

CompamedZNA

COMPARaison des METHodes de Désherbage en Zones Non Agricoles



ANALYSE DU CYCLE DE VIE COMPARATIVE DES TECHNIQUES DE DESHERBAGE EN ZONES NON AGRICOLES



Auteurs : Roberto BELLINO, Stéphane LE POCHAT, Marine IUSO

Janvier 2014

Financé par



Résumé

Ce rapport présente l'évaluation environnementale comparative des principales techniques de désherbage chimiques, thermiques, et mécaniques. L'évaluation environnementale est réalisée via une analyse du cycle de vie (ACV), et porte sur le désherbage de 1 m² de surface enherbée pendant 1 an. Deux types de surfaces sont considérés (perméables et imperméables), ainsi que deux types d'objectif de gestion (seuils de déclenchement contraignant et moins contraignant).

L'ACV comparative des techniques de désherbage est basée sur les données de rendement et consommations issues de la phase d'expérimentation du projet (Action 1 du projet Compamed ZNA), pour chacune des modalités définies (perméable/imperméable et contraignant/moins contraignant).

Cette ACV sur la comparaison environnementale des méthodes de désherbage montre que les techniques disponibles sont plus ou moins efficaces du point de vue environnemental, car plus ou moins efficaces en terme de désherbage. De plus, les différentes familles de techniques ont des spécificités propres, quant à leurs impacts environnementaux, qui limitent les conclusions définitives que l'on peut tirer sur la préférence d'une technique par rapport à une autre à partir des comparaisons : les techniques chimiques génèrent une pollution chimique locale des milieux aquatiques (écotoxicité), tandis que les techniques thermiques génère une pollution qui peut être à la fois locale (pollution de l'air) et délocalisée (contribution à l'effet de serre, eutrophisation) due à l'utilisation de combustibles fossiles.

Réalisation et rédaction	Roberto Bellino (Evea) Marine Iuso (Evea)
Suivi, vérification et validation	Stéphane Le Pochat (Evea)

Citations

Les références au présent rapport devront reproduire exactement la mention suivante :

Comparaison des méthodes de désherbage en ZNA – Analyse du cycle de vie comparative des techniques de désherbage en zones non agricoles. Rapport Compamed ZNA, 127 pages. EVEA, Décembre 2013.

INTRODUCTION GENERALE SUR LE PROGRAMME COMPAMED ZNA

La gestion du désherbage en Zones Non Agricoles (ZNA) fait désormais appel à de nombreuses techniques, avec notamment l'émergence de méthodes thermiques et mécaniques en complément ou en substitution aux méthodes chimiques utilisant des produits phytosanitaires. Ces évolutions s'appliquent à la gestion des parcs et jardins, des cimetières, des voiries urbaines et autres voies de communication, et sites industriels. Ces techniques n'ont pas toutes fait l'objet d'une analyse de leurs caractéristiques technico-logistiques, économiques, environnementales et de leur efficacité.

Dans le contexte où le plan Ecophyto prévoit une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, la question de l'évaluation globale des différentes techniques de désherbage devient essentielle. C'est l'objet du programme COMPAMED ZNA sur la Comparaison des Méthodes de Désherbage utilisées en Zones Non Agricoles.

Les travaux de COMPAMED ZNA ont été coordonnés par Plante & Cité, et réalisés conjointement par Plante & Cité, le CETEV, EVEA, et la Fredon Ile-de-France, réunis au sein d'un consortium de recherche. Un comité de pilotage rassemble les financeurs publics et privés, ainsi que certains acteurs professionnels de ce secteur.

La finalité d'une telle étude est d'élaborer un outil d'aide à la décision, à destination des gestionnaires et des pouvoirs publics, et conçu à partir d'une étude ACV soumise à revue critique et jugée conforme à la norme ISO 14040. L'objectif est de permettre aux collectivités territoriales, aux entreprises prestataires et aux gestionnaires des réseaux routiers et autres sites non agricoles d'identifier les conditions pour optimiser le désherbage en ZNA, d'en minimiser l'impact sur l'environnement et de mieux maîtriser les risques qu'il génère.

La construction de ce programme repose sur les actions suivantes :

- Action 1. Des expérimentations portant sur l'efficacité des différentes catégories de méthodes de désherbage en prenant en compte des paramètres physiques (types de revêtement), biologiques (types et stades de plantes adventices), et techniques (objectifs de gestion).
- Action 2. Une enquête nationale ainsi qu'un observatoire des pratiques pour évaluer les caractéristiques technico-logistiques et économiques de ces méthodes.
- Action 3. Une analyse de cycle de vie (ACV) permettant d'établir un bilan environnemental global des techniques de désherbage, chimique et alternatives.
- Action 4 : Au vu de la variabilité existante dans les pratiques observées sur le terrain, il semble nécessaire de fournir aux prestataires plus qu'une photographie de comparaison environnementale : l'action 4 prévoit donc le développement d'un outil dynamique permettant d'adapter l'analyse à la situation concrète de chaque utilisateur.

Ce programme est soutenu et financé par :

- l'ONEMA, dans le cadre du plan Ecophyto depuis 2011.
- l'AAPP, l'UPJ, l'ASFA dans le cadre de l'accord cadre du 3 septembre 2010 relatif à l'usage professionnel des pesticides en Zones Non Agricoles.
- L'interprofession Val'hor.

ÉTUDE MENÉE PAR :



AVEC LA PARTICIPATION DE :



VERSAILLES

ET LE SOUTIEN DE :



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE SUR LE PROGRAMME COMPAMED ZNA	3
SOMMAIRE	5
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	9
GLOSSAIRE.....	11
AVANT-PROPOS ET AVERTISSEMENT	13
1. INTRODUCTION	16
1.1. Contexte de l'étude	16
1.2. Méthodologie utilisée.....	16
1.3. Limites des approches ACV et complémentarités avec d'autres approches	19
2. DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE	21
2.1. Objectifs de l'étude	21
2.2. Applications et public visé	21
2.3. Revue critique.....	22
2.4. Champ de l'étude	22
2.4.1. Système étudié	22
2.5. Unité fonctionnelle.....	27
2.5.1. Flux de référence	27
2.6. Frontières et limites des systèmes étudiés	27
2.6.1. Délimitation des frontières du système.....	27
2.6.2. Limites de l'étude.....	28
2.6.3. Représentativité des données	29
2.6.4. Catégories d'indicateurs étudiés	30
3. MODELISATION DU SYSTEME : DONNEES ET HYPOTHESES.....	35
4. ANALYSE DE LA QUALITE DES DONNEES	38
5. EVALUATION DE L'IMPACT DU CYCLE DE VIE	40
5.1. Evaluation comparative	41
5.1.1. Seuil contraignant	41
5.1.2. Seuil moins contraignant	45
5.2. Interprétation générale sur la comparaison des techniques.....	48
5.3. Analyses de contribution	49
5.3.1. Toxicité humaine, cancérigène	50
5.3.2. Toxicité humaine non cancérigène	51

5.3.3.	Ecotoxicité des milieux aquatiques.....	52
5.3.4.	Changement climatique	53
5.3.5.	Destruction de la couche d’ozone	54
5.3.6.	Création d’ozone photochimique	55
5.3.7.	Acidification atmosphérique.....	55
5.3.8.	Eutrophisation	56
5.3.9.	Consommation d’eau.....	57
5.3.10.	Epuisement des ressources non renouvelables.....	58
5.3.11.	Consommation d’énergie non renouvelable	60
5.4.	Analyse de contribution sur les substances contribuant à l’indicateur écotoxicité	61
5.5.	Normalisation des résultats.....	63
6.	ANALYSES DE SENSIBILITE	66
6.1.	Comparaison des techniques sur l’application seule.....	66
6.2.	Comparaison des techniques avec les données issues de l’observatoire des pratiques (action 2 du projet Compamed ZNA)	68
6.3.	Comparaison entre un Désherbeur Eau Chaude à gasoil et un desherbeur eau chaude électrique... 71	
6.4.	Modélisation du produit phytosanitaire.....	72
6.5.	Nombre de passages pour la modalité gaz.....	73
6.6.	Analyse d’incertitude.....	77
7.	CONCLUSION	82
	Annexe 1- Analyse de contribution par technique	86
	Annexe 2 – Résultats de l’analyse de sensibilité « gaz »	94
	Annexe 3 - Revue critique	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Membres du comité de revue critique	22
Tableau 2. Techniques étudiées dans l'expérimentation (Action 1- Protocole 2)	23
Tableau 3. Description du seuil d'intervention contraignant.....	25
Tableau 4. Description du seuil d'intervention moins contraignant.....	26
Tableau 5. Eléments inclus et exclus du système	27
Tableau 6. Représentativité des données	29
Tableau 7. Catégories d'indicateurs étudiés formant la méthode de calcul de référence pour cette ACV	32
Tableau 8. Renvois vers les détails de modélisation	35
Tableau 9. Rendements et quantités de consommables utilisés dans la modélisation. Source : Cetev.....	36
Tableau 10. Nombres de passages annuels relevés pour chaque technique. (Source : Cetev)	37
Tableau 11. Qualité des données.....	38
Tableau 12. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 3.....	39
Tableau 13. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 2/3	39
Tableau 14. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 1.....	39
Tableau 15. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil contraignant	41
Tableau 16. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil contraignant.....	44
Tableau 17. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil moins contraignant	46
Tableau 18. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil moins contraignant.....	47
Tableau 19. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine (cancérigène).....	50
Tableau 20. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine non cancérigène .	51
Tableau 21. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur écotoxicité des milieux aquatiques	52
Tableau 22. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique	53
Tableau 23. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur destruction de la couche d'ozone ..	54
Tableau 24. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur oxydation photochimique	55
Tableau 25. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur acidification atmosphérique	56
Tableau 26. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur eutrophisation.....	57
Tableau 27. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'eau	58
Tableau 28 Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources.....	59

Tableau 29 Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable	60
Tableau 30. Valeurs de normalisation.....	63
Tableau 31. Résultats de la normalisation sur sol perméable seuil moins contraignant	64
Tableau 32. Valeurs des paramètres rendements et consommations tirées de l'observatoire	69
Tableau 33. Résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées.	70
Tableau 34. Nombre de passages pris en compte pour la modalité gaz pour l'analyse de sensibilité	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Organisation des livrables de l'Action 3.	14
Figure 2. Cycle de vie d'un produit (source EVEA)	18
Figure 3. Liens entre émissions et impacts au long du cycle de vie	19
Figure 4. Types de sites étudiés : sol imperméable (à gauche) et sol perméable (à droite). (Source CETEV)	25
Figure 5. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil contraignant	41
Figure 6. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil contraignant..	43
Figure 7. Résultats de l'évaluation comparative des techniques sur sol imperméable avec un seuil moins contraignant.....	45
Figure 8. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil moins contraignant	47
Figure 9. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine (cancérigène)	50
Figure 10. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine non cancérigène	51
Figure 11. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur écotoxicité des milieux aquatiques	52
Figure 12. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique	53
Figure 13. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur destruction de la couche d'ozone.....	54
Figure 14. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur oxydation photochimique.....	55
Figure 15. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur acidification atmosphérique	56
Figure 16. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur eutrophisation	57
Figure 17. . Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'eau	58
Figure 18. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources	59
Figure 19 Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable ..	60
Figure 20. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Eau chaude.....	61
Figure 21. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Vapeur.....	61
Figure 22. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Brosseuse	62
Figure 23. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Pulvérisateur à dos.....	62
Figure 24. Résultats de la normalisation sur sol perméable seuil contraignant	64
Figure 25. Résultats du focus sur les impacts à l'application	67
Figure 26 Résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées.....	70
Figure 27. Comparaison entre les techniques, sans les facteurs de caractérisation de l'AMPA et du surfactant	73
Figure 28. Résultats de l'analyse de sensibilité	74
Figure 29. Résultats de l'analyse de sensibilité	75
Figure 30. Résultats de l'analyse de sensibilité (comparaison avec les autres techniques)	76

Figure 31. Analyse d'incertitudes entre tech. eau chaude vs tech. module tracté «brosse métallique»	78
Figure 32. Analyse d'incertitudes entre tech. vapeur vs tech. eau chaude	78
Figure 33. Analyse d'Incertitude entre tech. module tracté «brosse métallique» vs. tech. vapeur	79
Figure 34. Analyse d'incertitudes entre tech. pulvérisateur à dos vs tech. module tracté «brosse métallique» .	79
Figure 35. Analyse d'incertitude entre tech. Pulvérisateur à dos vs tech. vapeur	80
Figure 36. Analyse d'incertitudes entre tech. pulvér. dos vs tech. eau chaude	81
Figure 37	119
Figure 38 : Phénomènes associés aux émissions de pesticides (Source Irstea)	121
Figure 39 : Proposition méthodologique pour réaliser l'inventaire des émissions assurant une cohérence entre inventaire (LCI) et évaluation des impacts (LCIA)	122

GLOSSAIRE

ACV	Analyse du Cycle de Vie
C	Seuil (de déclenchement) contraignant
DOE	Détection opto-électronique
E	Exposant de 10 en écriture scientifique. Pour des raisons de praticité, les résultats sont présentés selon l'écriture scientifique, E signifiant « exposant », soit une puissance de 10. Par exemple, $1E1=1 \times 10^1=10$, $1E2=1 \times 10^2=100$, $1E-1=1 \times 10^{-1}=0,1$, $1E-2=1 \times 10^{-2}=0,01$, etc.
EPI	Equipement de Protection Individuelle (tout équipement destiné à la protection de l'applicateur : gants, masque, chaussures de sécurité, etc.)
FDS	Fiche de Données de Sécurité
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
Matériel de désherbage	Tout matériel permettant d'effectuer un désherbage curatif.
MC	Seuil (de déclenchement) moins contraignant
Itinéraire technique	Combinaison d'une ou plusieurs techniques de désherbage afin d'obtenir un résultat déterminé sur un sol donné.
Méthode (de désherbage)	Ensemble ordonné de manière logique de principes, de règles, d'étapes, qui constitue un moyen pour parvenir à un résultat. Manière de mener, selon une démarche raisonnée, une action, un travail, une activité, une technique. (<i>source : www.Larousse.fr</i>) Dans le cadre de Compamed ZNA, nous retenons la définition suivante : <u>Méthode</u> : Démarche de mise en œuvre d'un itinéraire technique de désherbage sur une période étendue. La méthode inclut donc les recommandations et aspects réglementaires.
PE	Polyéthylène
PC	Polycarbonate
Pollution	Contamination qui a pour conséquence une perturbation du milieu ou de l'usage qui en est fait habituellement. (<i>source : Rapport n° 42 de l'Académie des Sciences (1998), repris sur le site de l'Ademe</i>) Détérioration de l'environnement par des substances chimiques, physiques ou organiques qui ne peuvent pas (ou ne peuvent plus) être éliminées naturellement par l'écosystème. La pollution a pour origine principale l'activité humaine. Elle résulte soit de l'introduction dans le milieu d'une substance artificielle non dégradable, soit du dépassement du seuil toléré par le milieu. (<i>Source : glossaire de l'Ademe, site web</i>) <u>NB</u> : il convient de différencier pollution et contamination qui sont souvent confondus et employés l'un pour l'autre.

PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de Vinyle
Seuil de déclenchement de l'intervention	Seuil (nombre et taille des adventices) à partir duquel l'intervention est déclenchée. Deux seuils sont utilisés dans l'expérimentation (« contraignant » et « moins contraignant »). Ils sont explicités dans le rapport (tab. 3 et 4).
Technique (de désherbage)	Ensemble de procédés et de moyens pratiques propres à une activité. Manière de faire pour obtenir un résultat. (<i>source : www.Larousse.fr</i>) Dans le cadre de Compamed ZNA, nous retenons la définition suivante : <u>Technique</u> : Principe, type de désherbage. Ensemble des procédés reposant sur le même principe : par exemple, "la technique de désherbage chimique".
UF	Unité fonctionnelle
ZNA	Zone Non Agricole

AVANT-PROPOS ET AVERTISSEMENT

Positionnement et livrables des tâches de l'action 3

L'Action 3 consiste en l'évaluation environnementale comparative des méthodes de désherbage. Cette évaluation environnementale est réalisée via la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) conformément aux normes ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006.

L'Action 3 s'appuie sur les données et résultats des Actions 1 et 2, et permet le développement (Action 4) d'un outil d'auto-évaluation environnementale des techniques de désherbage à destination des parties prenantes du désherbage en ZNA : gestionnaires publics et privés, opérateurs, institutionnels.

Les livrables de l'Action 3 sont les suivants :

- Une ACV comparative des techniques individuelles de désherbage d'après l'expérimentation de l'Action 1.
- Une documentation technique, commune au rapport d'ACV et à l'outil, recensant pour les scénarios expérimentaux (techniques individuelles) et les scénarios observés (itinéraires techniques) :
 - les modes de calculs des inventaires,
 - les paramètres et les valeurs des paramètres,
 - les calculs des impacts du cycle de vie.

La documentation de référence fait partie intégrante de l'ACV.

Par ailleurs, l'outil d'auto-évaluation des itinéraires techniques observés (scénarios relevés ou non dans l'observatoire de l'Action 2, ie. scénarios observés et mis en pratique par les gestionnaires utilisateurs de l'outil) est basé sur l'ACV et développé dans le cadre de l'Action 4.

La Figure 1 ci-dessous représente l'organisation des livrables et les liens entre Actions et livrables.

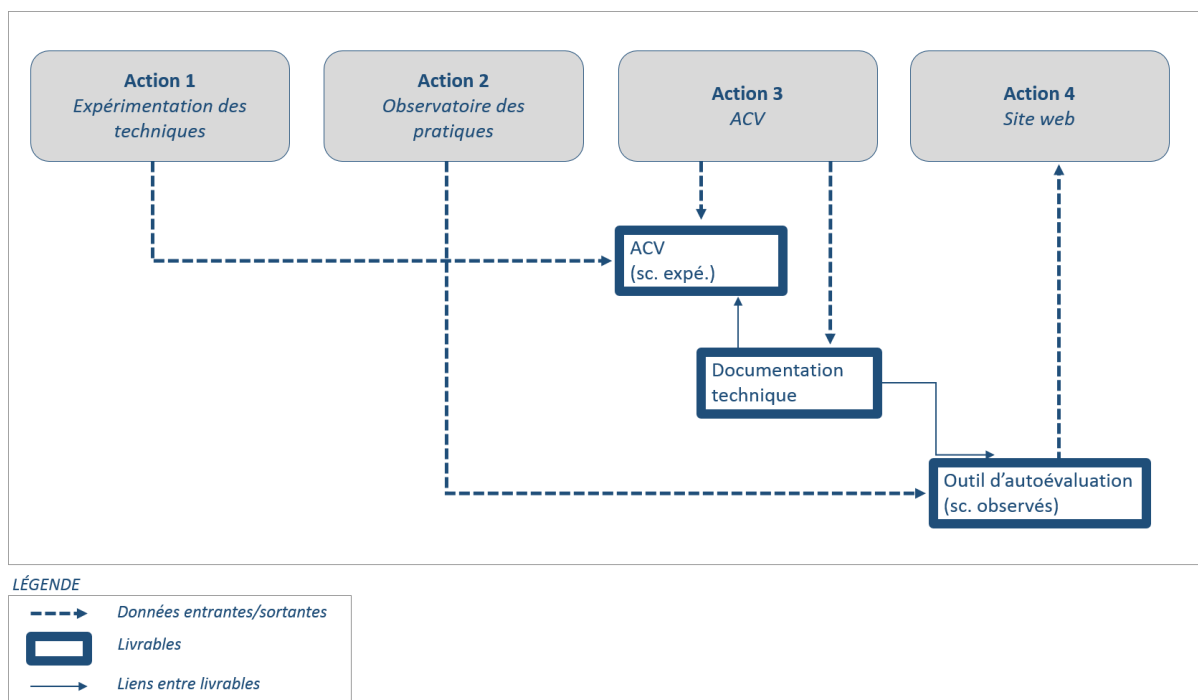


Figure 1. Organisation des livrables de l'Action 3.

Le tableau ci-dessous précise le format des différents livrables de l'Action 3. Dans le cadre de la revue critique prévue par la norme ISO 14040 pour évaluer la conformité de l'ACV, les deux rapports (ACV, et documentation technique) ont fait l'objet de la revue critique.

Livrable	Format	Soumis à revue critique ISO 14040	Localisation dans site web Compamed.fr
ACV comparative des techniques individuelles de désherbage – Scénarios expérimentaux	Rapport	Oui	Ressource documentaire (rapport téléchargeable + page web fixe)
Documentation technique – ACV et outil d'auto-évaluation	Rapport	Oui	Ressource documentaire (rapport téléchargeable)
Outil d'auto-évaluation des itinéraires techniques observés	Outil web en ligne sur le site Internet de Compamed ZNA	Non. Seul le fichier Excel qui sous-tend l'outil web a fait l'objet de la revue critique.	Outil en ligne (interactif)

Avertissement

L'ACV et l'outil d'auto-évaluation, bien que basés sur des techniques de calcul des impacts environnementaux identiques (d'où le rapport support commun « documentation technique ») ont des objectifs d'évaluation différents et sont donc supportés par des hypothèses et scénarios de modélisation différents. Cela se traduit par des unités fonctionnelles (UF) différentes :

- L'UF définie pour l'ACV des techniques individuelles est la suivante : « traiter 1 m² de surface enherbée, de type perméable ou imperméable, pendant 1 an avec un objectif de gestion défini par un seuil d'intervention quantifié (seuil contraignant ou seuil moins contraignant) ». Elle correspond à l'objectif de l'expérimentation de l'Action 1 qui était de définir la performance des techniques individuelles (rendement et nombre de passages sur une année) dans un objectif de résultat. Cette approche permet une comparaison que l'on peut qualifier d'objective en ce sens que la comparaison est réalisée à résultat de performance identique pour l'ensemble des techniques individuelles faisant l'objet de l'expérimentation. En revanche, cette approche expérimente des pratiques pouvant varier de celles observées¹.
- L'UF définie pour les auto-évaluations réalisées avec l'outil est la suivante : « traiter 1 m² de surface enherbée d'un type défini pendant 1 an ». L'objectif ici est de modéliser les pratiques observées (dans le cadre de l'Action 2 ou par les gestionnaires eux-mêmes) correspondant à des situations mises en œuvre par les gestionnaires. La notion clé dans la modélisation des pratiques réelles² observées est celle du « seuil de déclenchement de l'intervention »³, car de ce seuil dépendent, d'une part le nombre annuel de passages, et d'autre part le rendement des techniques mises en œuvre dans les itinéraires. Or, ce seuil dont dépendent finalement les résultats des évaluations (et donc les conclusions que l'on peut tirer des comparaisons entre itinéraires et techniques) sont difficiles à quantifier car les gestionnaires eux-mêmes savent peu exprimer ce seuil objectivement.

En conséquence, les résultats de l'ACV comparative des techniques individuelles (basée sur les résultats expérimentaux de l'Action 1) et les résultats obtenus avec l'outil d'auto-évaluation des itinéraires techniques observés (basés notamment en partie sur les résultats observés lors de l'Action 2) ne sont pas comparables car ils ne répondent pas aux mêmes objectifs.

¹ D'après les observations, il semble que les conditions de seuil « moins contraignant » définies dans l'Action 1 peuvent parfois se rapprocher des conditions mises en pratiques par les gestionnaires. En revanche, les conditions de seuils « contraignant » apparaissent a priori fort éloignées des conditions des pratiques observables.

² Les pratiques sont qualifiées de réelles par opposition aux pratiques mises en œuvres selon un protocole dans l'expérimentation. Le terme « pratiques réelles » désigne donc les pratiques observables mises en œuvre sur le terrain, de manière opérationnelle et non expérimentale, par les gestionnaires et professionnels des pratiques de désherbage. Ce terme concerne donc aussi bien les pratiques observées pendant l'Action 2 (observatoire auprès 29 organismes sur 179 sites) que les pratiques non encore observées.

³ Ainsi, contrairement aux comparaisons réalisées sur la base des données expérimentales, la comparaison des pratiques observées sur le terrain n'est pas réalisée sur la base d'un objectif de résultat (on compare des itinéraires mis en pratique sans tenir compte du résultat obtenu). Cela ne signifie pas que dans les faits les gestionnaires ne cherchent pas un objectif de résultat, mais que la comparaison n'est pas basée sur cet objectif de résultat.

