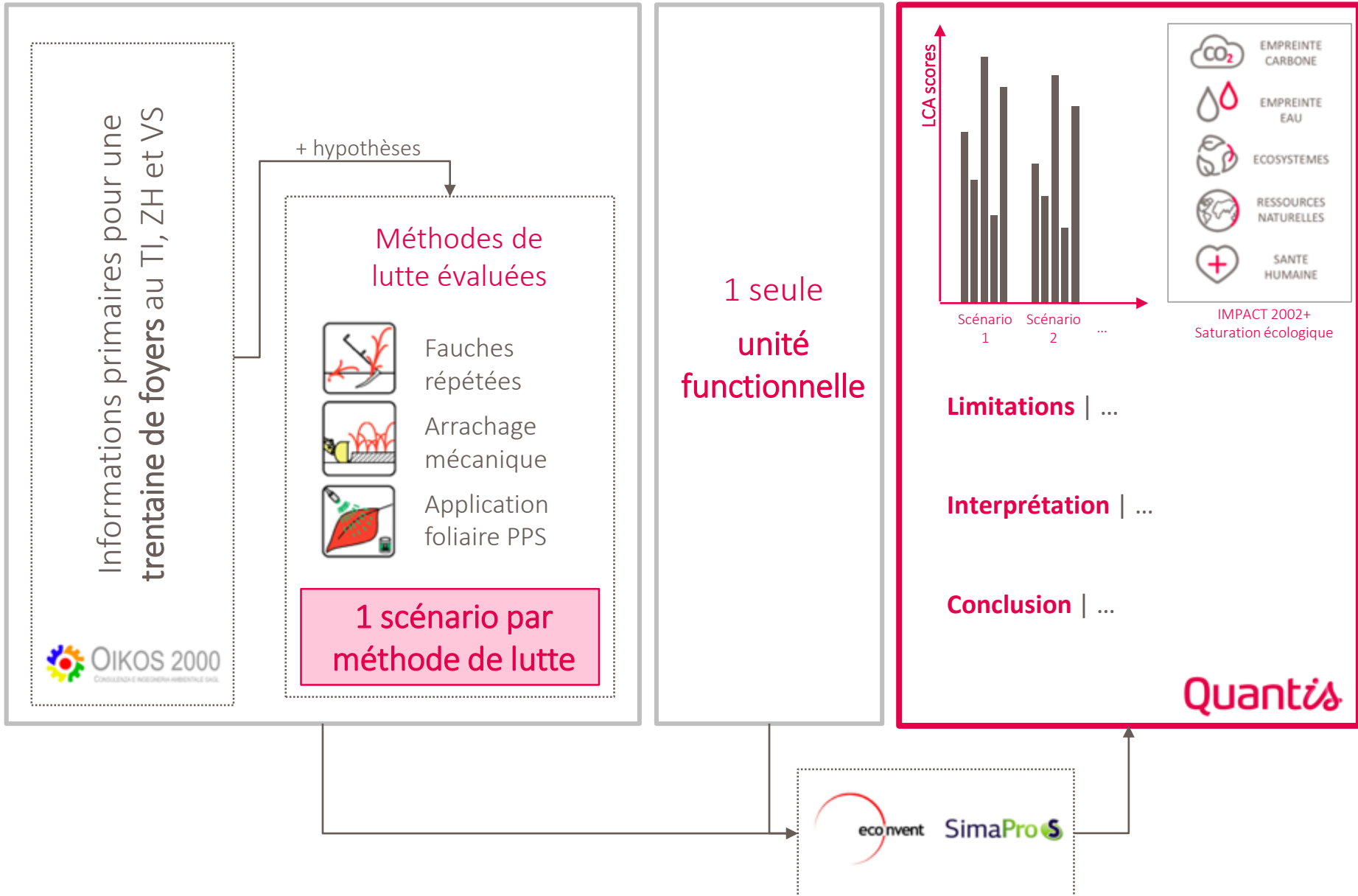
Merci de votre attention!