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Cette ACV s'inscrit dans le cadre de l'Action 3 relative à l'évaluation environnementale au sein du projet Compamed ZNA. L'étude vise à évaluer et comparer les impacts environnementaux de différentes techniques de désherbage⁴ respectives aux trois classes de techniques définies dans le projet Compamed ZNA :

- Les techniques chimiques
- Les techniques mécaniques
- Les techniques thermiques

Au total, l'étude permet la comparaison de 8 techniques (cf. tableau 2 p23 pour la description des techniques étudiées).

La présente ACV porte sur les techniques ayant fait l'objet du protocole expérimental de l'Action 1. Les résultats sont donc spécifiques aux conditions expérimentales définies dans ce protocole et reposent sur les données produites par l'expérimentation, qui correspondent à des pratiques répondant à des objectifs pouvant différer de ceux des gestionnaires de ZNA observés dans l'Action 2. Ce rapport ACV ne s'appuie donc pas sur les scénarios observés sur le terrain et relevés par l'observatoire (Action 2).

Toutefois, la structure de la modélisation réalisée pour cette ACV est la même que pour les scénarios observés dans le cadre de l'outil d'auto-évaluation (qui introduisent les valeurs propres des paramètres spécifiques à ces scénarios : rendements, nombres de passages, etc.). L'outil d'auto-évaluation a été développé dans cet objectif, sur la base de l'ACV réalisée pour les scénarios expérimentaux.

1.2. METHODOLOGIE UTILISEE

Cette étude est réalisée selon les principes et les cadres définis par les normes ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006 définissant les exigences relatives à la réalisation d'une ACV. Ce document vise à présenter succinctement l'ACV.

La méthode d'ACV est articulée en quatre phases bien distinctes mais interdépendantes nécessitant, tout au long de l'étude, de fréquentes itérations. Sa pratique est aujourd'hui normalisée par la série ISO 14040. La description des phases 1 à 4 ci-dessous est directement tirée du site de l'ADEME⁵.

⁴ Bien que cette ACV s'inscrive pleinement dans le cadre du projet Compamed ZNA (comparaison des méthodes), nous parlons ici de comparaison de techniques, car l'ACV de ce rapport concerne une comparaison des techniques considérées individuellement (et où l'on considère que les méthodes de désherbage mises en œuvre par les professionnels et les gestionnaires des collectivités peuvent faire appel à plusieurs techniques combinées). Quoiqu'il en soit, cette ACV permet in fine de comparer les méthodes de désherbage via l'outil d'auto-évaluation.

⁵ Disponible sur <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12917> consultée en mai 2013.

PHASE 1 - Définition des objectifs et du champ de l'étude

Chaque ACV est construite pour répondre à des questions précises. La définition des objectifs et du champ de l'étude conditionne donc les choix méthodologiques de chaque phase (inventaire, évaluation des impacts, interprétation) et par voie de conséquence les résultats : l'ACV est dite "goal-dependant".

Cette première phase doit être clairement définie au départ mais peut se préciser de manière itérative au fur et à mesure de l'avancée de l'analyse. Nous y retrouverons entre autres : l'application envisagée, le public concerné, la définition du système de produits à étudier ainsi que les règles d'affectation, la définition des fonctions du (ou des) produit(s), la définition de l'unité fonctionnelle, la définition des frontières de l'étude, l'exigence de la qualité des données nécessaires à l'analyse de l'inventaire (ISO 14044), les types des impacts et leurs indicateurs nécessaires à l'évaluation des impacts environnementaux (ISO 14044). Le panel des impacts environnementaux étudiés doit recouvrir l'ensemble des conséquences potentielles sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources. Cette phase doit également décrire les hypothèses formulées et les limitations de l'étude.

PHASE 2 - Analyse de l'inventaire

Dans un premier temps, l'unité fonctionnelle définie dans le champ de l'étude, va permettre de rapporter l'ensemble des flux représentatifs de la fonction du produit ou service étudié. Les flux de matière et d'énergie entrants et sortants sont ensuite quantifiés. Un inventaire est ainsi constitué (auparavant appelé "écobilan" dans la norme française préfigurant la norme ISO 14040). L'inventaire constitue un véritable travail de comptabilité analytique des flux.

Les limites initialement fixées peuvent être modifiées (élargies ou rétrécies) et la qualité des données redéfinies.

Le recueil et le traitement des données se font conformément à la définition des objectifs comme le précise la norme ISO 14044 "Définition des objectifs et du champs de l'étude - analyse de l'inventaire".

PHASE 3 - Evaluation des impacts sur l'environnement

La démarche ACV s'efforce de rendre l'évaluation aussi objective que possible en traduisant des flux quantifiables et mesurables. Cette phase 3 a pour but de traduire les consommations et les rejets recensés lors de l'inventaire en impacts environnementaux potentiels (effet de serre, appauvrissement de la couche d'ozone, création d'ozone photochimique, acidification, eutrophisation, toxicité, etc.).

Pour cela, ces flux sont classés dans différentes catégories d'impact auxquelles ils participent.

Dans un deuxième temps, ces ensembles de flux sont caractérisés, à partir d'indicateurs, en impacts environnementaux. Le choix des catégories d'impact et des indicateurs associés se fait en relation avec les objectifs et les systèmes étudiés.

Ces opérations (choix, classification, et caractérisation) sont définies comme obligatoires par la norme ISO 14044.

D'autres opérations facultatives peuvent être effectuées selon l'objectif poursuivi : la pondération (à chaque impact est affecté un poids, puis les différents impacts sont agrégés pour obtenir une note finale), et la normalisation (résultats ramenés à des valeurs de référence, par exemple les impacts d'un habitant pendant un jour).

PHASE 4 – Interprétation

L'interprétation a pour objectif d'analyser les résultats et d'expliquer les limites de l'inventaire et/ou de l'évaluation des impacts, afin de fournir des conclusions objectives et robustes.

Elle met en avant les points forts et les points faibles d'un système et permet la connaissance des paramètres et des étapes sensibles. Ceci ouvre des perspectives en matière de recommandations pour des actions correctives et de réduction des impacts.

Comme le précise la norme ISO 14044, cette phase s'appuie sur l'identification des points significatifs de l'inventaire et de l'évaluation des impacts du cycle de vie accompagnée de différents contrôles : contrôle de sensibilité des hypothèses retenues (indicateurs, frontière...), contrôle de la complétude et de la cohérence sur le cycle de vie ou entre plusieurs options.

Deux notions sont essentielles pour répondre à ces normes. En effet, l'ACV repose à la fois sur :

- L'approche multi-étapes (toutes les étapes du cycle de vie du produit ou service – cf. fig. 2 ci-dessous – sont a priori objet de l'étude).
- L'approche multicritères (un panel représentatif d'impacts environnementaux est étudié).

La figure ci-après illustre l'approche multi-étapes.

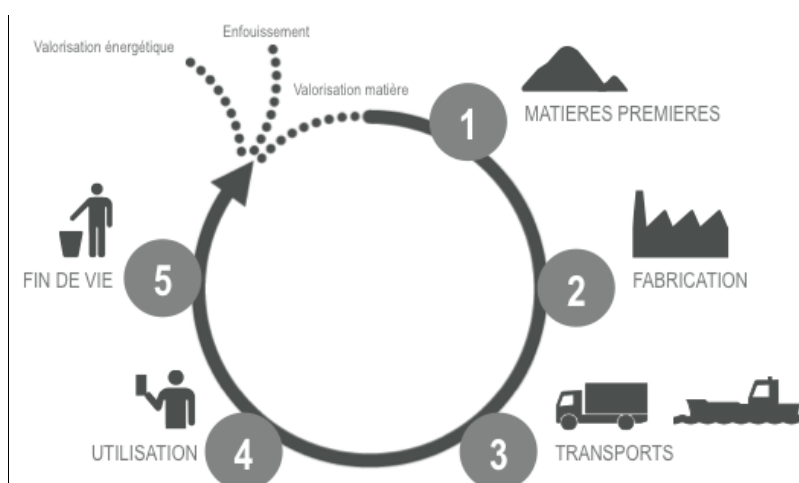


Figure 2. Cycle de vie d'un produit (source EVEA)

1.3. LIMITES DES APPROCHES ACV ET COMPLEMENTARITES AVEC D'AUTRES APPROCHES

L'objectif premier de l'ACV est l'évaluation de tous les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service :

- Tout au long de son cycle de vie,
- En envisageant tous les impacts intégrés dans l'espace (la planète) et dans le temps (à 20, 100, 500 ans ou sur une période de temps infinie).

Cette approche permet d'identifier d'éventuels transferts de pollution entre compartiments environnementaux et étapes du cycle de vie, mais cette exigence de globalité implique pour sa faisabilité un certain nombre de simplifications. Au niveau de chaque site, la succession éventuelle d'impacts à partir d'une émission est agrégée (ou intégrée) dans l'espace (i.e. les différents sites du cycle de vie) et le temps, puis agrégés en une valeur unique d'impact pour chaque catégorie d'impact. On comprend donc, à l'aide de la figure ci-dessous, que la prise en compte de la sensibilité et la spécificité locale des milieux récepteurs des impacts est difficilement réalisable, et n'est généralement pas réalisée. On dit que l'ACV a vocation à évaluer la capacité d'un système à causer des effets indésirables pour l'environnement (impacts potentiels) plutôt que la réalisation réelle de ces effets dans un environnement parfaitement identifié et spécifié (impacts réels).

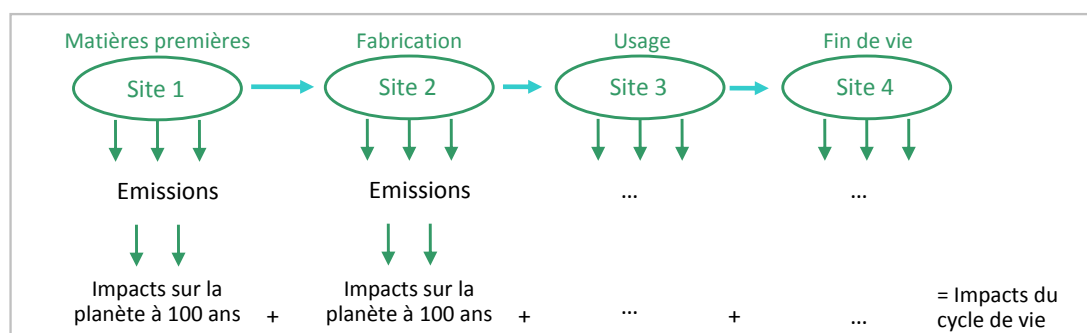


Figure 3. Liens entre émissions et impacts au long du cycle de vie

Les forces et faiblesses des différents modes de désherbage présentés dans cette étude et dans l'outil doivent donc impérativement être interprétées à la lumière de cette remarque préalable, c'est-à-dire sans aucune estimation possible du risque de réalisation des impacts potentiels mis en évidence dans les bilans environnementaux. Rappelons pour finir que des approches plus localisées telles que les études des « risques opérateurs », les études locales des « risques voisinage » ou « études d'impact locale » pour un site spécifique peuvent fournir des informations complémentaires à l'approche l'ACV.

Il convient également de rappeler que les différents indicateurs de catégorie d'impacts ont des degrés de robustesse plus ou moins élevés (cf. Tableau 7). Notamment, il est reconnu que les indicateurs « toxicité humaine » et « écotoxicité » sont sujets à de très fortes incertitudes (d'un ordre 10^2 à 10^3 pour la méthode USEtox sur une échelle globale d'environ 10^7 entre les substances les moins toxiques et les plus toxiques). Les résultats sur ces indicateurs doivent donc être interprétés avec la nuance requise. Par ailleurs, il convient de rappeler que par construction, en ACV, l'indicateur écotoxicité n'est

pas un indicateur de pollution localisée mais un indicateur agrégeant des potentiels d'écotoxicité des milieux aquatiques sur l'ensemble du cycle de vie (donc en des lieux différents, et s'affranchissant des conditions locales). Ainsi, cet indicateur ne remplace en aucun cas une étude d'impact d'écotoxicité localisée avec les conditions locales associées.

Il convient également de noter que, par définition, les indicateurs utilisés mesurent des impacts potentiels et non réels. Il faut donc lire les résultats comme étant des potentialités d'impacts environnementaux. Les systèmes soumis à l'évaluation par l'ACV sont évalués selon ce jeu d'indicateurs. L'ensemble de ces indicateurs (et leur méthodes de calculs sous-jacentes) forment la méthode de calcul pour cette étude.

2. DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE

2.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude se donne pour objectif de comparer les impacts environnementaux de différentes techniques de désherbage utilisées en zone non agricoles, à partir de données expérimentales fournies par le CETEV (Action 1- protocole 2).

Le désherbage en ZNA fait l'objet d'une très grande variabilité :

- Les techniques employées ont chacune leur efficacité propre, c'est-à-dire qu'une application de la technique considérée va nécessiter plus ou moins de temps pour éliminer la végétation, et donner lieu à une repousse plus ou moins rapide.
- Les opérateurs peuvent utiliser plusieurs techniques différentes sur un même site au cours de l'année.
- Les terrains à désherber ont des caractéristiques très variables qui vont influencer les rendements et les quantités de consommables à utiliser (produits phytosanitaires, énergie, eau, etc.).
- Les gestionnaires de ZNA ont des critères de tolérance qui leur sont propres : ainsi, le seuil de déclenchement et le nombre de passages annuels sont-ils extrêmement dépendants des gestionnaires et des pratiques adoptées par ces gestionnaires (par exemple, désherbage calendaire ou désherbage raisonné).
- Les pratiques des opérateurs font l'objet d'une plus ou moins grande variabilité en dépit des consignes et des règles de bonnes pratiques qui leurs sont données (facteur humain).

Ainsi, pour assurer une comparaison scientifiquement rigoureuse, le CETEV a mené une expérimentation selon un protocole expérimental permettant de définir précisément les techniques employées, les seuils d'intervention, les types de sol, et les pratiques des opérateurs (répétabilité). Les résultats de cette expérimentation permettent de comparer l'efficacité environnementale du désherbage mono-technique (ie. qui fait appel à une seule technique) d'une parcelle de terrain définie, pour un seuil d'intervention fixe, sur une année. Les valeurs expérimentales de rendement et consommations d'intrants ainsi obtenues ont été utilisées pour réaliser l'ACV objet de ce rapport. Cette approche vise à garantir l'objectivité de la comparaison entre techniques de désherbage (i.e. comparer des systèmes techniques à service rendu comparable et défini par un protocole d'essais).

L'objectif de cette ACV est de comparer les impacts environnementaux potentiels générés par les différentes techniques de désherbage employées dans les conditions du protocole expérimental, et de préciser les précautions nécessaires à l'extrapolation de ces résultats aux pratiques relevées pendant les autres phases du projet COMPAMED ZNA (Action 2).

2.2. APPLICATIONS ET PUBLIC VISE

Cette ACV est destinée à être rendue publique et accessible via la plate-forme d'information COMPAMED ZNA (www.compamed.fr). Elle s'adresse plus particulièrement aux opérateurs ou

gestionnaires d'espaces verts souhaitant s'informer sur les impacts environnementaux des techniques de désherbage et améliorer leurs pratiques.

2.3. REVUE CRITIQUE

Conformément aux exigences de la norme ISO 14040 :2006 relatives aux ACV comparatives dont les résultats sont destinées à être communiqués au public (cf. les objectifs du projet Compamed ZNA), la présente ACV a fait l'objet d'une revue critique par un comité d'experts. Le comité de revue critique est présenté dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Membres du comité de revue critique

Expert	Organisme	Domaine(s) d'expertise
Philippe ROUX	IRSTEA Montpellier (plateforme ELSA)	ACV des techniques agricoles et des systèmes de traitement des eaux
Eric THYBAUD	INERIS (unité d'éval. des risques toxicologiques)	Risques toxicologiques, produits phytopharmaceutiques
Gérard PIDOUX	Forêt Assistance	Application professionnelle en ZNA

La revue critique a été réalisée en octobre-novembre 2013. Les rapports de revue critique, comportant les réponses apportées par Evea, sont consultables en annexe 2. Le présent rapport est le rapport modifié suite à la revue critique. Il a été définitivement validé par l'ensemble des membres du comité de revue critique en décembre 2013.

2.4. CHAMP DE L'ETUDE

2.4.1. Système étudié

2.4.1.1. Techniques

L'expérimentation menée par le CETEV avait pour but de relever les caractéristiques (efficacité, nombre de passages nécessaires etc..) de plusieurs types de techniques classées en trois familles :

- Le désherbage mécanique : la terre est travaillée physiquement, la plante est déracinée ou coupée au plus près de la racine quand il s'agit d'un désherbage curatif (le contrôle de la végétation est hors périmètre de l'étude).
- Le désherbage thermique (eau chaude, vapeur, brûleur au gaz) : les cellules de la plante éclatent sous l'action de la température. La plante se dégrade en quelques jours.
- Le désherbage chimique : un produit phytosanitaire est pulvérisé sur la plante et provoque sa dégénérescence

Les techniques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Techniques étudiées dans l'expérimentation (Action 1- Protocole 2)

PHOTO	TYPE DE MATERIEL	DESCRIPTION
[MECA] Techniques mécaniques		
	Module tracté « brosse métallique »	Brosses métalliques montées sur un support tracté par un petit tracteur ou un utilitaire
	Binette	Binette, couteau, piochon, sarcloir, ou arrachage manuel de la végétation.
	Module tracté « désherbeur mécanique » (surface perméable uniquement)	Une herse rotative travaille le sol meuble et déracine la végétation.
[EAU] Techniques thermiques eau		
	Eau chaude	Cuve > 100 litres chargée sur un véhicule utilitaire ou remorquée, munie d'une ou deux lance(s). L'eau est chauffée soit par système électrique la nuit, et transportée chaude dans une cuve calorifugée, soit par une chaudière alimentée par un groupe électrogène au cours de l'intervention. Une pompe est également nécessaire. Manipulé par 1 à 3 agent(s). Dans l'étude comparative il s'agit d'un équipement à chaudière
	Vapeur	Cuve > 100 litres chargée sur un véhicule utilitaire, munie d'une ou deux lance(s). Un groupe électrogène (gasoil) alimente une chaudière et une pompe. Manipulé par 1 à 3 agent(s).

[CHIM] Techniques chimiques		
	Pulvérisateur à dos	Réservoir d'une vingtaine de litres, lance permettant une application au sol sans se baisser.
	Pulvérisateur à Détection Opto-électronique (DOE)	Cuve > 100 litres embarquée sur un véhicule tracteur (type petit tracteur), muni d'une rampe à détection optoélectronique et parfois d'une lance d'appoint. Selon les cas, nécessite 1 ou 2 agent(s) (rampe + lance actionnée par le conducteur, ou lance actionnée par un 2 ^e agent)
[GAZ] Technique thermique gaz		
	Lance sur chariot tracté	Bouteille de gaz (13kg) installée sur un chariot; manipulé par un agent seul.

Pour les techniques chimiques, seules ont été considérées les « bonnes pratiques » d'usage en terme de remplissage et nettoyage de cuve et de gestion des EVPP (Emballages Vides de Produits Phytosanitaires)^{6, 7}.

Chacune des techniques a été testée durant une année sur deux types de sols différents (illustrés sur la fig. 4 ci-dessous) :

- Sol perméable : correspond à une allée de parc, surface sablée ou gravillonnée, enrobé dégradés ou joints de sable.
- Sol imperméable : correspond à un trottoir bitumé, un enrobé, ou des pavés avec joints en ciment.

⁶ www.adivalor.fr/collectes/autres_emballages.html,

⁷ D'une manière générale, dans le cadre de l'expérimentation de l'Action 1, les bonnes pratiques (à savoir, détruire 100% de l'herbe présente à chaque passage, afin d'atteindre l'objectif fixé, tout en pratiquant la méthode avec toutes les précautions d'usage – EPI, sécurité etc...) ont été appliquées pour toutes les techniques mises en œuvre.

Par ailleurs, chacune des techniques a été testée durant une année pour deux seuils d'intervention définis dans les tableaux 3 et 4 ci-dessous : seuil « contraignant » et seuil « moins contraignant » (cf. Rapports Action 1).

Seuil contraignant : une opération de désherbage est lancée dès que la végétation atteint le niveau décrit dans le tableau 3 ci-dessous (nombre de plantes de la taille définie).

Seuil moins contraignant : une opération de désherbage est lancée dès que la végétation atteint le niveau décrit dans le tableau 4 ci-dessous.

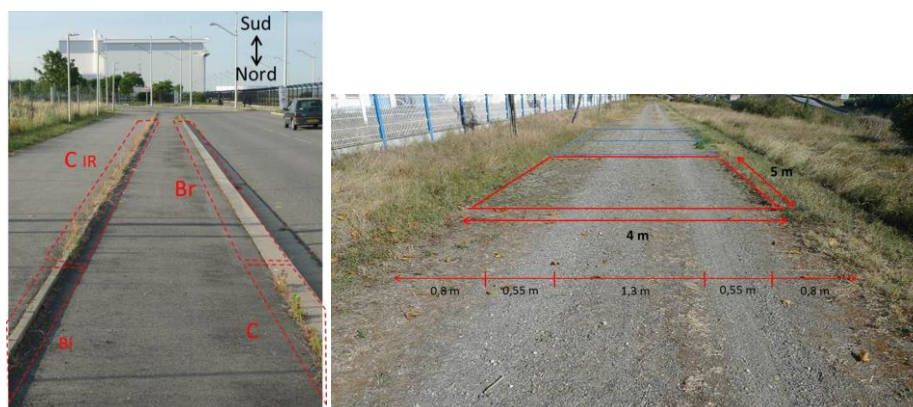


Figure 4. Types de sites étudiés : sol imperméable (à gauche) et sol perméable (à droite). (Source CETEV)

Tableau 3. Description du seuil d'intervention contraignant

SEUIL CONTRAIGNANT-IMPERMEABLE					
Taille adventice	<5cm	5-15cm	15-30cm	>30cm	
Nombre de plantes (pour 35 m lin. de fissures)	5	3	1	-	
SEUIL CONTRAIGNANT-PERMEABLE					
Taille adventice	<5 cm	5-15 cm	15-30 cm	>30 cm	Recouvrement global
Nombre de plantes (pour 20 m ²)	50	20	1	1	5%

Tableau 4. Description du seuil d'intervention moins contraignant

SEUIL MOINS CONTRAIGNANT-IMPERMEABLE				
Taille adventice	<5cm	5-15cm	15-30cm	>30cm
Nombre de plantes (pour 35 m lin. de fissures)	200	100	50	20

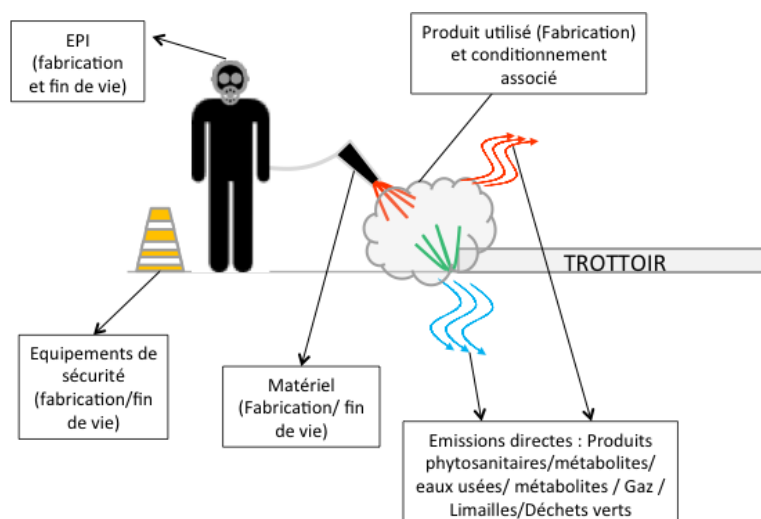
SEUIL MOINS CONTRAIGNANT-PERMEABLE					
Taille adventice	<5 cm	5-15 cm	15-30 cm	>30	Recouvrement global
Nombre de plantes (pour 20 m ²)	300	75	40	15	40 %

Pour chacune de ces techniques et modalités, le CETEV a relevé les rendements de passage, les intrants consommés, et le nombre de passages nécessaires sur une année pour satisfaire les deux seuils d'intervention.

2.4.1.2. Périmètre du cycle de vie

D'une manière générale, le système étudié prend en compte tout le matériel nécessaire aux bonnes pratiques de désherbage :

- Le matériel de désherbage en lui-même, ainsi que son véhicule tractant le cas échéant.
- Les équipements de protection individuels (EPI) portés par les opérateurs.
- Les équipements de sécurité nécessaires au bon déroulement d'une opération de désherbage.
- Le transport du matériel et des opérateurs sur le site à désherber.



2.5. UNITE FONCTIONNELLE

L'unité fonctionnelle retenue pour l'ACV est la suivante :

« Traiter 1 m² de surface enherbée, de type perméable ou imperméable, pendant un an, pour un objectif de gestion défini par un seuil de d'intervention quantifié (seuil contraignant ou seuil moins contraignant) »

Cette UF permet de comparer les techniques entre elles sur une base objective.

2.5.1. Flux de référence⁸

Pour répondre à cette unité fonctionnelle, le flux de référence est **« 1 m² de surface désherbée pendant 1 an »**, à décliner selon les techniques et les matériels étudiées.

2.6. FRONTIERES ET LIMITES DES SYSTEMES ETUDIES

2.6.1. Délimitation des frontières du système

L'étude réalisée est dite « du berceau à la tombe » : elle prend en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie du désherbage en zone non agricole (cf. figure 2).

Les principales étapes du cycle de vie sont les suivantes :

- Matières premières
- Production
- Application
- Fin de vie

Le tableau ci-dessous présente de manière synthétique les éléments qui ont été exclus du champ de l'étude.

La prise en compte d'une étape signifie l'inclusion dans les frontières du système, d'une part des matériaux impliqués dans la production ou le conditionnement, et d'autre part de l'ensemble des consommations mobilisées (électricité, gasoil, autres produits, etc.).

Tableau 5. Eléments inclus et exclus du système

Etape du CDV	Elément	Inclus	Exclus	Justification
Fabrication	Matériels	X		
	Emballages des matériels		X	Amortis vis-à-vis du poids et de la durée de vie du matériel
	Véhicules tractant	X		
	EPI	X		

⁸ Le flux de référence désigne la quantité du produit analysé ainsi que la quantité de consommables utilisés par ce produit pour satisfaire la définition de l'unité fonctionnelle.

	Equipements de sécurité	X		
	Emballages des EPI		X	Amortis sur les quantités de produits contenues
	Emballages des équipements de sécurité		X	Amortis sur les quantités de produits contenues
	Consommables	X		
	Carburants	X		
	Emballages des consommables	X		
Transport	Matériel et personnel	X		
Application	Emissions à l'application	X		
Fin de vie	Matériels	X		
	EPI et équipements de sécurité	X		

2.6.2. Limites de l'étude

La comparaison des techniques se veut objective en ce sens qu'elle a été réalisée sur la base de résultats expérimentaux suivant un protocole bien défini et permettant une comparaison à performance identique.

Toutefois l'évaluation environnementale comparative présente des limites inhérentes, d'une part aux systèmes étudiés, et d'autre part à la méthodologie ACV. Ces limites méthodologiques sont rappelées ci-dessous. Elles doivent faire partie intégrante des éléments d'interprétation au regard des résultats affichés.

L'expérimentation s'est déroulée sur une période temporelle limitée à 2 ans (2011-2012), et dans une situation géographique spécifique (région toulousaine) non représentative de la France dans son ensemble. Il convient donc de rappeler la variabilité naturelle propre à la géographie et aux variations climatiques. Ces variations ont potentiellement des répercussions très fortes sur les résultats puisqu'elles influencent directement les rendements des interventions, le nombre annuel de passages (ou) le nombre annuel d'interventions. Ainsi, les résultats de la présente étude ne peuvent théoriquement pas être extrapolés sans précaution à d'autres périodes et d'autres zones géographiques.

Il convient de rappeler qu'un seul type de matériel (tel que décrit dans le Tableau 2) a été considéré respectivement pour chacune des techniques expérimentées. Ces matériels ne sont pas forcément représentatifs de la diversité des matériels utilisés dans l'ensemble des situations qui peuvent être rencontrées sur le territoire. Or les types de matériels peuvent avoir, pour une même technique, une influence significative, positive ou négative, sur le rendement et l'efficacité en général.

Pour ce qui concerne la technique « thermique gaz », en raison de problèmes de sécurité liée aux risques incendie en été, la technique gaz a été substituée par une technique « eau chaude » durant les mois d'été où les risques incendie étaient forts. Ainsi, les résultats de la technique gaz sont en réalité des résultats relatifs à une modalité combinée « gaz + eau chaude », donc pas forcément représentatifs d'une technique gaz uniquement.

Les écarts entre les différentes techniques des résultats expérimentaux du nombre de passages pour le seuil « moins contraignant » sont jugés non significatifs (cf. rapports du Cetev, Action 1). Or, ce

paramètre ayant une influence forte sur les résultats des impacts environnementaux, les différences d'impacts environnementaux entre techniques pour le seuil « moins contraignant » doivent être relativisés à l'aune de ce peu de significativité.

Concernant la composition du désherbant utilisé, il convient de noter que, par défaut d'information, il a été modélisé un désherbant dont la formule a été approximée par une solution « glyphosate + surfactant + eau ». Cette formulation probablement très approximative ne correspond pas à la réalité, et en conséquence le résultat sur l'écotoxicité est probablement minoré (si l'on fait l'hypothèse probable que d'autres substances composent les formulations mises sur le marché). Enfin, les possibles effets « cocktails » dus aux interactions entre substances n'ont pas été considérés par manque de connaissance spécifique.

2.6.3. Représentativité des données

Cette étude a pour objectif de comparer les impacts de différentes techniques de désherbage en ZNA.

Le tableau ci-dessous présente la représentativité des données utilisées pour l'ACV.

Tableau 6. Représentativité des données

	Matériels	EPI et équipements de sécurité	Intrants	Rendements ⁹	Nombre de passages
Représentativité temporelle	2000/2010	2000/2010	2000/2010	2011/2012	2011/2012
Représentativité géographique	France/Europe	France/Europe	France/Europe	Toulouse (31)	Toulouse (31)
Représentativité technologique	Bonne	Bonne	Bonne	Conforme au protocole expérimental mais non représentatif des pratiques observées*	Conforme au protocole expérimental mais non représentatif des pratiques observées**
Taille de l'échantillon	Unique (un seul matériel modélisé)	Unique (un seul matériel modélisé)	NA	3 répétitions	3 répétitions

* Les rendements de chantier sont ceux qui ont été observés lors des tests réalisés par le CETEV et ne correspondent pas forcément aux pratiques observées au sein des collectivités ou de leurs sous-traitants. Voir le chapitre « 2.1 Objectifs de l'étude » pour plus d'information.

⁹ La définition du rendement est détaillée au paragraphe 3.

*** Cette ACV vise à évaluer différentes techniques de désherbage pour un service rendu identique (« rendement identique » cf. protocole expérimental d'essai). En ce sens, pour les aspects nombre de passages, elle n'est pas représentative des pratiques observées auprès des collectivités qui ne garantissent en général pas le même service rendu (en terme de qualité du désherbage réalisé) suivant les différentes techniques mises en œuvre et la fréquence des interventions. Voir le chapitre « 2.1 Objectifs de l'étude » pour plus d'information.*

2.6.4. Catégories d'indicateurs étudiés

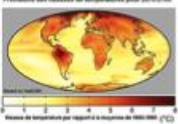
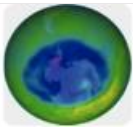
Les indicateurs de catégories d'impacts environnementaux considérés dans le cadre de cette étude sont décrits dans le tableau de la page suivante.

Le jeu d'indicateur est estimé complet et cohérent avec les objectifs de l'étude en ce sens qu'il couvre l'ensemble des problématiques environnementales potentiellement concernées par l'ensemble des systèmes étudiés : problématiques liées aux produits phytosanitaires, à la consommation d'énergies fossiles, émissions directes dans les milieux, matériaux associés aux matériels et aux techniques de désherbage. Notamment, le jeu d'indicateurs couvre aussi bien les enjeux globaux que régionaux et locaux.

NB 1 : Il est à noter que l'indicateur « Radiations ionisantes » (pertinent pour une étude dans un contexte français où le mix énergétique électrique est essentiellement à base de nucléaire) n'a pas été sélectionné car les procédés mis en œuvre ne consomment pas ou peu d'électricité au cours de leur cycle de vie.

NB 2: Bien que la problématique d'écotoxicité terrestre soit importante pour la présente étude, il n'existe pas à l'heure actuelle d'indicateur consensuel pertinent sur cet impact.

Le choix de ce jeu d'indicateurs est basé sur les recommandations du manuel ILCD (ILCD Handbook) du Joint Research Center (Centre de Recherche de la Commission Européenne). Ce jeu d'indicateurs est actuellement le plus consensuel au niveau de la communauté scientifique Européenne.

	Énergie non renouvelable : indique la quantité totale d'énergie non renouvelable consommée.
	Consommation d'eau : indique la quantité totale d'eau consommée. Il s'agit d'un indicateur de flux exprimé en m ³ (consommation brute d'eau prélevée dans les milieux) et non d'un indicateur d'impact du prélèvement sur les milieux en fonction de leur spécificité locale, notamment le type d'eau prélevée et le stress hydrique. Il s'agit de l'eau consommée tout au long du cycle de vie du ou des produits étudiés.
	Changement climatique : indique le potentiel de changement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre (GES) sur un horizon temporel de 100 ans.
	Oxydation photochimique : indique le potentiel de création d'ozone photochimique dans la troposphère (< 11 km alt.) induit par les émissions de substances (COV et NOx) générant ce phénomène. Sa survenue dans les grands centres urbains réfère généralement à l'appellation « pics de pollution » (on parle également de « smog »).
	Eutrophisation : indique le potentiel de pollution organique de l'eau induit par l'introduction de nutriments azotés et phosphatés dans les milieux aquatiques, et qui conduit notamment à la prolifération d'algues et à la dégradation de la qualité du milieu aquatique (voire son asphyxie).
	Écotoxicité aquatique (eau douce) : indique le potentiel de toxicité apporté aux milieux aquatiques (eaux douces de surface) par l'émission dans l'environnement de substances toxiques. L'écotoxicité déstabilise et menace la qualité et la variété des écosystèmes (faune et flore).
	Destruction de la couche d'ozone : indique le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone dans la stratosphère (> 11 km alt.)
	Épuisement des ressources : indique une diminution des réserves des ressources non renouvelables (minérales et fossiles).
	Acidification : indique le potentiel d'acidification des milieux (sols et eaux de surface) induit par les émissions de substances acidifiantes principalement dans l'air. Ces émissions sont notamment à l'origine du phénomène des pluies acides.
	Toxicité humaine : indique le potentiel de toxicité sur l'homme induit par l'émission dans l'environnement de substances susceptibles de créer des dommages sur la santé. Les effets cancérogènes sont distingués des effets non cancérogènes.

Les indicateurs de catégories d'impacts et les indicateurs d'inventaire formant la méthode de calcul de référence pour cette étude sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les méthodes d'origine des catégories d'impacts sélectionnés sont référencées. La robustesse des indicateurs est également évaluée qualitativement, d'après un consensus scientifique actuel : I pour les catégories les plus robustes, III pour les moins robustes (source : JRC¹⁰).

Tableau 7. Catégories d'indicateurs étudiés formant la méthode de calcul de référence pour cette ACV

CATÉGORIES D'INDICATEUR CONCERNÉ		UNITÉ	MÉTHODE D'ORIGINE	ROBUSTESSE	DEGRE DE PERTINENCE POUR L'ETUDE
Toxicité Humaine, cancérigène	Human toxicity, cancer effects	CTUh	USEtox model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III	Important
Toxicité humaine, non cancérigène	Human toxicity, non cancer effects	CTUh	USEtox model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III	Important
Écotoxicité	Ecotoxicity (USEtox)	CTUe	USEtox model (Rosenbaum et al, 2008)	II/III	Majeur
Changement climatique	Climate change	kg CO2 eq	Baseline model of 100 years of the IPCC	I	Majeur
Destruction de la couche d'ozone	Ozone depletion	kg CFC-11 eq	Steady state ODPs 1999 as in WMO assessment	I	Moindre
Oxydation photochimique	Photochemical ozone creation	kg NMVOC eq	LOTOS EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe	II	Majeur
Acidification	Acidification	molc H+ eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	II	Important
Eutrophisation	Freshwater eutrophication	kg P eq	EUTREND model (Struijs et al, 2009b) as implemented in ReCiPe	II	Important
Consommation d'eau	Water resource depletion	m3 water eq	Model for water consumption as in Swiss Ecoscarcity (Frischknecht et al., 2008)	I (étude sur un territoire homogène)	Important
Epuisement des ressources	Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	II	Moindre
Consommation d'énergie non renouvelable	Consommation d'énergie non renouvelable	éq MJ	Cumulative Energy Demand (CED)	I	Important

¹⁰ JRC, European Commission. ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. EUR 24571 EN (2011).

Les indicateurs retenus dans l'étude appartiennent à différentes méthodes d'évaluation des impacts en ACV telles que référencées dans le tableau 7. Les méthodes qui sont utilisées pour le calcul des indicateurs retenus dans l'étude sont succinctement décrites ci-après.

La méthode ReCiPe¹¹ : La méthode ReCiPe qui a vu le jour en 2009 est le fruit d'une collaboration entre le cabinet PRé Consultants (Amersfoort, Netherlands), CML (Université de Leiden, Netherlands), RUN (Université de Radboud Nijmegen, Netherlands) et le RIVM (Bilthoven, Netherlands). Méthode récente, elle fait l'objet d'un relatif consensus au sein de la communauté scientifique. Le modèle « Hiérarchist » (H), souvent rencontré dans les modèles scientifiques est considéré comme le modèle par défaut. Cette méthode est recommandée pour caractériser les catégories d'impacts : acidification et formation d'ozone photochimique.

Note :

La méthode ReCiPe propose trois classes de pondération (relatives à des perspectives culturelles) selon lesquels les facteurs de caractérisation des indicateurs d'impacts sont calculés. La perspective « Hiérarchist » (H), souvent rencontrée dans les modèles scientifiques est considérée comme le modèle par défaut par leurs auteurs. La perspective « Individualist » (I) est basée sur une vision à court terme, prenant en compte les impacts avérés et une vision optimiste quant à l'adaptation de l'Homme face à ces impacts. La perspective « Egalitarian » (E) prend plus en compte le principe de précaution, une approche à long terme et les impacts pour lesquels des incertitudes subsistent encore. La perspective utilisée dans cette étude est la perspective « Hiérarchist » (H).

La méthode CML 2001 v2.05¹² : une des méthodes les plus reconnues, éprouvées et mise à jour régulièrement. Elle fournit la méthode la plus exhaustive pour la caractérisation des impacts sur l'eutrophisation des milieux aquatiques (marins et eaux douces).

La méthode IPCC¹³ : développée par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) fait consensus pour évaluer le potentiel de changement climatique des gaz à effet de serre. Cette catégorie d'indicateur peut être appliquée à trois horizons de temps différents : 20 ans, 100 ans et 500 ans. La méthode IPCC à horizon 100 ans est celle recommandée par le JRC, l'indicateur s'exprimée en kg CO₂ équivalent.

¹¹ M. Goedkoop, ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation, January 2009. Disponible sur < <http://www.lcia-recipe.net/>>.

¹² <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/projects/lca2/index.html>.

¹³ <http://www.ipcc.ch/>.

La méthode Cumulative Energy Demand (CED): Elle est basée sur la méthode publiée par ecoinvent 1.01, mise à jour pour la version 2.0 et étendue par PRé Consultants. Elle a pour but d'évaluer l'utilisation d'énergie primaire¹⁴ (renouvelable ou non renouvelable) tout au long du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Pour plus d'informations, voir la publication de Frischknecht R. et.al.¹⁵ Cet indicateur n'est pas un indicateur d'impact mais un indicateur de flux. Cet indicateur permet néanmoins de réaliser des comparaisons puisque les techniques comparées font appel essentiellement à de l'énergie issue de ressources pétrolières.

La méthode USEtox¹⁶ : modèle développé à l'initiative de l'UNEP (United Nations Environment Program) et de la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) pour la caractérisation des impacts toxicologiques et écotoxicologiques. Cette méthode constitue la référence actuelle pour l'évaluation de ces impacts. Concernant l'indicateur toxicité humaine cancérigène, il est important de préciser que cet indicateur ne traduit aucun classement relatif à la réglementation sur ce type de substances.

¹⁴ Consommation finale totale plus la consommation nécessaire à la production de cette énergie.

¹⁵ Frischknecht R., Jungbluth N., et.al. (2003). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, www.ecoinvent.ch.

¹⁶ Ralph K. Rosenbaum et.al. USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. Int J Life Cycle Assess (2008) 13:532–546.

3. MODELISATION DU SYSTEME : DONNEES ET HYPOTHESES

L'ensemble des données et hypothèses utilisées pour la modélisation du système est disponible dans le rapport « *Documentation technique – ACV et outil d'auto-évaluation* ». Le lecteur est invité à s'y référer. Le tableau ci-dessous détaille les renvois pour chaque technique.

Tableau 8. Renvois vers les détails de modélisation

Technique	Élément de modélisation	Page
Toutes	EPI et équipements de sécurité	28
Toutes	EPI et équipements de sécurité - détails de la modélisation	52
Toutes	Matériels et situations modélisées	29
Toutes	Matériels - détails de la modélisation	55
Toutes	Transport jusqu'au site de traitement	30
Toutes	Combustion du gasoil dans les matériels	31
Toutes	Durée d'utilisation des matériels	32
Toutes	Scénarios de fin de vie	32
Mécanique / brosseuse	Pertes de limaille d'acier et émissions dans le milieu	34
Thermique / gaz	Combustion du propane	35
Thermique / eau chaude et vapeur	Consommations de gasoil du matériel (pompe et chaudière)	36
Chimique	Composition du produit chimique pulvérisé	37
Chimique	Migration des substances actives de la bouillie phytosanitaire vers le milieu	43
Chimique	Facteurs de caractérisation d'écotoxicité aquatique de l'AMPA et du surfactant	46

Les données de rendement, de consommations, et des nombres de passages sur un an pour chaque technique utilisée dans la comparaison ACV sont issues de l'expérimentation du CETEV (Protocole 2 de l'Action 1 du programme COMPAMED ZNA)¹⁷.

Les rendements pour les différentes surfaces imperméables sont calculés comme suit :

¹⁷ Il convient de noter que l'ACV diffère en cela de l'outil d'auto-évaluation par le fait que, dans l'outil, l'utilisateur pourra intégrer des données relevées propres à sa situation.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Surface travaillée}}{\text{Temps d'intervention}} = \frac{\text{Longueur travaillée} * \text{Largeur travaillée}}{\text{Temps d'intervention}}$$

Avec : *Longueur travaillée* = longueur de la parcelle élémentaire = 35 m.

Largeur travaillée = largeur spécifique, fonction de l'appareil employé pour le désherbage.

Temps d'intervention = durée nécessaire du début à la fin du traitement sur site pour atteindre l'objectif.

Ces valeurs sont détaillées dans le tableau ci-dessous (source : Relevés expérimentaux des rendements et consommations, Compamed, Action 1, CETEV, 2012).

Tableau 9. Rendements et quantités de consommables utilisés dans la modélisation¹⁸. Source : Cetev.

RENDEMENTS (m ² /h)	Imperméable C	Imperméable MC	Perméable C	Perméable MC
[CHIM] Pulvérisateur DOE ¹⁹	4941	4926	3243	3243
[CHIM] Pulvérisateur à dos	1574	1579	1044	1044
[GAZ] lance sur chariot tracté	53	14	56	25
[MECA] Binette	29	21	87	56
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	189	202	NA ¹⁶	NA ¹⁶
[MECA] Module tracté « desherbeur mécanique	NA ²⁰	NA ¹⁶	1200	1200
[EAU] Vapeur	132	74	76	67
[EAU] Eau chaude	75	35	158	91
CONSOMMATIONS D'INTRANTS LORS DU TRAITEMENT	Imperméable C	Imperméable MC	Perméable C	Perméable MC
Eau, traitement vapeur (L/m ²)	3,73	6,62	6,5	7,4
Eau, traitement eau chaude (L/m ²)	6,4	13,8	3,04	5,2
Gaz (g/m ²)	17	65	13,2	28,6

¹⁸ C : seuil contraignant ; MC : seuil moins contraignant.

¹⁹ Détection Opto-Electronique

²⁰ Sur le sol perméable la brosseuse sur balayeuse a été remplacée par le module tracté.

Par ailleurs, les matériels « eau chaude » et « vapeur » fonctionnent avec une chaudière au gasoil dont les consommations relevées lors de l'expérimentation sont les suivantes :

- Vapeur : 0,017 litre de gasoil par litre d'eau chauffée à température requise pour l'application.
- Eau chaude : 0,021 litre de gasoil par litre d'eau chauffée à température requise pour l'application.

Le deuxième paramètre important permettant de construire les itinéraires techniques est le nombre de passages annuel effectués pour chaque technique. Ces données, issues des relevés expérimentaux, sont présentées dans le tableau 10 ci-dessous : il s'agit donc du nombre moyen de passages (3 répétitions) pour chaque modalité sur chaque type de sol (source : relevés expérimentaux du nombre de passages nécessaire par seuil, Compamed, Action 1, CETEV, 2012).

Tableau 10. Nombres de passages annuels relevés pour chaque technique. (Source : Cetev)

NOMBRE DE PASSAGES ANNUEL	Imperméable C	Imperméable MC	Perméable C	Perméable MC
[CHIM] Pulvérisateur DOE	9	7,33	9	4
[CHIM] Pulvérisateur à dos	7,66	4,33	8	4
[GAZ] lance sur chariot tracté (+ eau chaude) ²¹	12,66 (+ 8)	3 (+ 3)	12 (+ 6)	6 (+ 3)
[MECA] Binette	17	6,33	15	7
[MECA] Module tracté « brosse métallique »	20,33	5,33	Na	Na
[MECA] Module tracté « desherbeur mécanique »	na	na	18	10
[EAU] Vapeur	17,33	6,66	10	5
[EAU] Eau chaude	17,33	5	12	5

²¹ En raison d'un risque d'incendie pendant la période estivale de l'expérimentation, certains passages au gaz ont dû être réalisés à l'eau chaude. La modalité « gaz » est donc une modalité mixte qui a été modélisée comme telle. Une analyse de sensibilité sur ce point est effectuée en partie 6.5.

4. ANALYSE DE LA QUALITE DES DONNEES

Le tableau ci-dessous présente l'analyse de la qualité des données. Chaque donnée est classée selon une note allant de 1 (très bonne qualité) à 3 (qualité faible).

Tableau 11. Qualité des données

	Matériels	EPI et équipements de sécurité	Intrants	Rendements	Nombre de passages
Nature des matières	2	2	2	so.	so.
Répartition des matières	3	3	2	so	so.
Quantités	2/3	2/3	1	1	1
Durée de vie	3	3	so.	so.	so.
Fin de vie / émissions	2	2	2	so.	so.

Note	Qualité de la donnée
1	Très bonne : donnée spécifique, collecte sur site, dires d'experts
2	Moyenne : donnée générique, donnée fournisseur ou valeur bibliographique
3	Mauvaise ou aléatoire : Estimations ou hypothèses
so.	Sans objet

Dans l'ensemble les données utilisées dans cette analyse sont plutôt de bonne qualité, et de qualité homogène d'une technique à l'autre. Il est à noter que les seules données relevées lors de l'expérimentation sont le nombre de passages, la consommation d'intrants et les rendements, ce qui explique leur très bonne qualité vis-à-vis d'autres données telles que la durée de vie des EPI ou des matériels qui ont dû, faute de relevés, être estimés.

Ces différents niveaux de qualité des données nous servent de base pour l'affectation de degré d'incertitude dans la modélisation via la matrice de Pedigree²² (évaluation qualitative de l'incertitude). Les incertitudes paramétrables dans SimaPro²³ portent sur les quantités de flux entrants ou sortants, mais il n'est pas possible de caractériser des incertitudes sur la nature de ces flux ou leur répartition.

²² Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators, WEIDEMA et al. 1996.

²³ Outil expert d'Analyse de Cycle de Vie, leader mondial.

L'incertitude globale est donc sous-évaluée mais permet néanmoins de mettre à l'épreuve les conclusions de la partie qui suit.

Les trois tableaux suivants présentent la caractérisation de l'incertitude pour chacune des catégories.