6

Annexes

Votre projet en un coup d'oeil



Résultats en valeurs absolues

IMPACT 2002+		Transport des équipes de travail	Transport du matériel	Production, utilisation/ émissions et fin de vie du matériel	Transport des déchets	Traitement des déchets	Total
Emissions de GES (kg CO2-eq)	Arrachage mécanique	815	291	1 049	2 719	4 267	9 141
	Fauches répétées	2 330	0	376	1 491	11	4 208
	Application foliaire PPS	777	0	17	25	3	821
Consommation de ressources (MJ)	Arrachage mécanique	12 993	4 776	16 031	44 676	117 609	196 086
	Fauches répétées	37 124	0	4 701	23 759	104	65 688
	Application foliaire PPS	12 375	0	220	396	24	13 015
Utilisation d'eau (m3)	Arrachage mécanique	8	3	10	30	209	260
	Fauches répétées	22	0	2	14	1	38
	Application foliaire PPS	7	0	0	0	0	8
Qualité des écosystèmes (PDF-m2-an)	Arrachage mécanique	296	210	175	1 961	2 911	5 552
	Fauches répétées	845	0	70	541	7	1 463
	Application foliaire PPS	282	0	11	9	2	303
Santé humaine (DALY)	Arrachage mécanique	4.50E-04	2.40E-04	2.04E-03	2.26E-03	1.53E-02	2.03E-02
	Fauches répétées	1.27E-03	0	2.60E-04	8.20E-04	3.00E-05	2.39E-03
	Application foliaire PPS	4.20E-04	0	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	4.60E-04

Ecological scarcity

Ecological scarcity (UBP)	Arrachage mécanique	793 188	340 898	1 440 051	3 188 617	29 362 997	35 125 751
	Fauches répétées	2 266 252	0	706 171	1 450 401	35 310	4 458 134
	Application foliaire PPS	755 417	0	32 356	24 173	8 308	820 254

Description des indicateurs d'impact

EMPREINTE CARBONE (kg CO₂-eq)



Cet indicateur est calculé sur la base du potentiel de réchauffement global (GWP) sur 100 ans de divers gaz à effet de serre tel que prescrit par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2007). Les substances connues (CO₂, CH₄, N₂O, etc.) contribuant au réchauffement planétaire sont ajustées selon leur GWP.

Cet indicateur est exprimé en kilogrammes de dioxyde de carbone (CO₂) équivalents (kg CO₂-eq)

Description des indicateurs d'impact

RESSOURCES (MJ)



Cet indicateur traduit l'utilisation de ressources non renouvelables, énergétiques ou matérielles. Plus d'importance peut être accordée à certains matériaux en fonction de leur abondance et de leur difficulté d'acquisition. L'évaluation de l'impact global sur l'épuisement des ressources est réalisée suivant l'indicateur de dommages « *Ressources* » de la méthode IMPACT 2002+, qui combine l'utilisation d'énergie primaire de sources non renouvelables et l'extraction de minerai.

L'utilisation d'énergie primaire non renouvelable inclut la consommation de ressources fossiles et nucléaires, mais exclut les sources d'énergie renouvelables à toutes les étapes du cycle de vie. L'utilisation d'énergies non renouvelables pour la production d'énergie renouvelable est cependant prise en compte. L'extraction de minerai est une estimation de la quantité additionnelle d'énergie qui serait nécessaire pour en extraire une quantité donnée supplémentaire, du fait d'une accessibilité rendue plus difficile (basé sur la méthode Eco-indicateur 99).

Cet indicateur est exprimé en mégajoules (MJ).

Description des indicateurs d'impact

UTILISATION DE L'EAU (m³)



Cet indicateur correspond à l'eau utilisée et exprimée en m³ d'eau nécessaire, qu'elle soit évaporée, consommée ou relâchée en aval. Elle exclut l'eau turbinée, incluse dans l'indicateur "qualité des écosystèmes".

L'utilisation d'eau inclut les besoins pour la boisson, l'irrigation et pour les processus industriels, y compris l'eau de refroidissement.

Il n'y a pas de différenciation au niveau du stress hydrique ou de la qualité de l'eau relâchée.

Cet indicateur est exprimé en m³ d'eau consommée.

Description des indicateurs d'impact

QUALITÉ DES ÉCOSYSTÈMES (PDF*m²*an)



Cet indicateur représente les dommages causés par les substances responsables d'eutrophisation, d'acidification, de toxicité, d'occupation du sol et d'autres types d'impact sur les écosystèmes et la biodiversité. Une évaluation de l'impact total du système sur les écosystèmes et la biodiversité se base sur la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003), où les substances sont pondérées en fonction de leur proportion à causer des dommages sur les espèces.

Les impacts sont mesurés en PDFs par m² et par an (PDF=potentially disappearing fraction), représentant la probabilité de disparition d'espèce sur une surface donnée.