Tableau 12. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 3

Basic uncertainty	1,05
Reliability	Non verified data partly based on qualified estimates
Completeness	Representative data from >50% of the sites relevant
Temporal correlation	Less than three years of reference to our reference year
Geographical correlation	Average data from larger area in which the area under study is included
Further technological correlation	Data on related process or materials but with different technology
Sample Size	Unknown
Uncertainty	1,52

Tableau 13. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 2/3

Basic uncertainty	1,05
Reliability	Verified data based on assumption
Completeness	Representative data from >50% of the sites relevant
Temporal correlation	Less than 6 years of reference to our reference year
Geographical correlation	Average data from larger area in which the area under study is included
Further technological correlation	Unspecified
Sample Size	Unknown
Uncertainty	1,23

Tableau 14. Caractérisation de l'incertitude pour des données de niveau de qualité 1

Basic uncertainty	1,05
Reliability	Verified data based on measurements
Completeness	Representative data from all sites
Temporal correlation	Less than 3 years of reference to our reference year
Geographical correlation	Data from area under study
Further technological correlation	Data from enterprises, processes and material under study
Sample Size	>= 3
Uncertainty	1,11

Le classement de ces incertitudes permettra d'effectuer une analyse d'incertitude présentée en partie 6.6.

5. EVALUATION DE L'IMPACT DU CYCLE DE VIE

L'évaluation des impacts environnementaux est faite selon la méthode de calcul de référence présentée en section 2.6.4.

Les résultats sont présentés successivement de la manière suivante :

- Résultats globaux de la comparaison des techniques pour chacun des types de sols (perméable vs. imperméable) et pour chacune des modalités (contraignant vs. moins contraignant).
- Normalisation des résultats.
- Analyses de contribution pour chacune des techniques.

Pour rappel, les résultats sont relatifs au désherbage d'une surface de 1 m² pendant 1 an, avec une technique donnée, sur un type de sol donné (perméable vs. imperméable), selon une modalité de gestion donnée (contraignant vs. moins contraignant).

Les résultats comparatifs sont présentés sur des graphiques en base 100. La lecture doit se faire de la façon suivante : pour un indicateur donné, la technique qui est la plus impactante représente 100% et le résultat des autres techniques est exprimé relativement à cet impact maximal. Ce mode de présentation des résultats permet une comparaison rapide des techniques entre elles.

Pour compléter la lecture, les résultats sont également exprimés en valeurs absolues dans des tableaux de résultats placés directement sous le graphe.

Un code couleur attribué à chaque technique permet de faciliter la lecture.

Il convient de se souvenir lors de la lecture et de l'interprétation des résultats que la technique dite « gaz » est en fait un combiné « gaz + eau chaude » (cf. § 2.6.2 Limites de l'étude). Ce point est important car il ressort globalement des résultats expérimentaux que la technique « eau chaude » est la plus impactante, et cela a donc une incidence significative sur les résultats de la technique « combiné gaz + eau chaude ». Une analyse de sensibilité est proposée pour traiter ce point particulier. Par souci de simplification, on parlera dans la suite du rapport de la technique « gaz ».

Enfin, concernant le désherbage mécanique qui fait partie des modalités testées dans l'expérimentation, il convient de se rappeler pour la comparaison que des matériels différents sont utilisés pour chacune des surfaces traitées : brosse pour surface imperméable et module tracté pour surface perméable.

5.1. EVALUATION COMPARATIVE

5.1.1. Seuil contraignant

5.1.1.1. Sol imperméable

La Figure 5 et le tableau 15 ci-dessous présentent les résultats pour le sol imperméable avec un seuil contraignant.

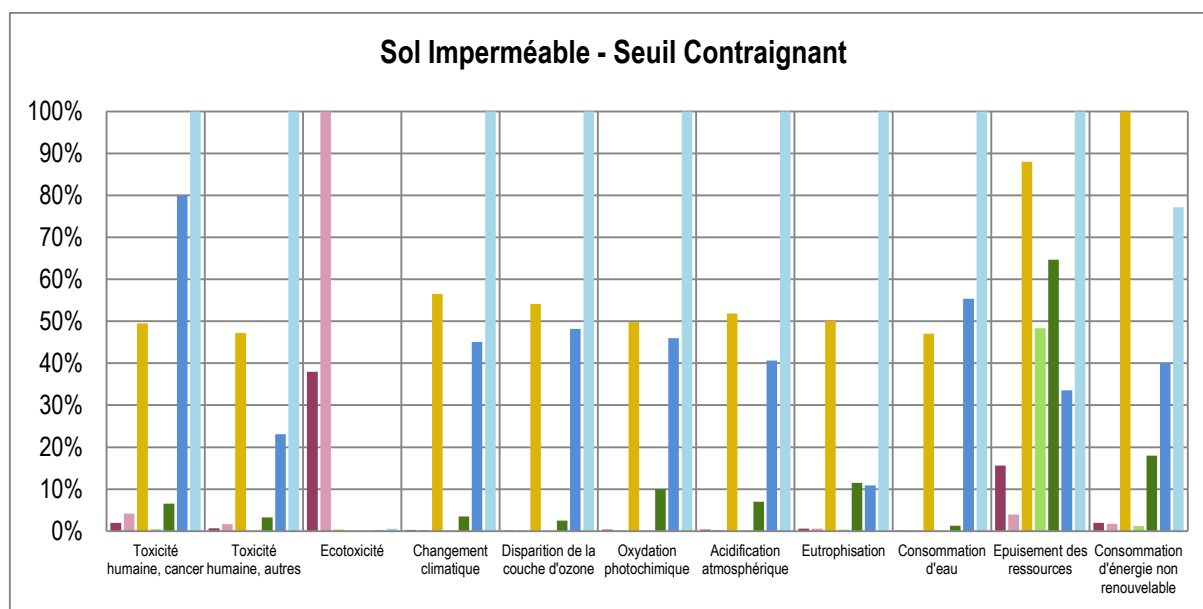


Figure 5. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil contraignant

Tableau 15. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil contraignant²⁴

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. à dos	[GAZ] Lance chariot tracté + eau chaude	[MECA] Binette	[MECA] Mod. tracté «brosse métallique»	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancer.	5,76E-12	1,22E-11	1,44E-10	1,34E-12	1,91E-11	2,33E-10	2,92E-10
Toxicité humaine, non cancer.	2,25E-11	5,34E-11	1,55E-09	7,18E-13	1,07E-10	7,57E-10	3,28E-09
Écotoxicité	8,97E-01	2,36E+00	7,76E-03	4,60E-05	5,47E-04	5,69E-03	1,35E-02
Changement climatique	2,93E-02	2,59E-02	5,22E+00	1,26E-02	3,20E-01	4,16E+00	9,24E+00
Destruction couche d'ozone	1,48E-09	1,85E-09	7,02E-07	9,10E-10	3,18E-08	6,24E-07	1,30E-06

²⁴ Pour des raisons de praticité, les résultats sont présentés selon l'écriture scientifique, E signifiant « exposant », soit une puissance de 10. Par exemple, 1E1=1x10¹=10, 1E2=1x10²=100, 1E-1=1x10⁻¹=0,1, 1E-2=1x10⁻²=0,01, etc.

Oxydation photochimique	9,51E-05	6,02E-05	1,23E-02	3,55E-05	2,45E-03	1,13E-02	2,47E-02
Acidification atmosphérique	1,05E-04	8,00E-05	1,68E-02	5,77E-05	2,25E-03	1,31E-02	3,23E-02
Eutrophisation	5,64E-06	6,07E-06	4,95E-04	3,64E-06	1,13E-04	1,07E-04	9,87E-04
Consommation d'eau	2,23E-05	2,79E-05	1,08E-02	2,18E-05	2,97E-04	1,27E-02	2,29E-02
Épuisement des ressources	4,05E-07	1,02E-07	2,28E-06	1,25E-06	1,68E-06	8,70E-07	2,59E-06
Consommation énergie non renouvelable	3,86E-01	3,38E-01	1,95E+01	2,39E-01	3,49E+00	7,79E+00	1,50E+01

Interprétation

Globalement, concernant la modalité « sol imperméable – seuil contraignant », l'analyse qui peut être faite des résultats est décrite ci-dessous.

Les techniques se répartissent en 3 groupes au regard de leurs impacts environnementaux :

- La technique « eau chaude » qui ressort comme significativement plus impactante que les autres, excepté sur l'indicateur « écotoxicité ».
- Les techniques « vapeur » et « gaz » ressortent comme moins impactantes que la technique « eau chaude » mais sont néanmoins significativement impactantes sur l'ensemble des indicateurs.
- Les techniques « chimique », « binette », et « brosseuse » ressortent comme globalement moins impactantes.

En affinant un peu l'analyse, les éléments suivants peuvent être mis en avant :

- La technique « eau chaude » ressort comme étant la plus impactante des techniques. Elle ressort significativement plus impactante pour 9 indicateurs sur 11. Par ailleurs elle ressort également fortement impactante sur l'indicateur « énergie non renouvelable ». Ce résultat concernant la technique eau chaude peut s'expliquer par la concomitance, d'une part de rendements faibles et d'un nombre de passages élevé, et d'autre part par une consommation élevée d'eau chaude²⁵.
- La technique « gaz » a l'impact le plus important sur l'indicateur « énergie non renouvelable ». Cela vient, d'une part de la consommation directe d'une ressource fossile (le gaz), et d'autre part de la consommation d'énergie fossile (le gasoil) pour chauffer l'eau.
- Les techniques mécaniques « binette » et « brosseuse » ont un impact non négligeable sur l'indicateur « ressources non renouvelables ». Ceci s'explique par les rendements faibles et les

²⁵ A titre de comparaison, ces valeurs pour la consommation d'eau chaude (issues de l'expérimentation) sont significativement plus élevées que dans les pratiques observées.

nombre de passages élevés qui se traduisent par une quantité importante d'heures d'utilisation du matériel et des EPI (notamment pour la binette, cf. les analyses de contribution au § 6.3) pour obtenir une efficacité identique (or la contribution du cycle de vie du matériel est proportionnelle à son temps d'utilisation du fait de son amortissement). Par ailleurs, sur sol imperméable la brosseuse génère une quantité non négligeable de paille de fer, ce qui contribue majoritairement à son impact sur les « ressources non renouvelables ». La technique « binette » s'avère comme étant globalement la technique la moins impactante sur l'ensemble des indicateurs.

- Les techniques chimiques « pulvérisateur à dos » et « pulvérisateur DOE » ressortent logiquement comme nettement plus impactantes sur l'indicateur « écotoxicité ». Il convient de noter toutefois la diminution significative d'impact associée à la technique DOE.
- Concernant la toxicité humaine, ce sont les substances liées à la fabrication et à la combustion du gasoil qui sont à l'origine de l'impact, ce qui explique que les techniques thermiques impactent de manière significativement plus élevée. Il convient de noter que pour les substances chimiques des produits phytosanitaires, seules sont caractérisés le glyphosate et l'AMPA (le surfactant n'a pas pu être caractérisé, ce qui signifie qu'avec cette modélisation il ressort avec un impact nul sur la toxicité humaine).

5.1.1.2. Sol perméable

La figure 6 et le tableau 16 ci-dessous présentent les résultats pour le sol perméable avec un seuil contraignant.

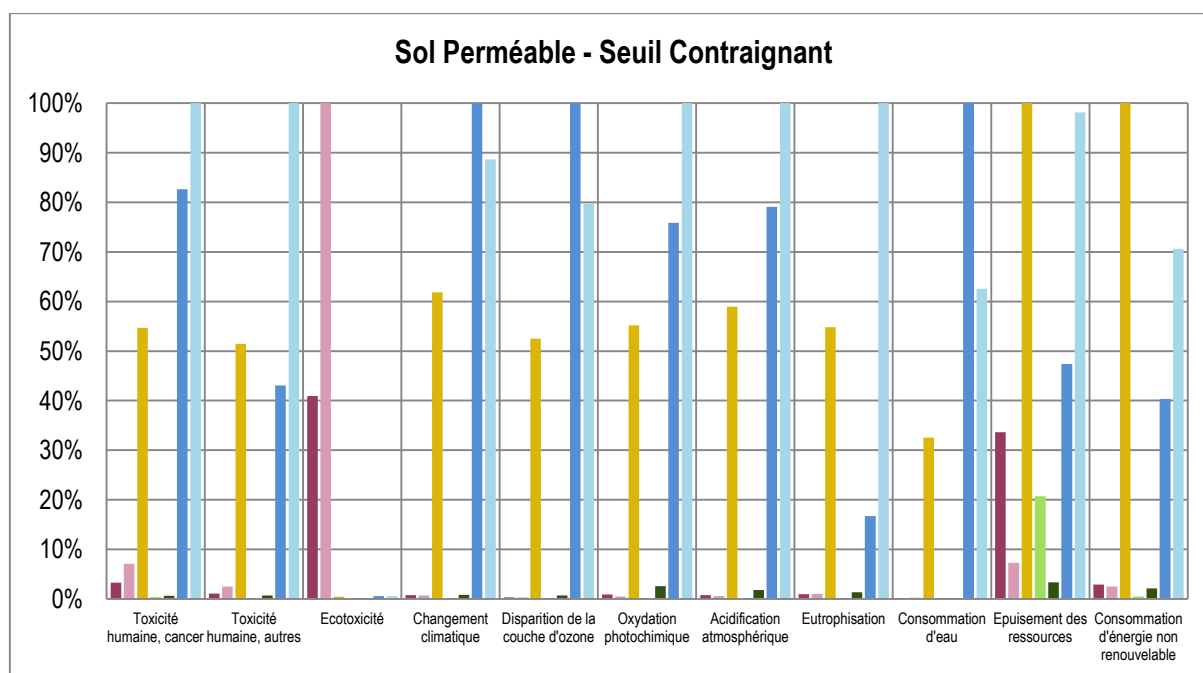


Figure 6. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil contraignant

Tableau 16. Résultats chiffres de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil contraignant

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. à dos	[GAZ] Lance chariot tracté + eau chaude	[MECA] Binette	[MECA] Module tracté	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancer	5,85E-12	1,28E-11	9,84E-11	6,83E-13	1,15E-12	1,49E-10	1,80E-10
Toxicité humaine, autres	1,94E-11	4,39E-11	8,94E-10	2,15E-13	1,21E-11	7,49E-10	1,74E-09
Écotoxicité	4,03E-01	9,83E-01	4,10E-03	1,43E-05	7,08E-05	5,40E-03	5,77E-03
Changement climatique	3,15E-02	2,74E-02	2,50E+00	3,88E-03	3,47E-02	4,04E+00	3,58E+00
Destruction de la couche d'ozone	1,79E-09	2,02E-09	3,18E-07	2,96E-10	4,17E-09	6,06E-07	4,83E-07
Oxydation photochimique	1,15E-04	6,37E-05	7,13E-03	1,16E-05	3,36E-04	9,80E-03	1,29E-02
Acidification atmosphérique	1,22E-04	8,49E-05	9,12E-03	1,77E-05	2,79E-04	1,22E-02	1,55E-02
Eutrophisation	6,15E-06	6,41E-06	3,43E-04	1,06E-06	8,33E-06	1,04E-04	6,25E-04
Consommation d'eau	2,36E-05	2,95E-05	4,14E-03	6,37E-06	2,09E-05	1,27E-02	7,95E-03
Épuisement des ressources	5,94E-07	1,29E-07	1,76E-06	3,66E-07	5,90E-08	8,36E-07	1,73E-06
Consommation d'énergie non renouvelable	4,22E-01	3,61E-01	1,44E+01	6,97E-02	3,04E-01	5,81E+00	1,02E+01

Interprétation

Les mêmes interprétations que celles de la modalité « imperméable – seuil contraignant » peuvent être faites pour cette modalité « perméable – seuil contraignant », en apportant toutefois les nuances suivantes :

- La technique « eau chaude » ne ressort plus systématiquement comme la plus impactante : la technique « vapeur » est sensiblement plus impactante sur 3 indicateurs, et la technique « gaz » est la plus impactante sur les indicateurs « épuisement des ressources » et « énergie non renouvelable ». Ce repositionnement relatif des techniques entre elles s'explique par la variation des rendements et des nombres de passages entre les deux modalités « imperméable – seuil contraignant » et « perméable – seuil contraignant » (le rendement de la technique « eau chaude » augmente et le nombre de passages annuel diminue).
- La technique « module tracté » utilisée sur sol perméable ne génère pas de paille de fer à l'instar de la brosseuse utilisée sur sol imperméable. Ceci explique donc que la technique

mécanique sur sol perméable n'a pas, comparativement aux autres techniques, d'impact significatif sur l'indicateur « diminution des ressources ».

5.1.2. Seuil moins contraignant

5.1.2.1. Sol imperméable

La Figure 7 et le Tableau 17 ci-dessous présentent les résultats pour le sol imperméable avec un seuil moins contraignant.

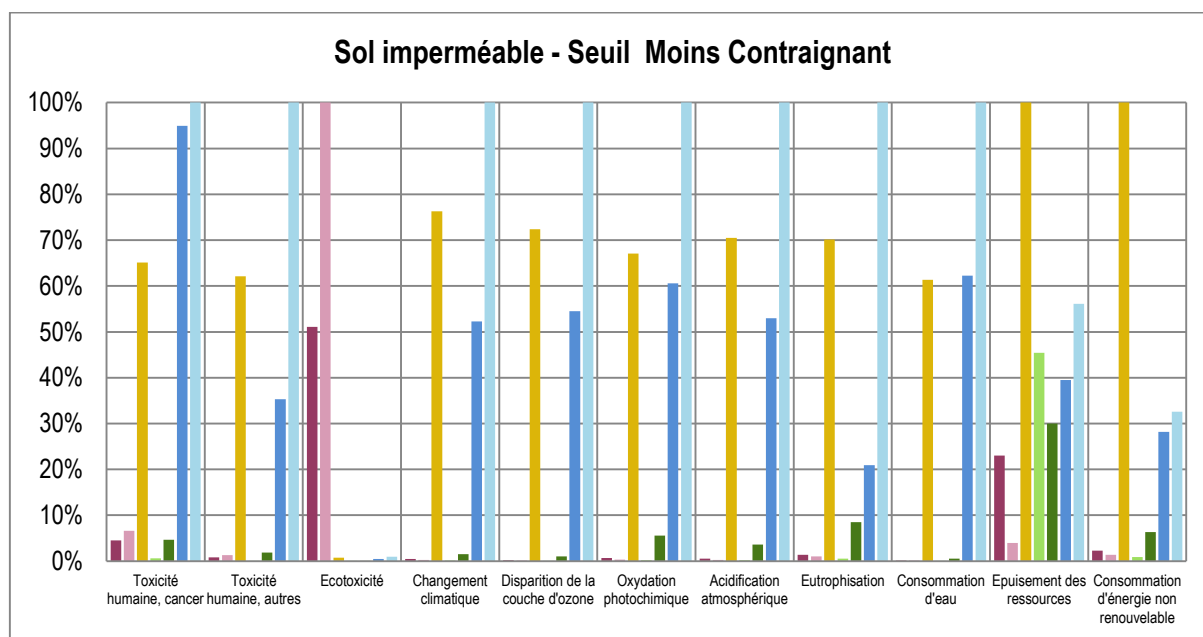


Figure 7. Résultats de l'évaluation comparative des techniques sur sol imperméable avec un seuil moins contraignant

Tableau 17. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques sur sol imperméable avec un seuil moins contraignant

	[CHIM] Pulvé. DOE	[CHIM] Pulvé. dos	[GAZ] Lance chariot tracté + eau chaude	[MECA] Binette	[MECA] Brosseuse	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancer	4,69E-12	6,90E-12	6,82E-11	6,26E-13	4,87E-12	9,94E-11	1,05E-10
Toxicité humaine, non cancer	1,13E-11	1,83E-11	8,92E-10	3,73E-13	2,68E-11	5,08E-10	1,44E-09
Écotoxicité	3,74E-01	7,32E-01	5,41E-03	2,38E-05	1,36E-04	3,66E-03	7,21E-03
Changement climatique	2,39E-02	1,46E-02	4,00E+00	6,53E-03	8,01E-02	2,74E+00	5,24E+00
Destruction de la couche d'ozone	1,20E-09	1,04E-09	5,45E-07	4,67E-10	7,91E-09	4,11E-07	7,54E-07
Oxydation photochimique	7,76E-05	3,40E-05	7,34E-03	1,82E-05	6,08E-04	6,63E-03	1,09E-02
Acidification atmosphérique	8,53E-05	4,52E-05	1,10E-02	2,98E-05	5,62E-04	8,29E-03	1,57E-02
Eutrophisation	4,59E-06	3,43E-06	2,37E-04	1,90E-06	2,87E-05	7,08E-05	3,38E-04
Consommation d'eau	1,81E-05	1,58E-05	8,49E-03	1,13E-05	7,54E-05	8,62E-03	1,39E-02
Épuisement des ressources	3,31E-07	5,74E-08	1,44E-06	6,54E-07	4,32E-07	5,69E-07	8,08E-07
Consommation d'énergie non renouvelable	3,15E-01	1,91E-01	1,39E+01	1,25E-01	8,80E-01	3,92E+00	4,54E+00

Interprétation

On retrouve les mêmes tendances dans la comparaison des résultats, et les interprétations précédentes restent valables pour expliquer les résultats de cette modalité « imperméable – moins contraignant ». Les variations relatives mineures entre techniques d'une modalité expérimentale à l'autre s'expliquent par des variations de rendement et de nombre annuel de passages expérimentaux.

5.1.2.2. Sol perméable

La Figure 8 et le Tableau 18 ci-dessous présentent les résultats pour le sol perméable avec un seuil moins contraignant.

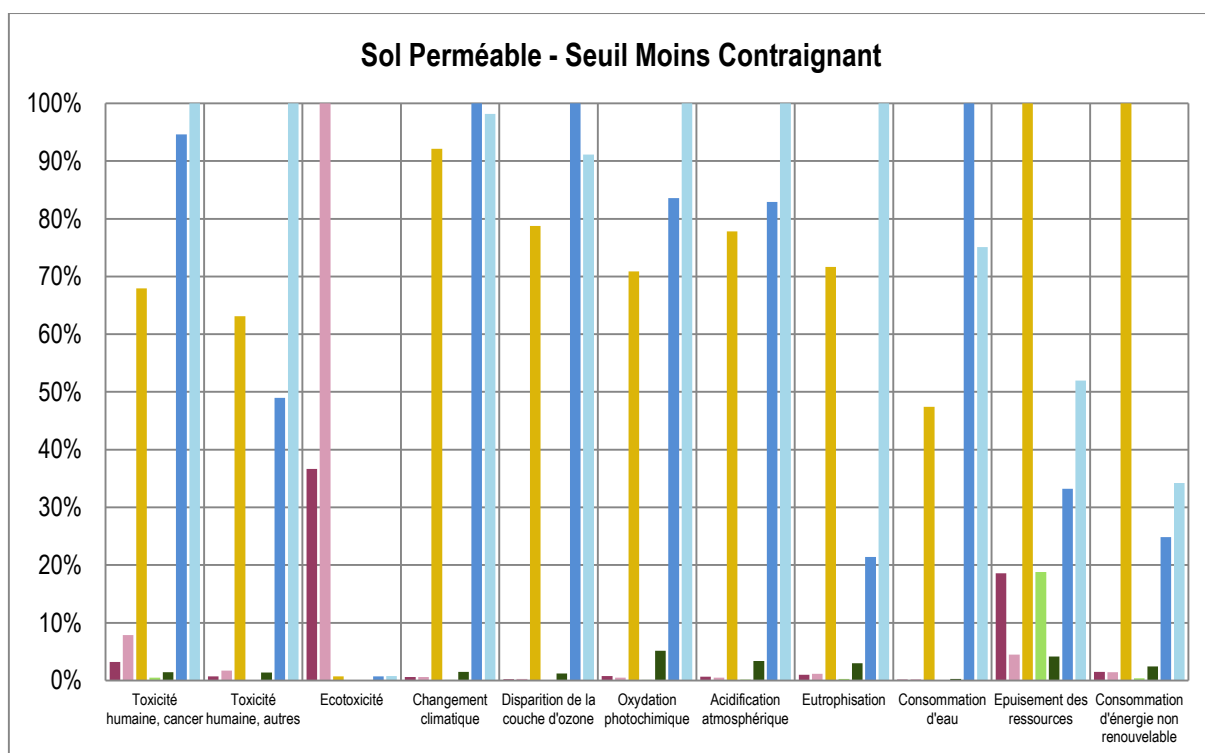


Figure 8. Résultats de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil moins contraignant

Tableau 18. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques sur sol perméable avec un seuil moins contraignant

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. dos	[GAZ] Lance chariot tracté + eau chaude	[MECA] Binette	[MECA] Module tracté	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancer	2,60E-12	6,39E-12	5,50E-11	3,84E-13	1,15E-12	7,66E-11	8,09E-11
Toxicité humaine, autres	6,19E-12	1,49E-11	5,47E-10	1,55E-13	1,21E-11	4,25E-10	8,67E-10
Écotoxicité	1,57E-01	4,29E-01	3,09E-03	1,01E-05	7,08E-05	3,04E-03	3,37E-03
Changement climatique	1,40E-02	1,37E-02	2,11E+00	2,76E-03	3,47E-02	2,29E+00	2,25E+00
Destruction de la couche d'ozone	7,94E-10	1,01E-09	2,70E-07	2,04E-10	4,17E-09	3,43E-07	3,12E-07
Oxydation photochimique	5,12E-05	3,19E-05	4,60E-03	7,97E-06	3,36E-04	5,43E-03	6,50E-03
Acidification atmosphérique	5,42E-05	4,25E-05	6,45E-03	1,26E-05	2,79E-04	6,88E-03	8,30E-03
Eutrophisation	2,73E-06	3,21E-06	1,98E-04	7,76E-07	8,33E-06	5,91E-05	2,76E-04
Consommation d'eau	1,05E-05	1,48E-05	3,43E-03	4,65E-06	2,09E-05	7,23E-03	5,43E-03
Épuisement des ressources	2,64E-07	6,43E-08	1,42E-06	2,67E-07	5,90E-08	4,73E-07	7,39E-07

Consommation d'énergie non renouvelable	1,88E-01	1,80E-01	1,26E+01	5,10E-02	3,04E-01	3,12E+00	4,30E+00
---	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Interprétation

On retrouve les mêmes tendances dans la comparaison des résultats, et les interprétations précédentes restent valables pour expliquer les résultats de cette modalité « perméable – moins contraignant ». Les variations relatives mineures entre techniques d'une modalité expérimentale à l'autre s'expliquent par des variations de rendement et de nombre de passages expérimentaux.