Description des indicateurs d'impact



POLLUTION AFFECTANT LA SANTÉ HUMAINE (DALY)

Les effets sur la santé humaine sont causés par les émissions de substances affectant la santé humaine en raison de leur toxicité, des effets cancérigènes, des effets respiratoires, de leur effet sur la couche d'ozone et d'autres causes. Une évaluation de l'impact sur la santé est effectuée par la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003).

Les impacts sont mesurés en DALY (disability-adjusted life years), une unité combinant les estimations de morbidité et de mortalité de différentes causes affectant la santé.

Notre équipe



Spin-off
EPFL



Projets
de recherche



Normes
ISO



Expertise
internationale



Une équipe diversifiée et dynamique d'experts s'appuyant sur les derniers développements scientifiques et méthodologiques



Une sélection de nos références

In Ticino



Dal 2016, Quantis è partner della Camera di Commercio Cantone Ticino (Cc-Ti) per le tematiche legate alla sostenibilità.

Sul territorio ticinese, Quantis collabora sia con aziende (e.g., Riri, Hugo Boss, Banca Stato), sia nel settore pubblico (e.g., Lugano), sia nell'ambito formativo (e.g., SUPSI, Cc-Ti).

... altri clienti e casi studio, direttamente su:

www.quantis-intl.com

A l'international



“We have chosen Quantis for its environmental expertise and its capacity to support us on results communication.”

Laurent Dini | Bayer

“WWF values Quantis’ science-based approach to this complex topic to ensure that the robust carbon accounting is guiding decisions and supporting and complementing public targets as we navigate below 2° pathways.”

Martha Stevenson | WWF

“Agenzie indipendenti quali (...), lo specialista della consulenza ambientale Quantis, (...)”

Jean-Marc Duvoisin | CEO, Nespresso

Annexe 2

Collecte de données concernant la surface des sites à renouée et les déplacements