5.2. INTERPRETATION GENERALE SUR LA COMPARAISON DES TECHNIQUES

Au vu des graphiques et tableaux de résultats présentés ci-dessus, plusieurs tendances se dessinent quels que soient les seuils et types de sols considérés :

- Les techniques thermiques « eau chaude », « vapeur », et « gaz » ressortent comme les techniques les plus impactantes sur la quasi-totalité des indicateurs environnementaux hormis sur l'indicateur « écotoxicité ». Il apparaît également que la technique « eau chaude » s'avère globalement la plus impactante des techniques, notamment sur sol imperméable. On peut en conclure que la technique « eau chaude » est la moins efficace d'un point de vue environnemental (« coût » environnemental ramené à l'efficacité), exception notable faite des aspects « écotoxicité ». Enfin, il semble ressortir de la comparaison deux à deux des résultats obtenus sur sol perméable et imperméable que la technique « eau chaude » est encore moins efficace sur sol imperméable que sur sol perméable (par déduction : les écarts entre la technique « eau chaude » et les autres techniques étant, à seuil identique, moindres sur sol perméable que sur sol imperméable).
- Globalement sur l'ensemble des indicateurs environnementaux la binette s'avère être la technique la moins impactante. Il convient de noter un impact non négligeable sur l'indicateur « diminution des ressources » lié à une forte mobilisation des équipements due à des rendements faibles. Toutefois, il convient de relativiser cet impact de la binette sur les ressources, d'une part en raison de l'incertitude concernant les durées de vie des équipements, et d'autre part car la normalisation des résultats (cf. § 5.5) montre que l'impact sur les ressources non renouvelables n'est pas un enjeu prioritaire pour le désherbage. Par ailleurs, il convient de noter que le rendement de la binette est significativement plus élevé sur les sols perméables que sur les sols imperméables.
- Les techniques chimiques (pulvérisateur à dos et pulvérisateur DOE) ressortent comme significativement les plus impactantes sur l'indicateur « écotoxicité ». Le pulvérisateur DOE a un impact minimisé du fait de la moindre quantité de glyphosate épandue grâce au système de détection opto-électronique. D'une manière générale, les techniques chimiques sont favorisées dans la comparaison par les très bons rendements affichés (elles ressortent comme étant les techniques les plus efficaces pour le désherbage avec des seuils exigeants).

- La technique mécanique « brosseuse » se distingue des autres techniques du fait des pertes d'acier associées à l'usure des brosses (auxquelles il faudrait en théorie ajouter les pertes du revêtement de surface telles que proposées par C. Kempenaar²⁶. Ces usures des revêtements n'ont pas été intégrés à la présente ACV), consommation qui induit un impact non négligeable sur l'indicateur « épuisement des ressources ».

5.3. ANALYSES DE CONTRIBUTION

Cette partie du rapport présente, pour l'essai sur surface imperméable en seuil moins contraignant la contribution de chaque poste pour chacun des indicateurs environnementaux. Pour éviter la multiplication des graphes et faciliter la lecture, les résultats sont présentés pour une seule modalité. Le seuil moins contraignant a été sélectionné car c'est celui qui se rapproche le plus des situations observées chez les gestionnaires (Action 2). Les postes étudiés sont :

- Utilisation du matériel : impact de la fabrication et de la fin de vie du matériel, amorti sur la durée totale d'utilisation.
- Usure des EPI et matériel de sécurité : impact de la fabrication et de la fin de vie des EPI et des équipements de sécurité.
- Application (carburants) : impact de la fabrication de carburants utilisés lors de l'application et des émissions associées à leur combustion.
- Application (consommables) : impact de la fabrication et des émissions associées à l'utilisation de consommables (eau, acier, phytosanitaires, gaz, etc.).
- Transport vers le site : impact du transport du matériel et des opérateurs jusqu'au site de traitement.

Une analyse de contribution par technique, qui présente les résultats sous une autre forme, est présentée en annexe 1.

D'une manière générale, on remarque à la lecture des résultats que la phase de transport sur site est toujours négligeable quel que soit l'indicateur considéré (hypothèse : 10 km aller-retour avec 1 seul véhicule) à l'exception de l'indicateur toxicité humaine.

²⁶ Cf. le rapport disponible sur le site de Compamed ZNA : C.J. van Dijk, C. Kempenaar, Weed control on pavements - Inputs, costs and environmental impacts of weed control methods in The Netherlands and Flanders, Belgium. Plant Research International, Wageningen, November 2013.

5.3.1. Toxicité humaine, cancérigène

La Figure 9 et le Tableau 19 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur « toxicité humaine cancérigène ».

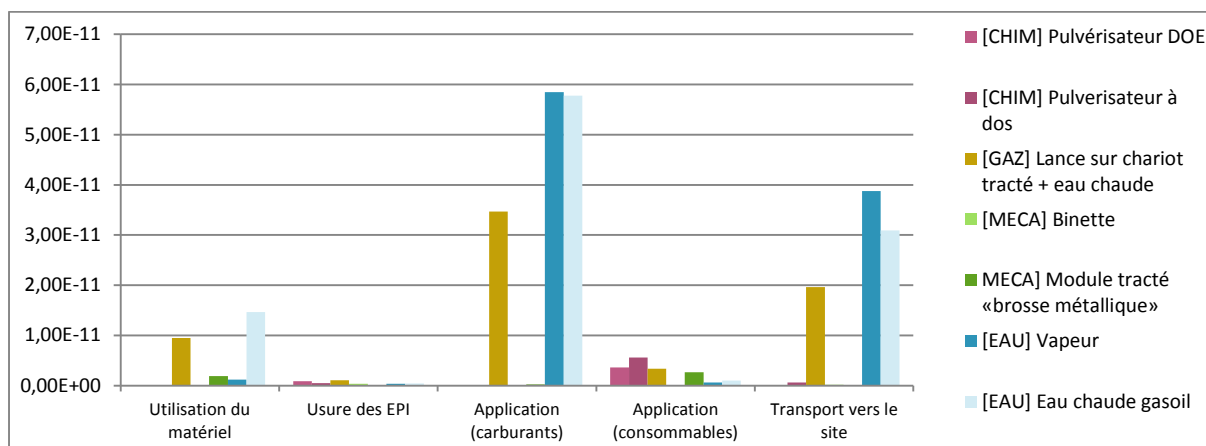


Figure 9. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine (cancérigène)

Tableau 19. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine (cancérigène)

Toxicité humaine, cancer. (CTUh)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	8,12E-14	8,91E-13	1,41E-14	3,71E-12	1,34E-15
[CHIM] Pulvérisateur à dos	7,79E-15	5,06E-13	0,00E+00	5,76E-12	6,30E-13
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	9,46E-12	1,03E-12	3,47E-11	3,34E-12	1,96E-11
[MECA] Binette	6,05E-14	3,74E-13	0,00E+00	0,00E+00	1,84E-13
[MECA] Module tracté « brosse métallique »	1,91E-12	5,51E-14	2,52E-13	2,67E-12	4,68E-15
[EAU] Vapeur	1,19E-12	3,30E-13	5,84E-11	6,38E-13	3,87E-11
[EAU] Eau chaude gasoil	1,46E-11	4,44E-13	5,78E-11	9,99E-13	3,09E-11

Sur l'indicateur « toxicité humaine cancérigène » les techniques thermiques apparaissent comme les plus impactantes. Pour ces techniques, les impacts proviennent de la synthèse et de la combustion des carburants utilisés qui impliquent de fortes émissions de formaldéhyde. Le matériel de la technique « eau chaude » ressort comme non négligeable sur cet indicateur également (dû à l'acier présent dans le véhicule tractant). En ce qui concerne les techniques chimiques l'impact est essentiellement dû à la production de glyphosate (émissions de formaldéhyde)²⁷.

²⁷ Le glyphosate et l'AMPA sont pris en compte pour le calcul des indicateurs toxicité humaine cancer et toxicité humaine non cancer. Toutefois, le facteur de caractérisation du glyphosate pour ces indicateurs fait l'objet d'un niveau d'incertitude élevé (le facteur est classé comme « interim » dans la méthode Usetox). L'AMPA a également été caractérisé pour le calcul de ces indicateurs. Par défaut (par manque de données) son facteur de caractérisation a été pris égal à celui du glyphosate. Le surfactant n'a pas été caractérisé (par manque de données), et de ce fait n'est pas pris en compte dans le calcul des deux

5.3.2. Toxicité humaine non cancérogène

La Figure 10 et le Tableau 20 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine non cancérogène.

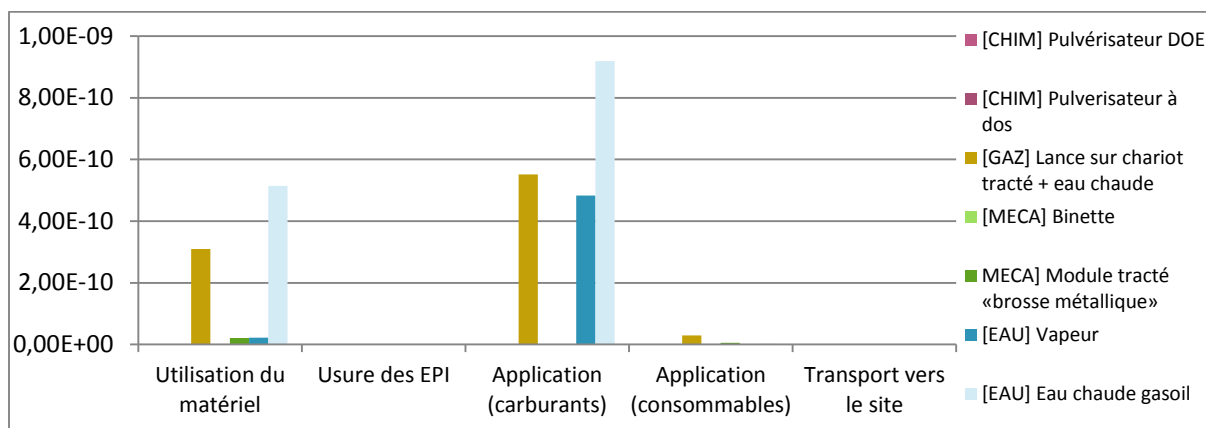


Figure 10. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine non cancérogène

Tableau 20. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur toxicité humaine non cancérogène

Toxicité humaine, non cancer. (CTUh)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	1,35E-12	1,62E-13	1,67E-14	9,79E-12	8,24E-16
[CHIM] Pulvérisateur à dos	1,02E-14	9,66E-14	0,00E+00	1,82E-11	1,19E-14
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	3,10E-10	1,13E-12	5,51E-10	2,94E-11	3,72E-13
[MECA] Binette	5,09E-14	3,12E-13	0,00E+00	0,00E+00	3,49E-15
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	2,14E-11	1,43E-13	3,00E-13	5,12E-12	2,89E-15
[EAU] Vapeur	2,19E-11	6,08E-13	4,83E-10	1,10E-12	7,33E-13
[EAU] Eau chaude gasoil	5,15E-10	1,17E-12	9,19E-10	1,71E-12	5,85E-13

Sur cet indicateur, les techniques thermiques apparaissent comme les plus impactantes en raison de la synthèse et de la combustion des carburants nécessaires qui impliquent de fortes émissions d'acroléine. Le matériel de la technique eau chaude ressort comme non négligeable sur cet indicateur

indicateurs toxicité humaine. D'une manière générale, les résultats montrent que, d'après la méthode Usetox utilisée pour cette ACV, le désherbant en lui-même apparaît comme très faiblement toxique pour l'homme lors de l'application en comparaison des autres facteurs (comme par exemple les émissions de combustion du gasoil). Enfin, toujours selon la méthode Usetox, l'application de désherbant induit, en proportion, un impact plus important sur la toxicité humaine cancérogène que sur la toxicité humaine non cancérogène (cf. Fig. 9 vs. Fig. 10). Les effets toxiques sur l'homme de l'application des désherbants doivent être étudiés plus en détail dans le projet Compamed Santé.

également. En ce qui concerne les techniques chimiques l'impact est essentiellement dû à la production de glyphosate (émissions de disulfure de carbone)²⁸.

5.3.3. Ecotoxicité des milieux aquatiques

La Figure 11 et le Tableau 21 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur écotoxicité des milieux aquatiques.

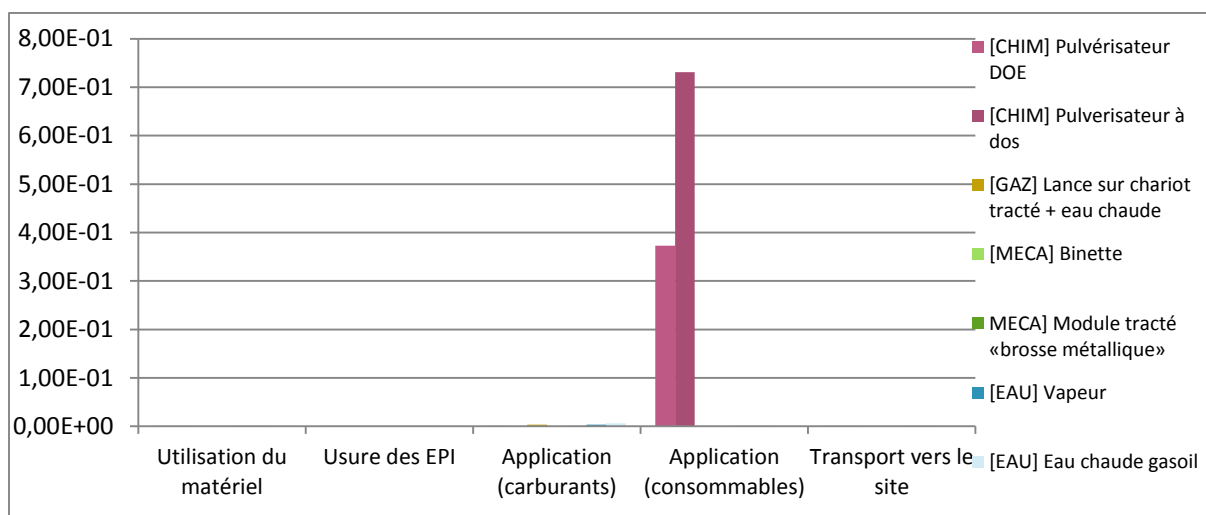


Figure 11. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur écotoxicité des milieux aquatiques

Tableau 21. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur écotoxicité des milieux aquatiques

Ecotoxicité des milieux aquatiques (CTUe)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	4,11E-06	3,14E-04	2,27E-06	3,73E-01	2,84E-07
[CHIM] Pulvérisateur à dos	2,29E-07	1,86E-04	0,00E+00	7,31E-01	1,82E-06
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	3,82E-04	1,32E-04	3,88E-03	9,53E-04	5,69E-05
[MECA] Binette	8,62E-07	2,20E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,33E-07
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	8,01E-05	3,89E-06	4,06E-05	1,09E-05	9,95E-07
[EAU] Vapeur	1,85E-05	1,69E-05	3,50E-03	4,87E-06	1,12E-04
[EAU] Eau chaude gasoil	6,22E-04	2,61E-05	6,47E-03	7,62E-06	8,95E-05

Sur cet indicateur, les techniques chimiques sont nettement plus impactantes. Il ressort de cette analyse de contribution que la grande partie des impacts d'écotoxicité pour les techniques chimiques provient des émissions directes dans le milieu lors de l'application (glyphosate, surfactant, et AMPA). En ce qui concerne les techniques alternatives, c'est essentiellement l'utilisation de gasoil (et notamment sa phase de production) qui est à l'origine des impacts.

²⁸ Cf. note 20 ci-dessus.

5.3.4. Changement climatique

La Figure 12 et le Tableau 22 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique.

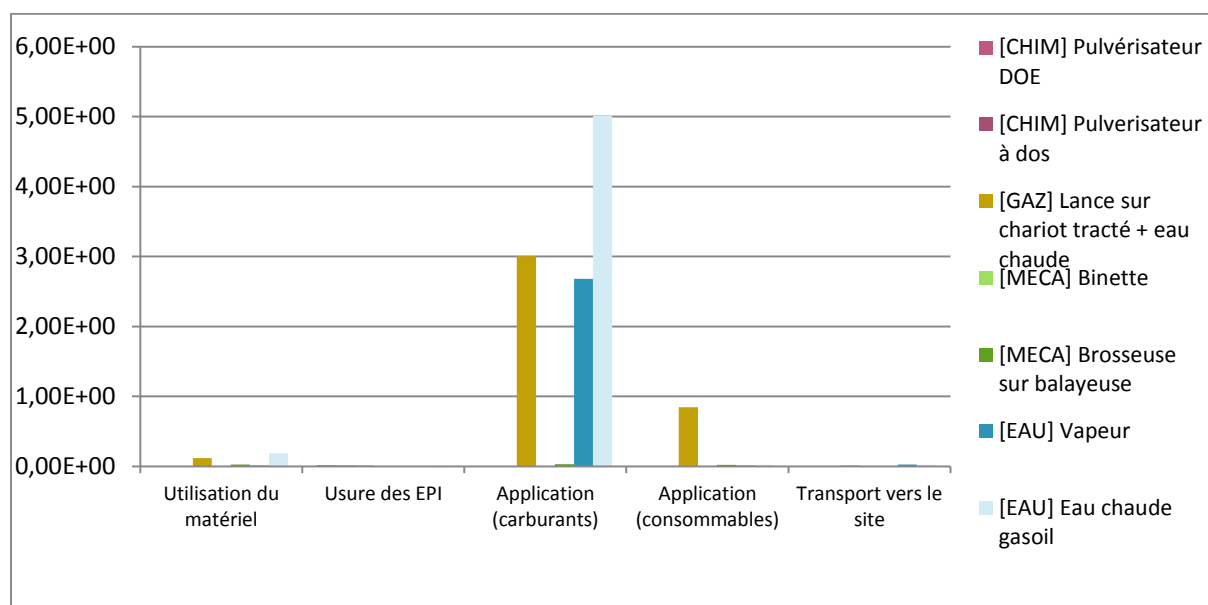


Figure 12. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique

Tableau 22. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique

Changement climatique (kg éq CO ₂)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	1,25E-03	1,87E-02	1,76E-03	1,98E-03	2,23E-04
[CHIM] Pulvérisateur à dos	1,27E-04	1,10E-02	0,00E+00	3,08E-03	4,39E-04
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	1,21E-01	1,43E-02	3,00E+00	8,47E-01	1,37E-02
[MECA] Binette	4,96E-04	5,79E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,28E-04
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	2,65E-02	9,54E-04	3,16E-02	2,07E-02	7,80E-04
[EAU] Vapeur	1,26E-02	4,54E-03	2,68E+00	1,40E-02	2,70E-02
[EAU] Eau chaude gasoil	1,87E-01	6,74E-03	5,01E+00	2,19E-02	2,15E-02

Sur cet indicateur les techniques thermiques ressortent comme les plus impactantes, essentiellement en raison de la combustion de combustible fossile lors de l'application qui est à l'origine de l'impact sur le changement climatique (CO₂, méthane et NO_x). Pour la technique gaz ce sont les émissions directes liées à la combustion du propane qui impactent de façon non négligeable.

5.3.5. Destruction de la couche d'ozone

La Figure 13 et le Tableau 23 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur de destruction de la couche d'ozone.

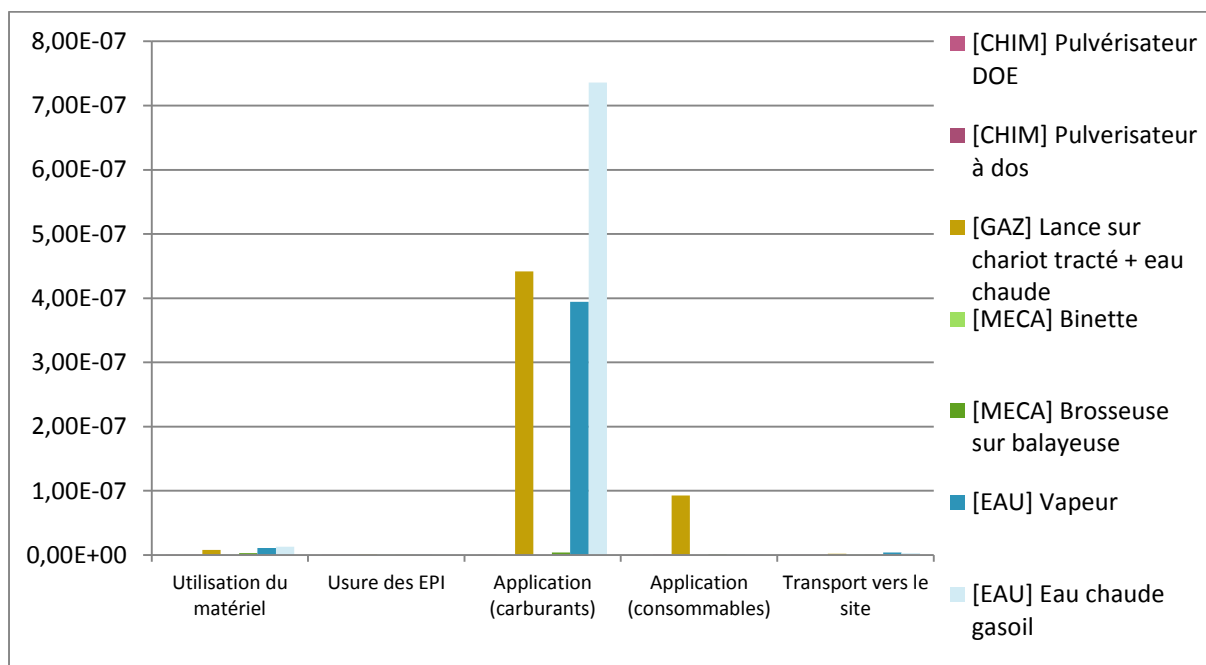


Figure 13. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur destruction de la couche d'ozone

Tableau 23. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur destruction de la couche d'ozone

Destruction de la couche d'ozone (kg CFC eq)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	2,11E-10	2,51E-10	2,20E-10	4,87E-10	3,41E-11
[CHIM] Pulvérisateur à dos	6,27E-12	2,12E-10	0,00E+00	7,56E-10	6,60E-11
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	8,16E-09	8,28E-10	4,42E-07	9,28E-08	2,06E-09
[MECA] Binette	4,24E-11	3,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,93E-11
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	2,93E-09	7,69E-11	3,94E-09	9,00E-10	1,19E-10
[EAU] Vapeur	1,09E-08	3,30E-10	3,94E-07	7,11E-10	4,06E-09
[EAU] Eau chaude gasoil	1,28E-08	4,95E-10	7,36E-07	1,11E-09	3,24E-09

Sur cet indicateur les techniques thermiques ressortent comme les plus impactantes. Ce sont essentiellement la production et la combustion de carburant lors de l'application qui sont à l'origine de l'impact sur l'appauvrissement de la couche d'ozone.

5.3.6. Création d'ozone photochimique

La Figure 14 et le Tableau 24 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur de création d'ozone photochimique.

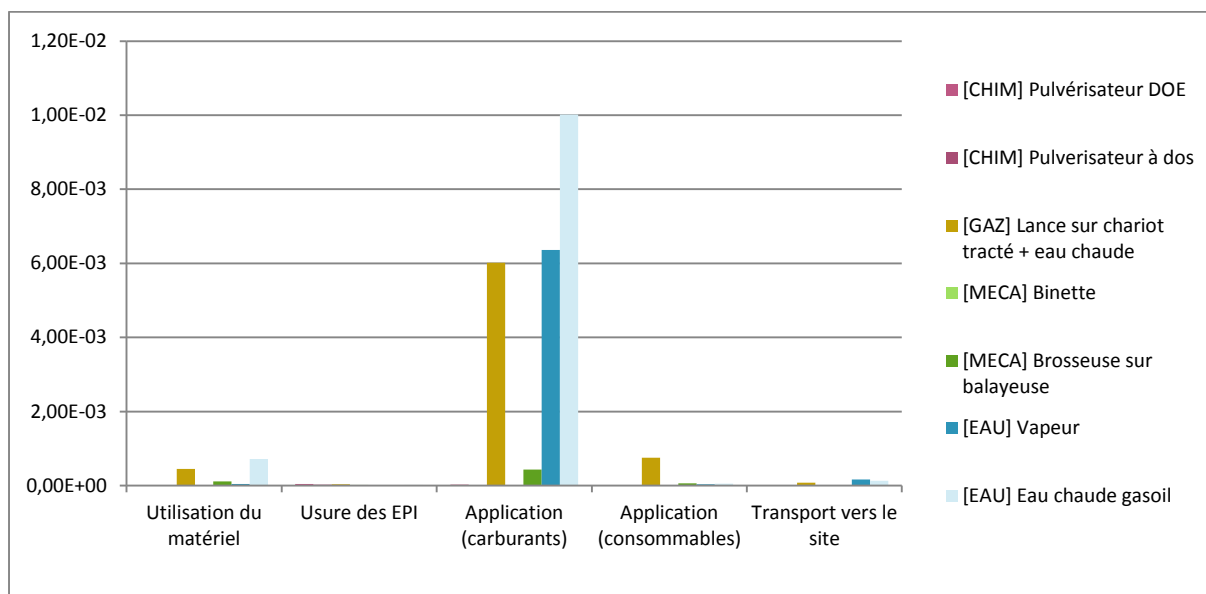


Figure 14. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur oxydation photochimique

Tableau 24. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur oxydation photochimique

Oxydation photochimique (kg NMVOC eq)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	5,63E-06	4,02E-05	2,41E-05	4,79E-06	2,74E-06
[CHIM] Pulvérisateur à dos	3,12E-07	2,35E-05	0,00E+00	7,44E-06	2,65E-06
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	4,50E-04	3,63E-05	6,01E-03	7,56E-04	8,27E-05
[MECA] Binette	1,57E-06	1,55E-05	0,00E+00	0,00E+00	7,76E-07
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	1,11E-04	2,43E-06	4,32E-04	5,89E-05	9,62E-06
[EAU] Vapeur	4,05E-05	1,31E-05	6,36E-03	3,50E-05	1,63E-04
[EAU] Eau chaude gasoil	7,16E-04	1,84E-05	1,00E-02	5,48E-05	1,30E-04

Sur cet indicateur les techniques thermiques ressortent comme étant les plus impactantes, en raison essentiellement de la production et la combustion de combustibles d'origine fossile lors de l'application (émissions de NOx et de COV à l'origine de la création d'ozone photochimique).

5.3.7. Acidification atmosphérique

La Figure 15 et le Tableau 25 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur acidification atmosphérique.

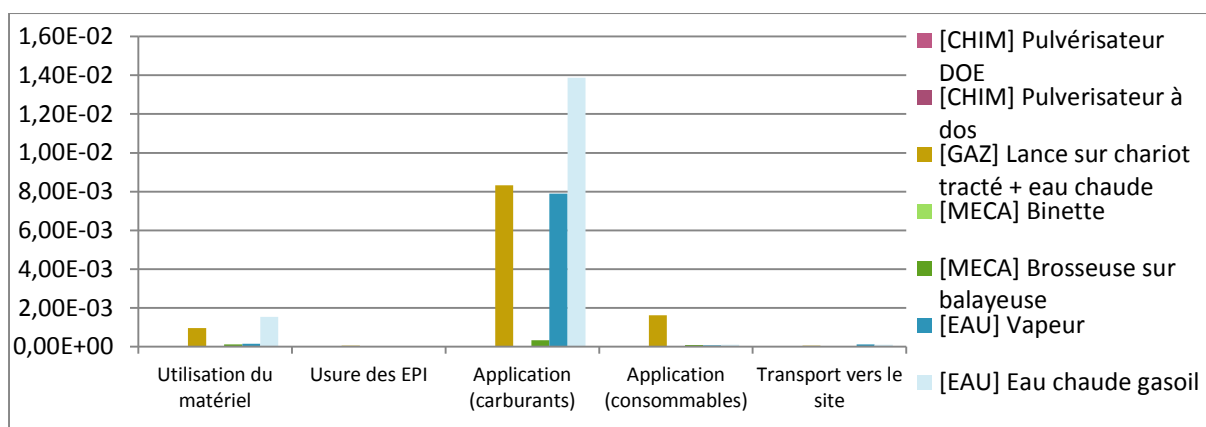


Figure 15. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur acidification atmosphérique

Tableau 25. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur acidification atmosphérique

Acidification atmosphérique (molC H+ eq)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	6,31E-06	4,92E-05	1,89E-05	8,73E-06	2,14E-06
[CHIM] Pulvérisateur à dos	5,43E-07	2,89E-05	0,00E+00	1,36E-05	2,02E-06
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	9,61E-04	6,21E-05	8,32E-03	1,62E-03	6,30E-05
[MECA] Binette	2,80E-06	2,59E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,91E-07
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	1,18E-04	3,53E-06	3,38E-04	9,87E-05	7,49E-06
[EAU] Vapeur	1,54E-04	2,51E-05	7,90E-03	7,26E-05	1,24E-04
[EAU] Eau chaude gasoil	1,54E-03	3,26E-05	1,39E-02	1,14E-04	9,92E-05

Sur cet indicateur les techniques thermiques ressortent comme étant les plus impactantes, en raison essentiellement de la production et la combustion de combustibles d'origine fossile lors de l'application (émissions de substances acidifiantes à l'origine de l'impact « acidification»).

5.3.8. Eutrophisation

La Figure 16 et le Tableau 26 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur eutrophisation.

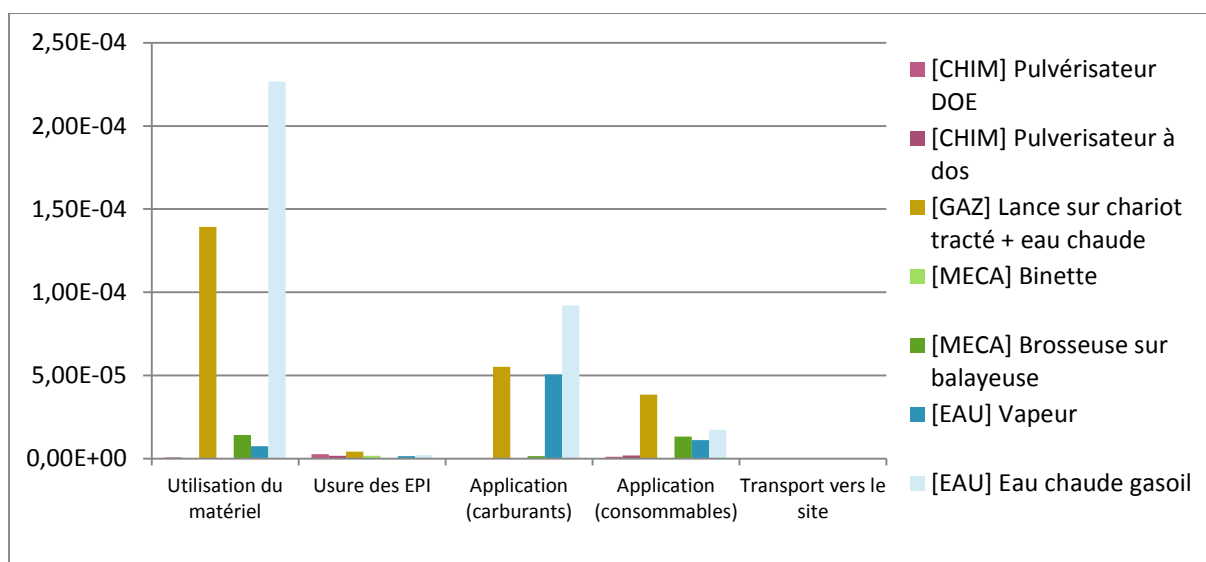


Figure 16. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur eutrophisation

Tableau 26. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur eutrophisation

Eutrophisation (kg P eq)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	6,83E-07	2,67E-06	8,59E-08	1,15E-06	2,74E-09
[CHIM] Pulvérisateur à dos	3,59E-08	1,59E-06	0,00E+00	1,79E-06	5,80E-09
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	1,39E-04	4,19E-06	5,52E-05	3,84E-05	1,81E-07
[MECA] Binette	2,31E-07	1,63E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,69E-09
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	1,39E-05	2,37E-07	1,54E-06	1,32E-05	9,60E-09
[EAU] Vapeur	7,35E-06	1,38E-06	5,05E-05	1,11E-05	3,57E-07
[EAU] Eau chaude gasoil	2,27E-04	1,96E-06	9,21E-05	1,73E-05	2,84E-07

La fabrication du véhicule tractant (type camionnette) est principalement à l'origine de l'impact « eutrophisation » pour les techniques « eau chaude » et « gaz » (cuivre présent dans le véhicule). On remarque aussi une contribution non négligeable de l'application pour la technique « eau chaude ».

5.3.9. Consommation d'eau

La Figure 17 et le Tableau 27 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'eau.

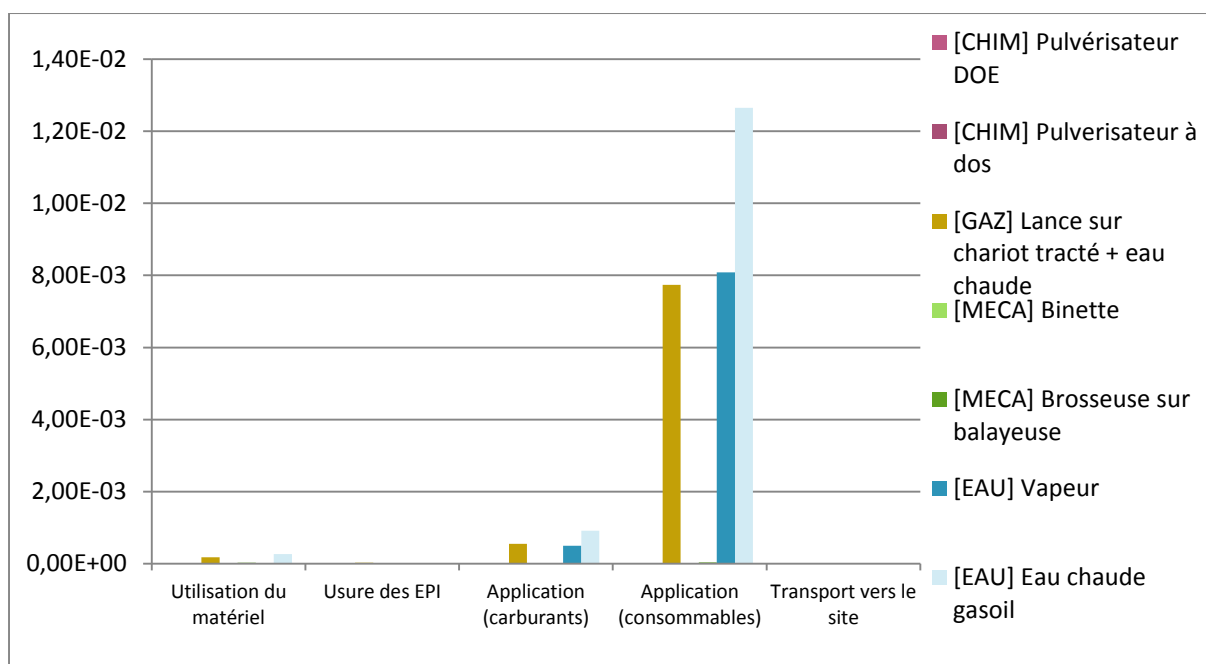


Figure 17. . Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'eau

Tableau 27. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'eau

Consommation d'eau (m³)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	1,35E-06	1,02E-05	4,33E-07	6,07E-06	3,31E-08
[CHIM] Pulvérisateur à dos	1,80E-07	6,03E-06	0,00E+00	9,44E-06	6,54E-08
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	1,76E-04	2,47E-05	5,51E-04	7,74E-03	2,04E-06
[MECA] Binette	6,32E-07	1,05E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,91E-08
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	3,06E-05	8,06E-07	7,75E-06	3,64E-05	1,16E-07
[EAU] Vapeur	2,26E-05	1,31E-05	4,96E-04	8,08E-03	4,02E-06
[EAU] Eau chaude gasoil	2,66E-04	1,42E-05	9,18E-04	1,27E-02	3,21E-06

Les techniques thermiques « eau chaude » et « vapeur », utilisant en proportion de grandes quantités d'eau à l'application, ressortent logiquement comme les plus impactantes sur cet indicateur (c'est également le cas pour la technique « gaz » combinée à l'eau chaude).

Il est à noter que, dans cet indicateur consommation d'eau, n'apparaît pas l'impact sur la ressource en eau induit par la pollution chimique (le volume d'eau polluée vient diminuer le volume de la ressource directement utilisable disponible).

5.3.10. Epuisement des ressources non renouvelables

La figure 18 et le tableau 28 ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur épouséement des ressources non renouvelables.

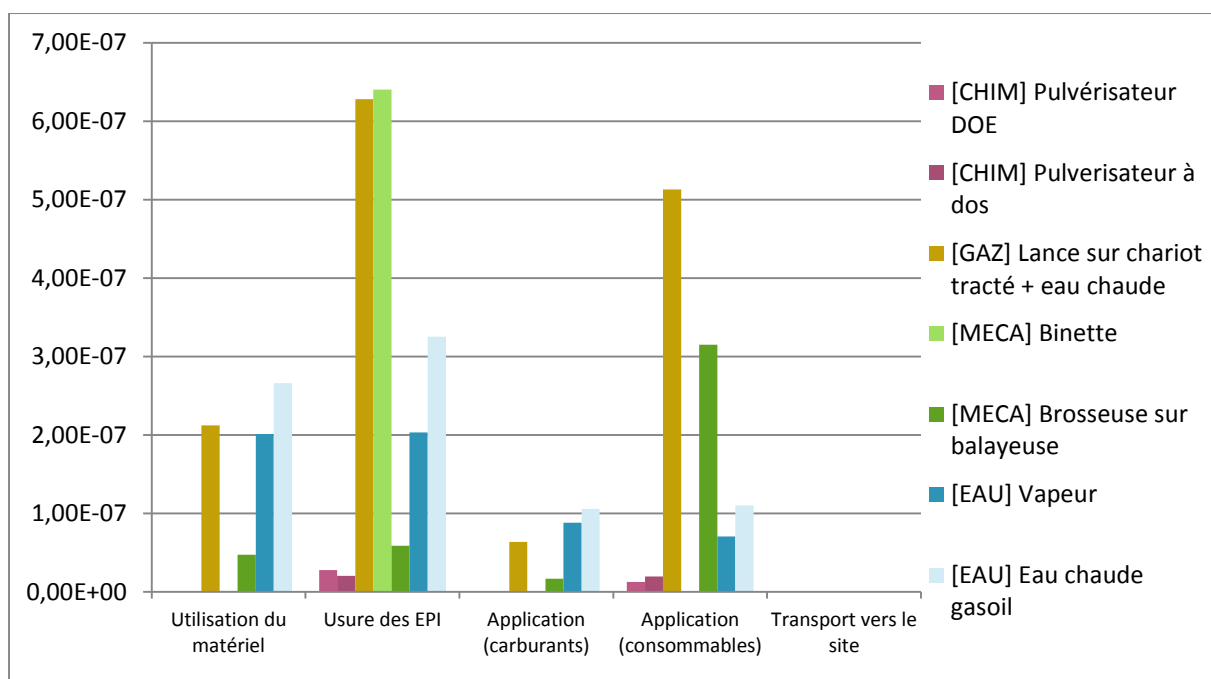


Figure 18. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources

Tableau 28 Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources

Epuisement des ressources (kg Sb eq)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	1,02E-09	2,81E-08	9,33E-10	1,27E-08	4,76E-15
[CHIM] Pulvérisateur à dos	3,55E-10	2,06E-08	0,00E+00	1,98E-08	9,38E-15
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	2,12E-07	6,28E-07	6,36E-08	5,13E-07	2,92E-13
[MECA] Binette	1,54E-09	6,40E-07	0,00E+00	0,00E+00	2,74E-15
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	4,22E-08	5,90E-08	1,67E-08	3,15E-07	1,67E-14
[EAU] Vapeur	2,01E-07	2,03E-07	8,83E-08	7,06E-08	5,77E-13
[EAU] Eau chaude gasoil	2,66E-07	3,25E-07	1,06E-07	1,10E-07	4,60E-13

Sur cet indicateur les EPI ressortent de façon importante (notamment les chaussures de sécurité pour la technique binette). L'explication tient au fait du faible rendement de certaines techniques, telles la binette, pour lesquelles les EPI sont moins amortis par m², et ainsi impactent plus de manière relative. Comme précisé au paragraphe 5.2, il faut toutefois relativiser cet impact car il ne constitue pas l'enjeu majeur pour le désherbage, et il y a de plus une forte incertitude sur la durée de vie des équipements qui conditionne directement ces résultats.

Sur la partie application, la technique « gaz » ressort en raison de la forte consommation de gaz due à un plus mauvais rendement. Pour la technique « brosseuse » à l'application, c'est l'usure de la brosse métallique qui induit l'impact pour cette phase.

5.3.11. Consommation d'énergie non renouvelable

La figure et le tableau ci-dessous présentent les résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable.

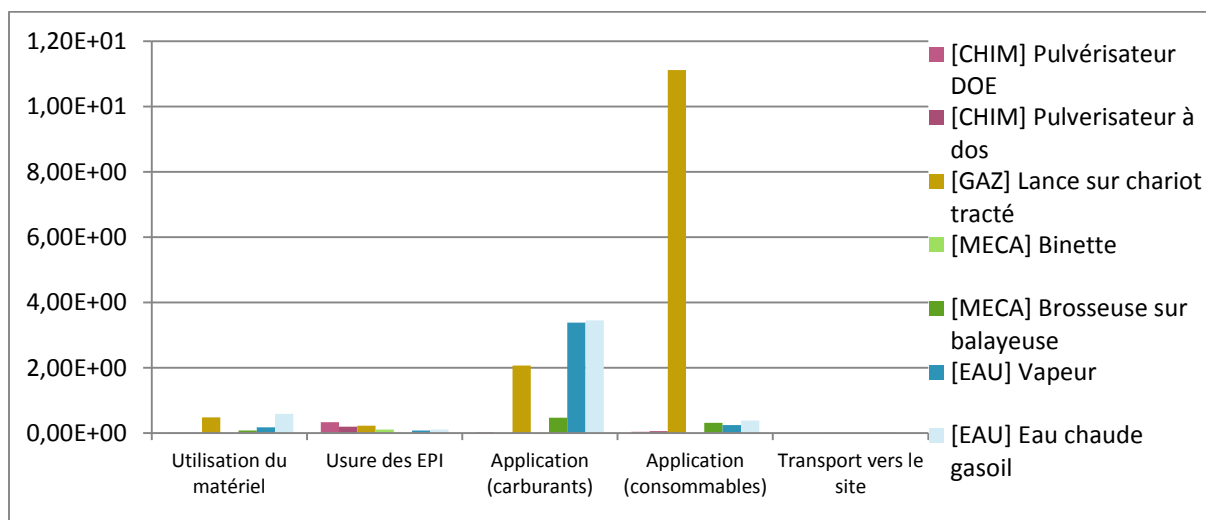


Figure 19 Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable

Tableau 29 Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable

Consommation d'énergie non renouvelable (éq MJ)	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
[CHIM] Pulvérisateur DOE	1,36E-03	3,42E-01	2,65E-02	3,98E-02	2,14E-07
[CHIM] Pulvérisateur à dos	1,93E-03	2,03E-01	0,00E+00	6,19E-02	4,50E-07
[GAZ] Lance sur chariot tracté + eau chaude	4,84E-01	2,31E-01	2,07E+00	1,11E+01	1,40E-05
[MECA] Binette	8,64E-03	1,14E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,32E-07
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	7,22E-02	1,87E-02	4,75E-01	3,19E-01	7,51E-07
[EAU] Vapeur	1,85E-01	8,42E-02	3,39E+00	2,45E-01	2,77E-05
[EAU] Eau chaude gasoil	5,88E-01	1,16E-01	3,45E+00	3,83E-01	2,21E-05

Sur cet indicateur c'est essentiellement la consommation de gaz lors de l'application qui impacte pour la technique « gaz ».

5.4.ANALYSE DE CONTRIBUTION SUR LES SUBSTANCES CONTRIBUANT A L'INDICATEUR ECOTOXICITE

L'analyse de contribution ci-dessous présente, pour une technique de chaque famille (pulvérisateur à dos, module tracté «brosse métallique», vapeur, et eau chaude) les substances contribuant le plus à l'indicateur « écotoxicité ».