ANNEXE 2

Collecte de données concernant surface des sites à renouée et déplacements

ID	Lieu	Ct.	CX	CY	Flaechе m ²	Deckungsgrad	Zugang	Lebensraum	ChemRRV Anhang 2.5	Bekaempfung	Bekaempfungsmethode	KVA	KVA/UIOM km	Deponie	Deponie km
1	Blenio / Olivone	TI	714997	153982	50	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	51	Discarica Tipo B, Monteggio	83
2	Blenio / Aquila	TI	715830	151703	20	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	48	Discarica Tipo B, Monteggio	80
3	Blenio / Aquila	TI	716211	150693	220	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	47	Discarica Tipo B, Monteggio	79
4	Blenio / Torre - Cimanorma	TI	716378	150088	455	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	46	Discarica Tipo B, Monteggio	78
5	Blenio / Torre - Baracca	TI	715961	148889	100	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	45	Discarica Tipo B, Monteggio	77
6	Blenio / Torre - Baracca	TI	715963	148791	30	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	45	Discarica Tipo B, Monteggio	77
7	Blenio / Grumo	TI	715522	148748	100	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	jardin privé / Garten	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	45	Discarica Tipo B, Monteggio	77
8	Blenio / Lottigna	TI	715530	147977	300	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	44	Discarica Tipo B, Monteggio	76
9	Biasca / Froda nord	TI	718246	133352	2000	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - sfalcio intensivo	ICTR, Giubiasco	28	Discarica Tipo B, Monteggio	60
10	Biasca / Froda sud	TI	718727	132251	100	25-50%	pas d'accès avec véhicules / kein Zugang mit Fahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - estirpazione	ICTR, Giubiasco	27	Discarica Tipo B, Monteggio	59
11	Soazza / Soazza-Pomareda	TI	737357	135998	2000	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	forêt / Wald	1a) réserve naturelle / Naturschutz	oui / ja	Meccanica - estirpazione	ICTR, Giubiasco	35	Discarica Tipo B, Monteggio	67
12	Lostallo / Campagna	TI	735479	130362	10	25-50%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	33	Discarica Tipo B, Monteggio	63
13	Lavertezzo / Riazino	TI	712663	114901	1500	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	12	Discarica Tipo B, Monteggio	42
14	Lavertezzo/Gordola / FFS	TI	711798	114769	6000	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	2d) talus, bande verdure / Böschung, Grünstreife	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	12	Discarica Tipo B, Monteggio	42
15	Locarno / Isella	TI	711218	114308	2000	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	12	Discarica Tipo B, Monteggio	42
16	Monteceneri / Medeglia	TI	717794	108379	100	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	18	Discarica Tipo B, Monteggio	35
17	Monteceneri / Rivera	TI	715236	107806	30	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	12	Discarica Tipo B, Monteggio	28
18	Monteceneri / Camignolo	TI	715862	107064	20	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	14	Discarica Tipo B, Monteggio	24
19	Monteceneri / Sigirino	TI	714089	104467	100	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	jardin privé / Garten	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	17	Discarica Tipo B, Monteggio	21
20	Collina d'Oro/Lugano / Pian Scairolo	TI	715385	93036	2500	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - estirpazione	ICTR, Giubiasco	32	Discarica Tipo B, Monteggio	20
21	Novazzano / Valle della Motta	TI	720344	78326	30	75-100%	limité / begrenzt	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - estirpazione + scavo	ICTR, Giubiasco	48	Discarica Tipo B, Monteggio	35
22	Colderio / Tognano	TI	721429	79516	300	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - scavo	ICTR, Giubiasco	48	Discarica Tipo B, Monteggio	35
23	Paradiso / FFS	TI	716742	94173	500	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	2d) talus, bande verdure / Böschung, Grünstreife	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	31	Discarica Tipo B, Monteggio	15
24	Lugano / FFS	TI	716491	95157	50	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	2d) talus, bande verdure / Böschung, Grünstreife	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	26	Discarica Tipo B, Monteggio	16
25	Lugano / FFS (parceggio Tassino)	TI	716688	95334	200	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	2d) talus, bande verdure / Böschung, Grünstreife	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	27	Discarica Tipo B, Monteggio	15
26	Vacallo / Condominio Le Terrazze	TI	723731	78155	400	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	jardin privé / Garten	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	51	Discarica Tipo B, Monteggio	40
27	Stabio / Laveggio	TI	717102	78359	200	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Meccanica - scavo	ICTR, Giubiasco	47	Discarica Tipo B, Monteggio	35
28	Locarno / Palude Isella Nord	TI	711625	114453	100	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	1a) réserve naturelle / Naturschutz	oui / ja	Meccanica - scavo	ICTR, Giubiasco	12	Discarica Tipo B, Monteggio	41
29	Magliaso / Foce Magliasina	TI	712589	92587	300	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	prairie / Wiese	Non / Nein	oui / ja	Chimica	ICTR, Giubiasco	29	Discarica Tipo B, Monteggio	8
101	Urdorf / Geltimatt	ZH	672918	247455	200	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	Beseitigung durch Aushub	KVA Turgi	21	Tägerhard Kies AG, Wettingen	14
201	Evolène	VS	604710	106790	250	50-75%	pas d'accès avec véhicules / kein Zugang mit Fahrzeuge	autre	Non / Nein	non / nein	-	IUOM Uvrier	28	Grône, décharge type B	29
202	Ardon	VS	588030	116510	20	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	non / nein	-	IUOM Uvrier	17	Grône, décharge type B	19
203	Crans-Montana	VS	605525	130480	100	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	Non / Nein	non / nein	-	IUOM Uvrier	27	Grône, décharge type B	25
204	Martigny-Croix	VS	569900	103255	1000	50-75%	limité / begrenzt	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	non / nein	-	UIOM Monthey	26	Collonges, décharge type B	14
205	Salvan	VS	568000	107480	200	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	1d) forêt / Wald	non / nein	-	UIOM Monthey	30	Collonges, décharge type B	16
206	Champéry	VS	555420	112975	700	50-75%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	eaux de surface / Gewässer	1e) eau surface / Gewässer	oui / ja	-	UIOM Monthey	15	Collonges, décharge type B	30
207	Val d'Illeiez	VS	558100	117610	200	75-100%	accès direct avec véhicules de chantier / direkt Zugang mit Baufahrzeuge	forêt / Wald	1d) forêt / Wald	non / nein	-	UIOM Monthey	10	Collonges, décharge type B	25
208	Saint-Gingolph	VS	551960	137840	1000	25-50%	limité / begrenzt	talus, bande verdure / Böschung, Grünsteife	1e) eau surface / Gewässer	non / nein	-	UIOM Monthey	30	Collonges, décharge type B	41
moyenne TI					680								32		47
médiane TI					200								32		42
moyenne ZH-VS					408								23		24
médiane ZH-VS					200								26		25
moyenne					615								30		42
médiane					200								29		35
max					6000								51		83
min					10								12		8
Valeur retenue LCA					200								32		47
													AR = 64		AR = 94