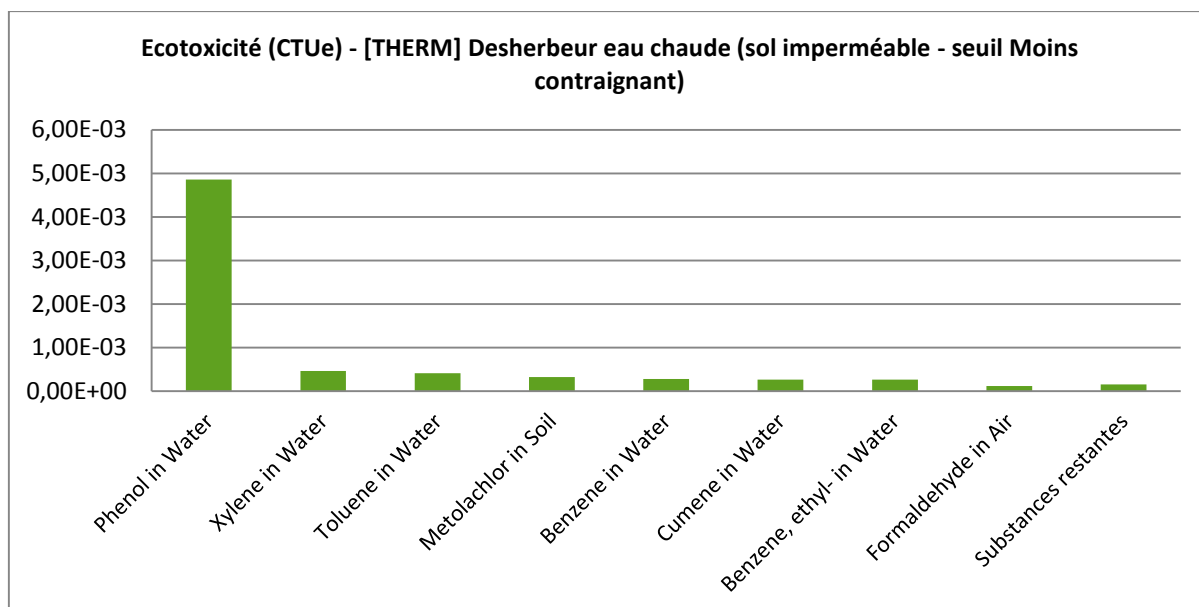


Figure 20. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Eau chaude

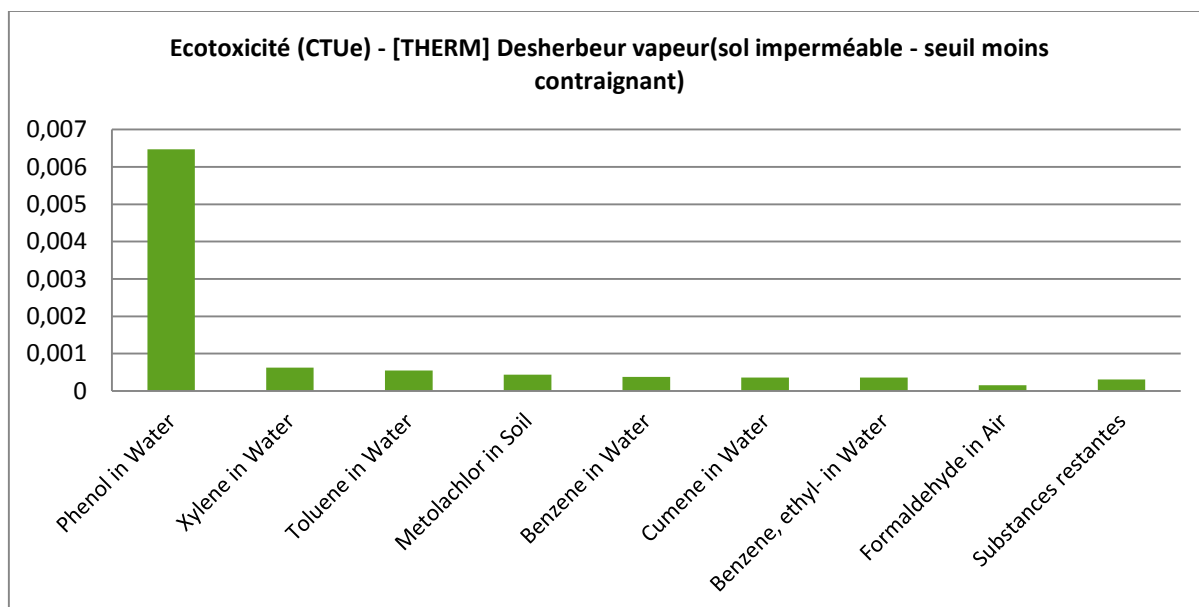


Figure 21. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Vapeur

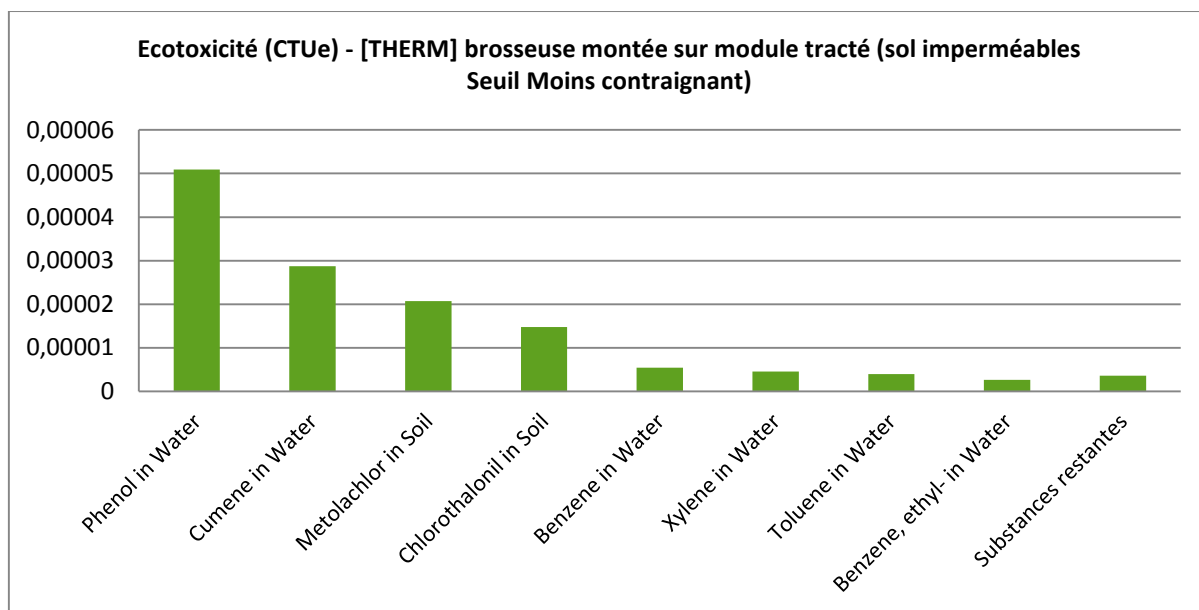


Figure 22. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Brosseuse

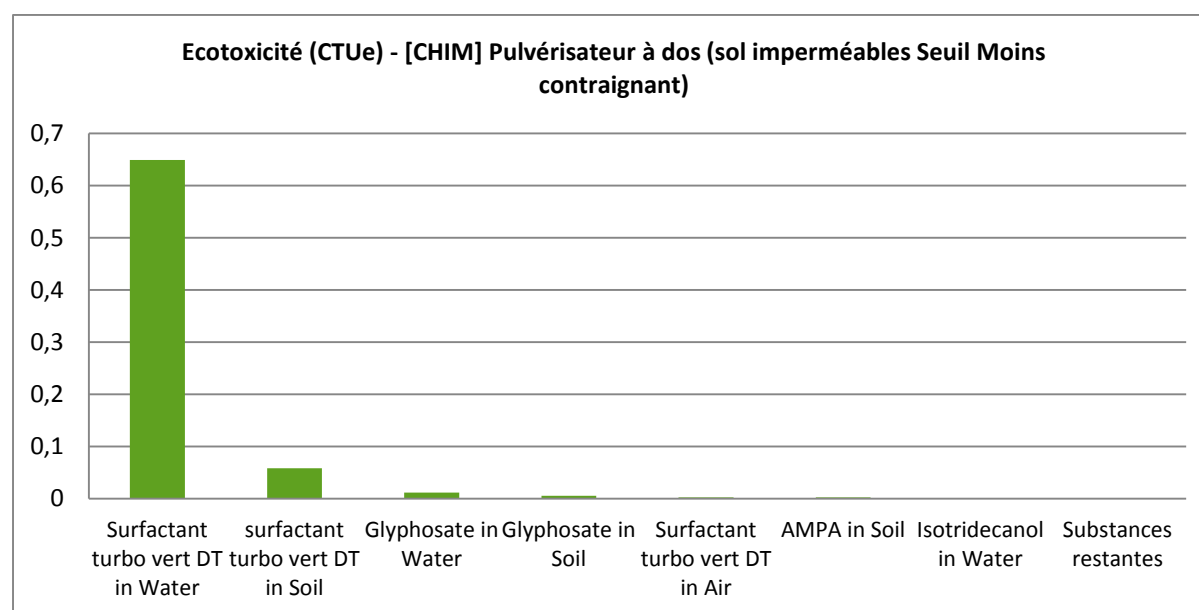


Figure 23. Analyse de contribution des substances sur l'indicateur écotoxicité – Pulvérisateur à dos

L'analyse de contribution par substances pour différentes techniques de différentes familles (chimique, thermique, mécanique) sur l'indicateur « écotoxicité » montre que l'origine des impacts diffère selon les techniques. Pour les techniques chimiques, la contribution la plus importante à l'impact provient de l'émission de surfactant dans le sol, tandis que pour les techniques thermiques et mécaniques, l'impact sur l'écotoxicité provient de l'utilisation de carburant gasoil (et plus particulièrement de la production de gasoil) pour les véhicules et/ou pour le chauffage de l'eau et le fonctionnement des pompes.

Ceci montre, en conséquence, que les impacts ne sont pas localisés de manière identique selon les techniques : pour les techniques chimiques, il s'agit d'un impact localisé sur le lieu ou à proximité de l'application, tandis que pour les techniques thermiques et mécaniques consommatrices de gasoil, l'impact est « délocalisé » sur le lieu de la production de gasoil.

5.5. NORMALISATION DES RESULTATS

Afin de rendre commensurables les résultats des différents indicateurs les uns par rapport aux autres, et afin d'en déduire une information permettant de considérer la « priorité » d'importance des types d'impacts environnementaux, une opération dite de normalisation des résultats (cf. norme ISO 14040 :2006) a été réalisée. Cette opération de normalisation consiste, pour chaque indicateur, à diviser la valeur de l'impact par une grandeur de référence, en l'occurrence les émissions annuelles totales équivalentes d'un européen moyen.

La normalisation des résultats a été réalisée, à titre de complément d'information, uniquement pour les essais sur sol perméable avec seuil contraignant. Le seuil contraignant étant le plus « consommateur » de techniques de désherbage, cela permet de maximiser les résultats de la normalisation.

Les facteurs de normalisation sont tirés de la publication citée en référence²⁹, et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 30. Valeurs de normalisation

Impact category	Unité	Emissions annuelles d'un européen moyen
Toxicité humaine, cancer.	CTUh	1,59E-06
Toxicité humaine, non cancer.	CTUh	6,71E-06
Ecotoxicité	CTUe	4432,7365
Changement climatique	kg CO2 eq	11215,118
Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	0,021981693
Oxydation photochimique	kg NMVOC eq	56,846212
Acidification atmosphérique	molc H+ eq	45,090069
Eutrophisation	kg P eq	0,16329062
Epuisement des ressources	kg Sb eq	0,17126261
Consommation d'énergie non renouvelable	éq MJ	90831,537

²⁹ A. W. Sleeswijk et al. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. Science of the Total Environment, 03/2008, 390(1):227-40.

La Figure 24 et le Tableau 31 ci-dessous donnent les résultats de la normalisation pour un sol perméable avec un seuil contraignant.

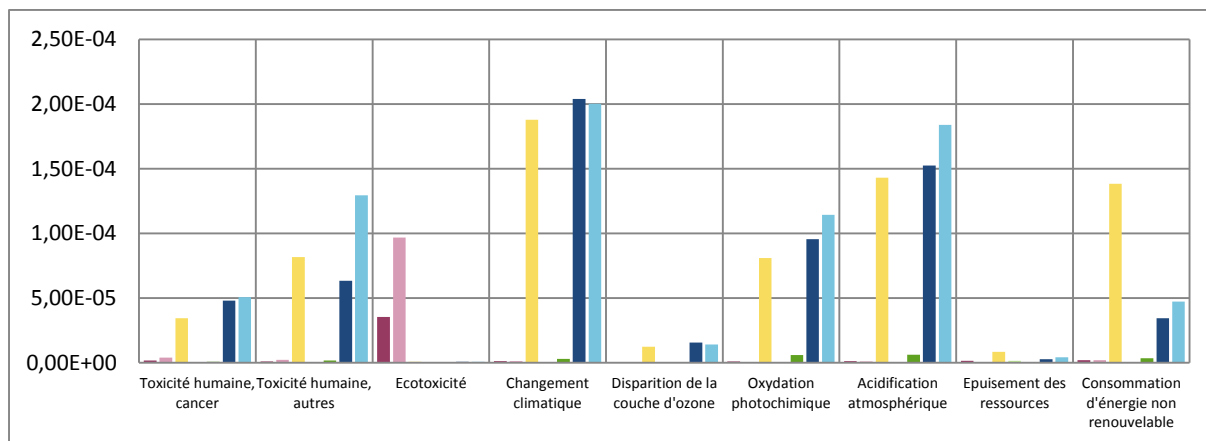


Figure 24. Résultats de la normalisation sur sol perméable seuil contraignant

Tableau 31. Résultats de la normalisation sur sol perméable seuil moins contraignant

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. dos	[GAZ] Lance chariot tracté + eau chaude	[MECA] Binette	[MECA] Module tracté	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancérogène	1,63E-06	4,01E-06	3,45E-05	2,41E-07	7,21E-07	4,80E-05	5,08E-05
Toxicité humaine, non cancérogène	9,24E-07	2,23E-06	8,16E-05	2,31E-08	1,80E-06	6,34E-05	1,29E-04
Écotoxicité	3,54E-05	9,67E-05	6,98E-07	2,28E-09	1,60E-08	6,86E-07	7,60E-07
Changement climatique	1,25E-06	1,22E-06	1,88E-04	2,46E-07	3,09E-06	2,04E-04	2,00E-04
Destruction de la couche d'ozone	3,61E-08	4,60E-08	1,23E-05	9,29E-09	1,90E-07	1,56E-05	1,42E-05
Oxydation photochimique	9,01E-07	5,61E-07	8,10E-05	1,40E-07	5,90E-06	9,56E-05	1,14E-04
Acidification atmosphérique	1,20E-06	9,42E-07	1,43E-04	2,79E-07	6,19E-06	1,53E-04	1,84E-04
Eutrophisation	1,67E-05	1,96E-05	1,21E-03	4,75E-06	5,10E-05	3,62E-04	1,69E-03
Épuisement des ressources	1,54E-06	3,75E-07	8,30E-06	1,56E-06	3,45E-07	2,76E-06	4,31E-06
Consommation d'énergie non renouvelable	2,07E-06	1,99E-06	1,38E-04	5,61E-07	3,34E-06	3,44E-05	4,73E-05

Les résultats de la normalisation font ressortir en priorité l'indicateur eutrophisation (avec un maximum pour les techniques « eau chaude » et « gaz » (avec respectivement des contributions de $1,7.10^{-3}$ et $1,2.10^{-3}$, soit 6 à 8 fois plus que le maximum – pour le changement climatique – du graphe de la figure 24). L'analyse de contribution (cf. 5.3.8) nous indique que la grande majorité (plus de 70%) de l'impact eutrophisation pour ces techniques vient du matériel (consommation de cuivre présent dans ces matériels, ainsi que consommation d'électricité pour la fabrication des matériels). Les résultats de l'eutrophisation ont donc été enlevés du graphe pour une meilleure lecture sur les autres indicateurs, et pour se focaliser sur la phase d'application. Néanmoins, sur l'ensemble du cycle de vie, l'eutrophisation semble être l'enjeu prioritaire pour les techniques de désherbage.

Par ailleurs, le graphe de la figure 24 nous montre que les autres enjeux prioritaires, notamment au niveau de la phase d'application, sont le changement climatique, l'acidification, la création d'ozone photochimique, la toxicité humaine (notamment toxicité humaine non cancérigène) et la consommation d'énergie non renouvelable. En revanche, il semble que les impacts « destruction de la couche d'ozone » et « diminution des ressources non renouvelables » ne soient pas des enjeux prioritaires pour les techniques de désherbage en ZNA.

6. ANALYSES DE SENSIBILITE

D'après la norme ISO 14040 :2006, les analyses de sensibilité sont définies comme des « *procédures systématiques pour estimer les effets sur les résultats d'une étude des choix concernant les méthodes et les données.* »

Un certain nombre d'hypothèses ont été formulées tout au long de cette étude. Afin de mettre à l'épreuve la robustesse de ces hypothèses et des données utilisées, nous avons réalisé des analyses de sensibilité sur les données qui nous paraissent les plus sujettes à discussion en raison de leur variabilité ou des conséquences estimées sur les résultats. Ainsi, nous développons dans cette section les analyses de sensibilité suivantes :

- Comparaison des techniques sur la phase d'utilisation seule (les matériels et leur fabrication ne sont pas comptabilisés) afin d'identifier les problématiques spécifiques à l'application.
- Comparaison des techniques avec les résultats issus de l'observatoire des pratiques relevées (Action 2 de Compamed ZNA).
- Comparaison des performances environnementales entre un désherbeur « eau chaude à gasoil » et un désherbeur « eau chaude électrique ».
- Comparaison entre un désherbant modélisé comme du glyphosate seul (glyphosate + eau) et sans produit de dégradation (AMPA) et un désherbant modélisé avec un surfactant et générant de l'AMPA par dégradation après application.
- Comparaison de différents scénarios concernant la modalité thermique gaz (gaz + eau chaude/ uniquement gaz).

6.1. COMPARAISON DES TECHNIQUES SUR L'APPLICATION SEULE

Les analyses de contribution montrent que la part des EPI et matériels de sécurité d'une part, la part des matériels d'application d'autre part, sont variables d'une technique à une autre et représentent parfois une part non négligeable de l'impact.

Ainsi, il semble intéressant de réaliser un focus sur la phase d'application seule, en ne tenant compte que des consommations et émissions réalisées lors de cette phase. Les paramètres utilisés (consommation, rendement, nombre de passages) sont ceux issus de l'expérimentation sur sol imperméable avec un seuil non contraignant.

Le « module tracté » est absent car non applicable sur un sol imperméable.

Finalement, l'analyse prend en compte les éléments suivants :

[CHIM] Pulvérisateur DOE	- Émissions dans l'air, l'eau et le sol de surfactant, glyphosate et son produit de dégradation (AMPA) - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil du véhicule tractant
[CHIM] Pulvérisateur à dos	- Émissions dans l'air, l'eau et le sol de surfactant, glyphosate et son produit de dégradation (AMPA)
[GAZ] lance sur chariot tracté + eau chaude	- Émissions dans l'air liées à la combustion de propane et émissions technique eau chaude (cf. ci-dessous)
[MECA] Module tracté «brosse métallique»	- Émissions dans l'eau et le sol de l'acier des brosses, perdu par usure - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil du véhicule tractant
[EAU] Vapeur	- Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil du véhicule tractant - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil de la chaudière - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil de la pompe à eau
[EAU] Eau chaude	- Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil du véhicule tractant - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil de la chaudière - Émissions dans l'air liées à la consommation de gasoil de la pompe à eau
[MECA] Binette	- Aucune émission à l'application

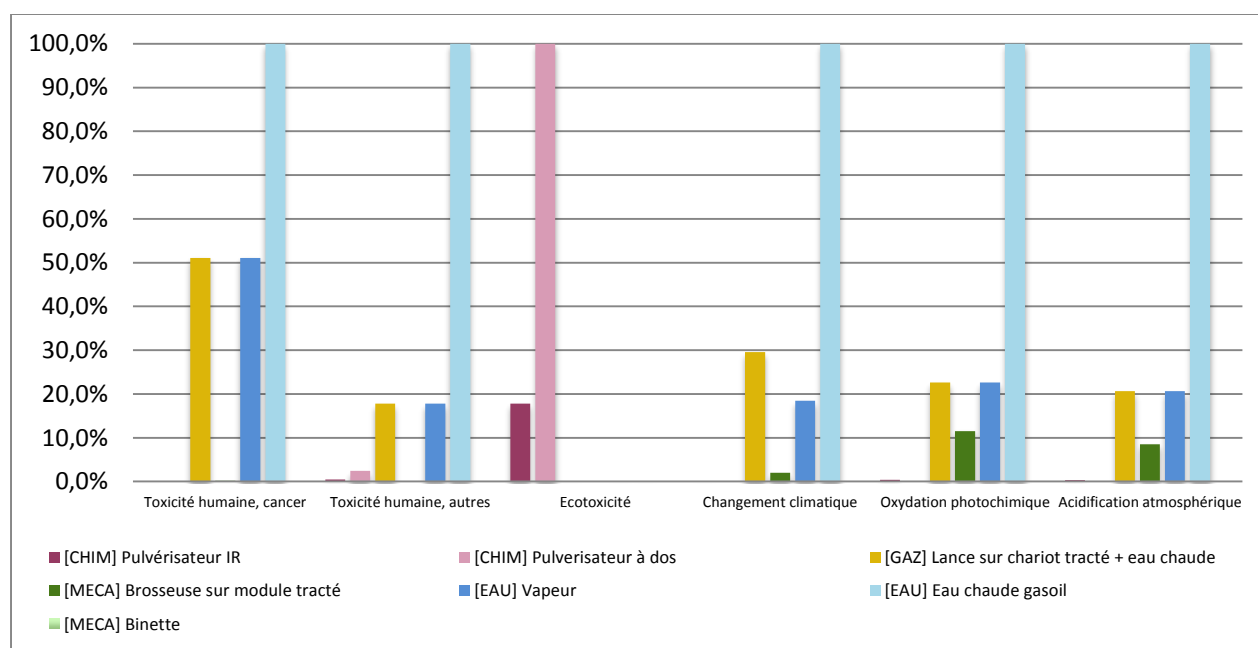


Figure 25. Résultats du focus sur les impacts à l'application

Sur la seule phase d'utilisation, on remarque que les conclusions précédentes restent vraies (technique « eau chaude » globalement la plus impactante sur tous les indicateurs sauf sur l'écotoxicité, et techniques chimiques les plus impactantes sur l'écotoxicité).

Sur ce critère écotoxicité il apparaît que seules les techniques chimiques représentent des émissions à l'application.

Sur l'indicateur toxicité humaine (cancérigène et non cancérigène) il convient de rappeler les points suivants :

- La toxicité humaine pour le gasoil concernant la technique « eau chaude » correspond à un impact localisé sur le lieu de production du gasoil (émission de phénol dans l'eau).
- Les résultats montrent que, d'après la méthode Usetox utilisée pour cette ACV, le désherbant en lui-même apparaît comme très faiblement toxique pour l'homme lors de l'application en comparaison des autres facteurs (comme par exemple les émissions de combustion du gasoil).

6.2. COMPARAISON DES TECHNIQUES AVEC LES DONNEES ISSUES DE L'OBSERVATOIRE DES PRATIQUES (ACTION 2 DU PROJET COMPAMED ZNA)

Les données expérimentales issues de l'Action 1 donnent une base de comparaison objective, puisque correspondant à une performance de désherbage identique (seuils de déclenchement « contraignants » et « moins contraignants » définis rigoureusement). Cependant, les conditions du protocole expérimental ne sont pas représentatives de la réalité des pratiques observées (puisque correspondant à des objectifs différents). Ainsi, l'observatoire des pratiques (Action 2 du projet Compamed ZNA) tend à montrer de forts écarts entre, d'une part les valeurs mesurées pendant l'expérimentation (rendement, nombres annuels de passages, et consommation), et d'autre part celles relevées dans l'observatoire. Compte tenu des disparités des pratiques et des niveaux de tolérance quant au seuil de déclenchement de l'intervention, les résultats expérimentaux peuvent être très éloignés des cas réels observés.

Une analyse de sensibilité a donc été réalisée, portant sur les résultats d'ACV comparative obtenus, non plus avec des valeurs expérimentales, mais avec des valeurs de paramètres (rendement, nombre de passages, et consommation) issues de l'observatoire (Action 2).

L'observatoire a relevé les pratiques de plusieurs interventions, sur différentes typologies de sites. Des valeurs moyennes ont été extraites de ces observations, en écartant les valeurs considérées comme a priori aberrantes d'après des dires d'experts du comité de pilotage (erreurs de relevés, cas particuliers, etc.). Ces valeurs moyennes, estimées représentatives des cas observés, sont ainsi issues d'un arbitrage entre les pratiques relevées, les valeurs bibliographiques, et les dires d'experts du comité de pilotage. Dans la plupart des cas, une moyenne des valeurs sur sol perméable et sol imperméable a été retenue.

Pour le calcul, les valeurs de rendement et de consommations de l'observatoire sont combinées aux nombres de passages relevés pour des cas réels observés.

Plusieurs éléments sont à noter pour cette analyse de sensibilité :

- Le module tracté ayant été très peu observé dans l’observatoire, il n’y a pas de valeur moyenne exploitable. Cette technique a donc été écartée de cette analyse de sensibilité.
- La brosseuse sur module tracté n’étant utilisée que sur sol imperméable, la valeur utilisée est directement celle de ce type de sol et non une moyenne des deux types de sols.
- Les données pour la technique « gaz » (sur chariot tracté) sont relatives à une technique « gaz seul » non combiné à une technique eau chaude.

Rappelons que l’analyse porte sur une comparaison des pratiques observées (itinéraires techniques mis en œuvre en fonction de seuils de tolérance propres à chaque gestionnaire), et non pas sur une comparaison de l’utilisation des techniques en vue d’obtenir une efficacité identique (comme c’est le cas pour les résultats avec les valeurs de l’expérimentation).

Les rendements ainsi obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 32. Valeurs des paramètres rendements et consommations tirées de l’observatoire

		Valeurs Observatoire			
		Rendements moyens (m²/h)	Consommations		Nombre de passages (1 an)
			Consommable	Quantité	
	[CHIM] Pulvérisateur DOE	4725			1,6
	[CHIM] Pulvérisateur à dos	815			1,6
	[GAZ] lance sur chariot tracté	750	Gaz (kg/h)	0,9	2,0
	[MECA] Binette	400			2,0
	[MECA] Brosseuse sur module tracté	202			2,8
	[EAU] Vapeur	350	Eau (l/m ²)	0,81	4,8
	[EAU] Eau chaude	350	Eau (l/m ²)	0,01	1,6

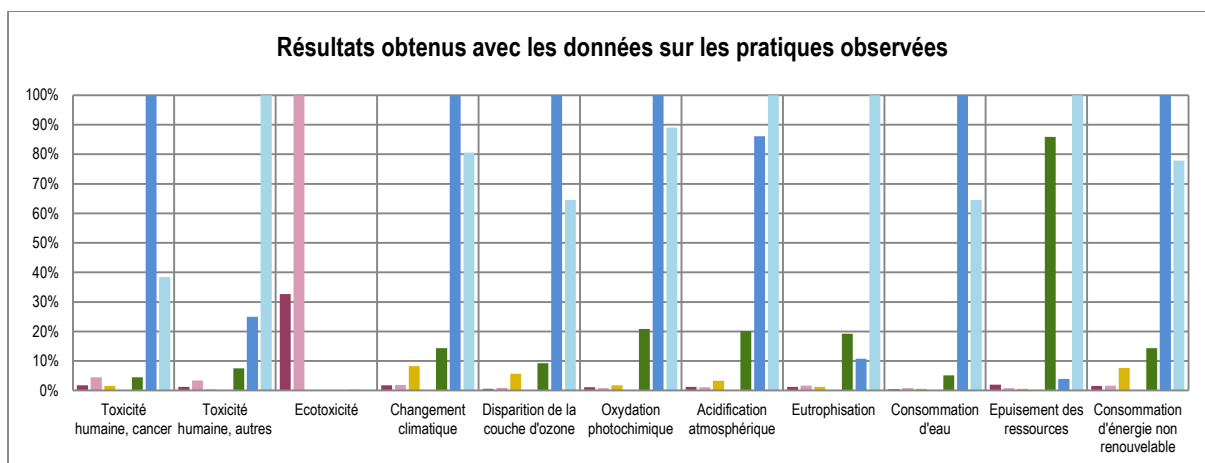


Figure 26 Résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées.

Tableau 333. Résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées.

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. dos	[GAZ] Lance chariot tracté	[MECA] Binette	[MECA] Brosseuse sur module tracté	[EAU] Vapeur	[EAU] Eau chaude
Toxicité humaine, cancer	1,03E-12	2,56E-12	8,88E-13	6,54E-14	2,56E-12	5,74E-11	2,21E-11
Toxicité humaine, autres	2,41E-12	6,38E-12	7,96E-13	7,11E-15	1,41E-11	4,65E-11	1,86E-10
Ecotoxicité	7,22E-02	2,21E-01	9,47E-05	5,47E-07	7,14E-05	4,72E-04	4,60E-04
Changement climatique	5,24E-03	5,55E-03	2,45E-02	1,45E-04	4,21E-02	2,94E-01	2,37E-01
Disparition de la couche d'ozone	2,67E-10	4,20E-10	2,54E-09	1,34E-11	4,16E-09	4,48E-08	2,89E-08
Oxydation photochimique	1,72E-05	1,29E-05	2,70E-05	5,28E-07	3,20E-04	1,53E-03	1,37E-03
Acidification atmosphérique	1,89E-05	1,72E-05	4,92E-05	6,63E-07	2,96E-04	1,27E-03	1,47E-03
Eutrophisation	1,01E-06	1,29E-06	9,88E-07	3,14E-08	1,51E-05	8,48E-06	7,85E-05
Consommation d'eau	3,98E-06	5,96E-06	5,02E-06	1,90E-07	3,96E-05	7,78E-04	5,02E-04
Epuisement des ressources	7,50E-08	2,94E-08	2,10E-08	1,07E-08	3,28E-06	1,52E-07	3,82E-06
Consommation d'énergie non renouvelable	6,92E-02	7,35E-02	3,32E-01	1,94E-03	6,27E-01	4,37E+00	3,41E+00

Interprétation

D'une manière générale, les conclusions obtenues sur la comparaison des techniques issues de l'observatoire sont semblables à celles obtenues avec l'ACV des techniques issues de l'expérimentation : prédominance de l'impact environnemental des techniques thermiques « eau chaude » et « vapeur », et fort impact sur l'écotoxicité des techniques chimiques. Toutefois, à la lecture des résultats respectifs, les précisions suivantes peuvent être apportées :

- Concernant les techniques chimiques, on constate que les résultats de l'expérimentation sont très proches, voire identiques aux résultats tirés de l'observatoire pour les consommations et rendements, mais très supérieurs si l'on considère les nombres de passages respectifs. Cela

tendrait à montrer que les conditions expérimentales sont très proches des pratiques réelles pour ce qui concerne les rendements et les consommations, indiquant des pratiques chimiques relativement bien normalisées en pratique (quantité maximale de glyphosate réglementée, diffusion de bonnes pratiques, formation des opérateurs). En revanche le nombre de passages diffère grandement dans les pratiques observées, traduisant la différence entre une performance recherchée (conditions expérimentales) et une intervention réalisée sur la base d'un seuil de déclenchement (pratiques observées). Cette différence se traduit par des UF différentes entre l'ACV des techniques expérimentales et l'ACV réalisée avec l'outil d'auto-évaluation.

- Une différence significative (par rapport aux données issues de l'expérimentation) est à noter pour la technique gaz seule, qui avec ces données issues de l'observatoire apparaît comparativement comme peu impactante.
- Concernant la technique « brosseuse », les résultats sont à considérer a priori avec prudence car la valeur de pertes d'acier retenue dans l'observatoire était par défaut celle de l'Action 1 faute de relevé sur ce paramètre dans l'observatoire (valeur très élevée pouvant biaiser les résultats sur certains indicateurs tels l'épuisement des ressources ou la toxicité humaine ; cette valeur nécessiterait d'être mesurée plus finement pour valider ces résultats).
- Concernant la binette, on constate une différence très importante entre l'expérimentation et l'observatoire (rendement divisé par environ 10, et nombre de passages multipliés par environ 3). Il semble que dans la pratique les opérateurs passent relativement vite traduisant la différence entre la mise en œuvre d'une technique opérée suite à un seuil de déclenchement et une performance à atteindre en condition expérimentale.

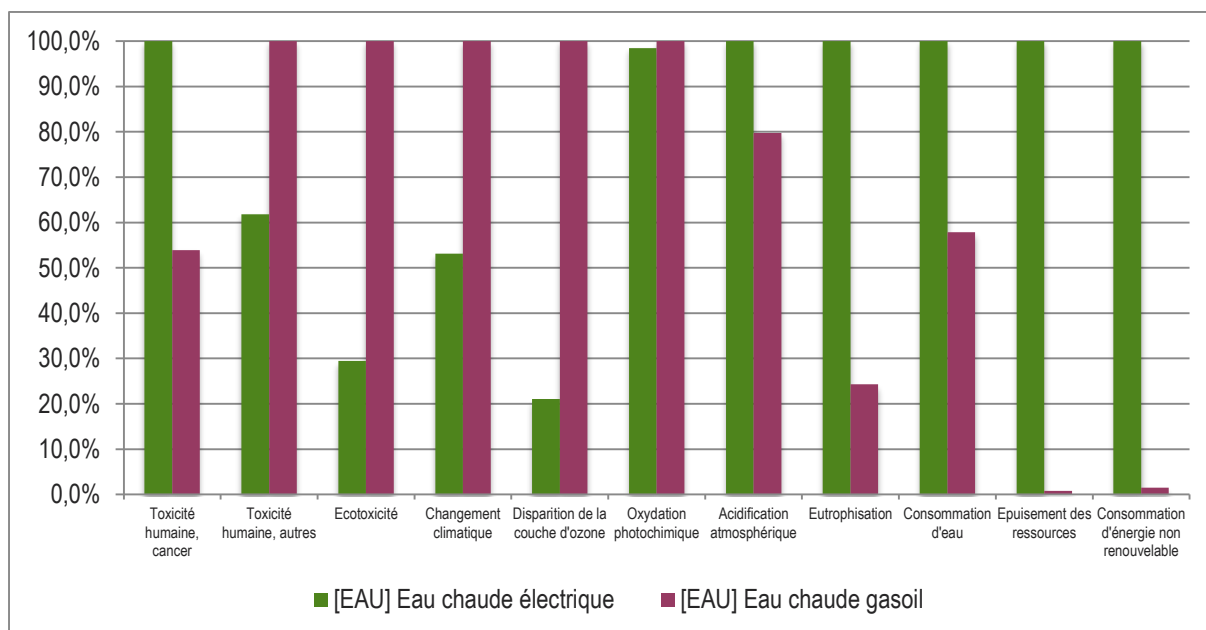
6.3. COMPARAISON ENTRE UN DESHERBEUR EAU CHAUDE A GASOIL ET UN DESHERBEUR EAU CHAUDE ELECTRIQUE

La technique thermique « eau chaude » nécessite une forte consommation de gasoil pour le fonctionnement du système de chauffage et de mise sous pression de l'eau. Cette consommation génère des émissions fortement impactantes sur le cycle de vie, et représente également un coût important pour les gestionnaires. Un matériel alternatif fonctionnant à l'électricité a été développé pour pallier ce problème : l'eau est chauffée et mise sous pression par un système électrique branché sur le secteur, puis transportée dans une cuve calorifugée mobile tirée par une camionnette.

Les fiches techniques du constructeur permettent de déterminer la quantité d'électricité nécessaire au chauffage et mise sous pression d'un litre d'eau. Les détails de la modélisation de ce matériel sont accessibles dans le rapport associé « *Documentation de référence – ACV et outil d'auto-évaluation* ».

Cette analyse de sensibilité permet de comparer l'impact environnemental d'un matériel « eau chaude » fonctionnant au gasoil avec le matériel alternatif « eau chaude » fonctionnant à l'électricité, en considérant la consommation d'eau, le rendement et le nombre de passages de l'expérimentation sur sol imperméable avec seuil moins contraignant.

Le mix électrique considéré est le mix moyen français avec une forte proportion (environ 75 à 80%) d'électricité nucléaire.



Interprétation

La comparaison montre des résultats globalement mitigés.

Les résultats sont nettement améliorés sur certains indicateurs comme le changement climatique (conséquence du mix à forte dominance nucléaire), ou encore l'écotoxicité ou la destruction de la couche d'ozone. Les résultats sont en revanche significativement dégradés sur tous les autres indicateurs, notamment en raison du fait que le matériel électrique est beaucoup plus lourd (cuve calorifugée de 750 kg contre une cuve gazoil de 250 kg) induisant des impacts supérieurs principalement relatifs aux matériaux et au transport d'une masse additionnelle.

6.4. MODELISATION DU PRODUIT PHYTOSANITAIRE

Le produit phytosanitaire utilisé dans les techniques chimiques a fait l'objet d'un travail de développement pour caractériser les facteurs d'impacts à appliquer à ses composants, à savoir :

- La substance active, le glyphosate.
- Le produit surfactant.
- Le produit de dégradation du glyphosate, l'AMPA.

Cette analyse de sensibilité compare les résultats d'impact du traitement de 1 m² avec une technique chimique utilisant le produit « entièrement » caractérisé, et les résultats ne prenant pas en compte l'impact des émissions du surfactant et de l'AMPA. La figure ci-dessous présente les résultats de

l'analyse de sensibilité. Sur le premier graphique, seuls les indicateurs de toxicité sont indiqués car les ce sont les seuls significativement affectés par la modification.

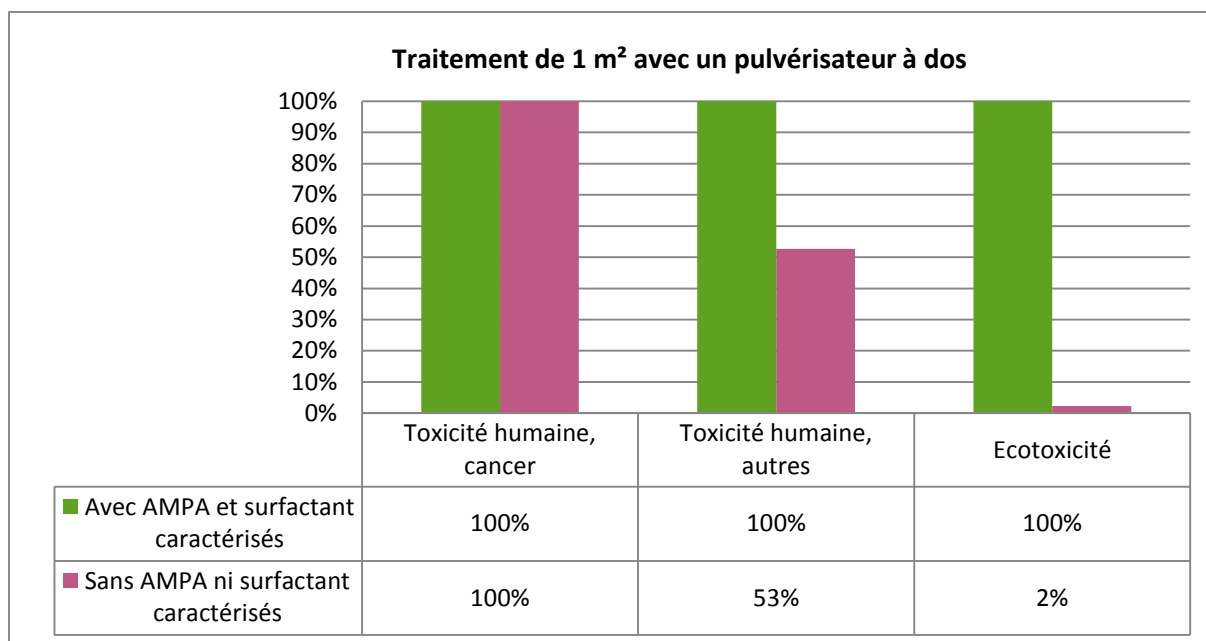


Figure 27. Comparaison entre les techniques, sans les facteurs de caractérisation de l'AMPA et du surfactant

Les résultats montrent une différence très importante (facteur 50) sur l'indicateur écotoxicité entre la modélisation d'un désherbant « glyphosate seul » et d'un désherbant « glyphosate + surfactant + AMPA » se rapprochant plus de la réalité. Cette précision apportée dans la modélisation induit également une différence sensible sur les résultats de la toxicité humaine non cancérigène.

Cette analyse de sensibilité montre l'importance de savoir caractériser beaucoup plus précisément les compositions exactes des désherbants, ce qui n'a pas été possible dans le cadre de cette étude (hormis l'amélioration apportée sur le surfactant et l'AMPA) par manque de données accessibles. Il faut donc considérer que les résultats des techniques chimiques sur l'écotoxicité sont des résultats minimalistes.

6.5. NOMBRE DE PASSAGES POUR LA MODALITE GAZ

Pendant l'expérimentation, il est apparu que la modalité gaz (brûleur) n'était pas utilisable pendant la période d'été sur certaines zones en raison du risque d'incendie. Elle n'a donc été évaluée que sur une période 9 mois, complétée par la technique « eau chaude » pendant les 3 mois restants. Cette analyse de sensibilité vise donc à estimer l'influence de ce paramètre sur les résultats pour la modalité gaz.

Trois scénarios ont été étudiés :

- Scénario de référence (mix gaz + eau chaude) : il s'agit du scénario tel qu'il est décrit dans le corps de ce rapport (interventions au gaz complétées par des interventions à l'eau chaude sur la période estivale).
- Scénario A (100 % gaz) : Le nombre total de passages sur l'année a été extrapolé à partir du nombre de passages effectué sur 9 mois (en considérant une relation linéaire de 9 à 12 mois).
- Scénario B (100 % gaz) : Le nombre de passages nécessaires pendant la période estivale pour la modalité gaz a été extrapolé par rapport au ratio entre le nombre de passages au printemps et en été pour les autres techniques thermiques (eau chaude et vapeur).

Le nombre de passages pour chaque scénario est présenté dans le tableau 35 ci-dessous :

Tableau 34. Nombre de passages pris en compte pour la modalité gaz pour l'analyse de sensibilité

	Scénario		
	Référence	A	B
Imperméable C	12,66 ^a + 8 ^b	16,88	20,16
Imperméable MC	3 ^a + 3 ^b	4	7,25
Perméable C	12 ^a + 6 ^b	16	15,80
Perméable MC	6 ^a + 3 ^b	8	10

a : nombre de passages au gaz ; b : nombre de passages eau chaude

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats pour l'analyse de sensibilité.

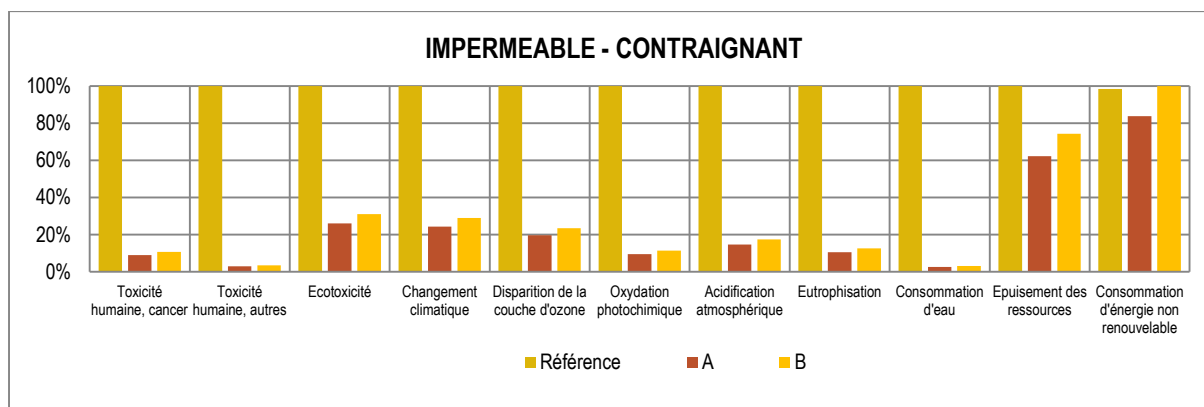


Figure 28. Résultats de l'analyse de sensibilité

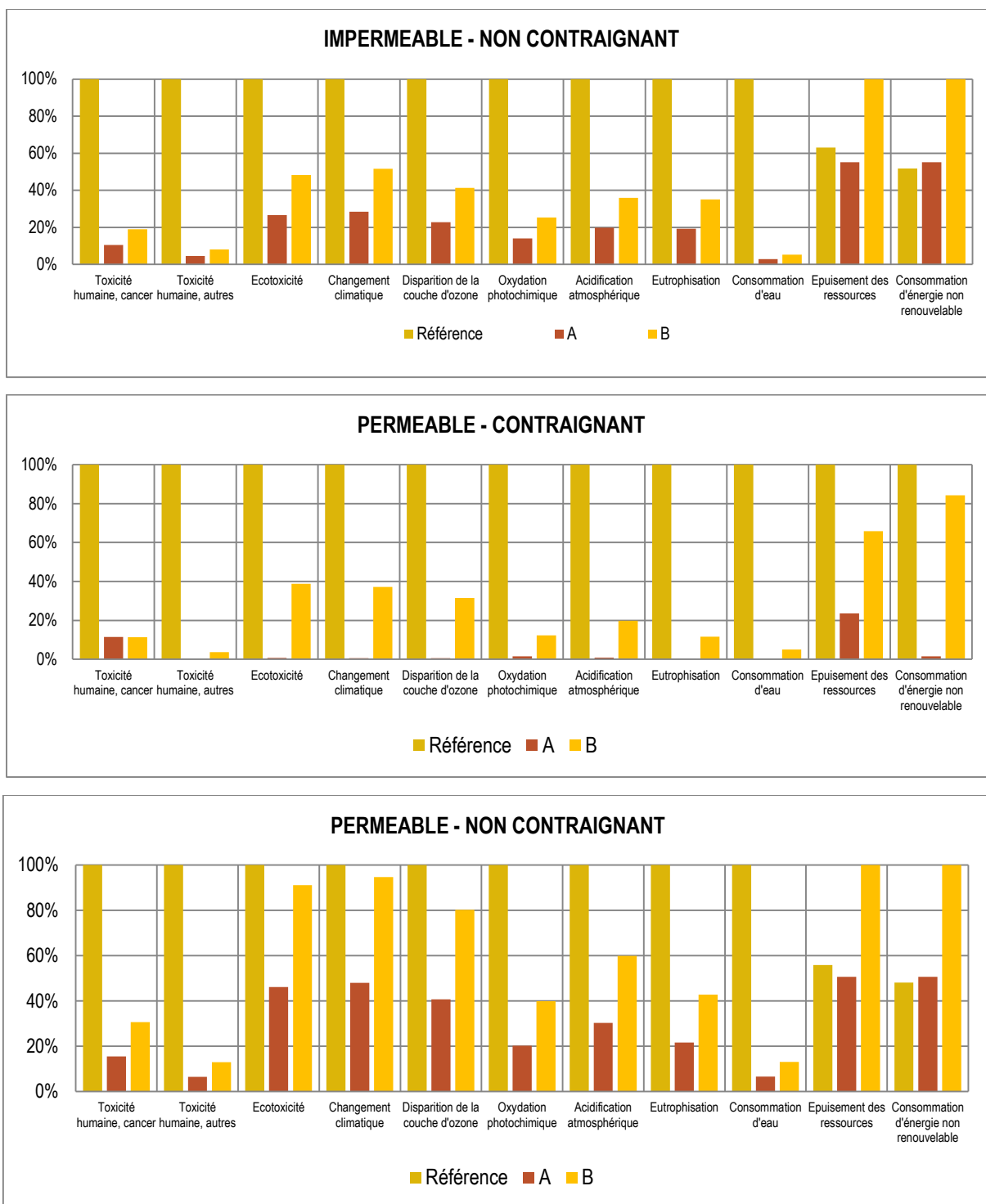


Figure 29. Résultats de l'analyse de sensibilité

La figure ci-dessous présente les résultats de la comparaison des deux scénarios A et B avec les autres techniques.

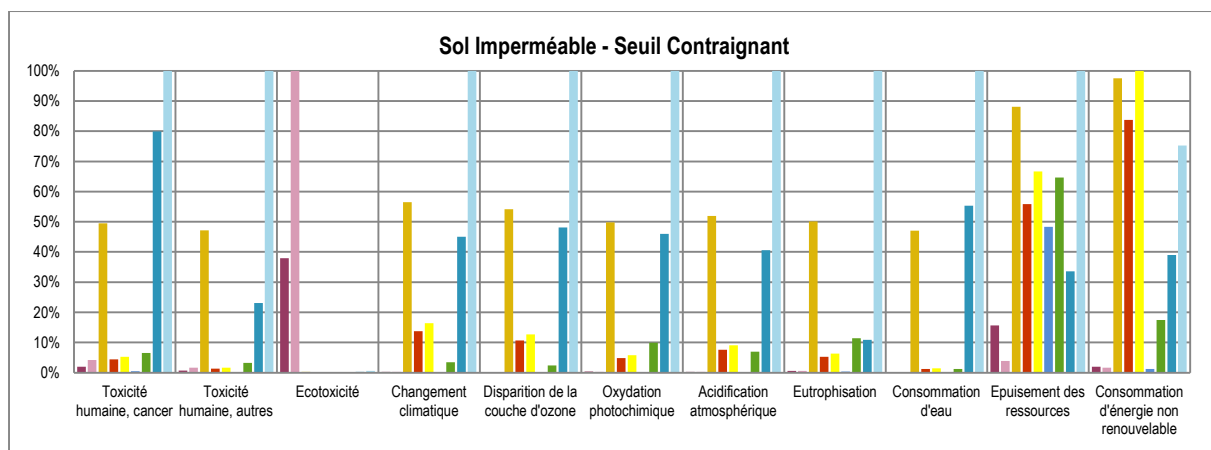


Figure 30. Résultats de l'analyse de sensibilité (comparaison avec les autres techniques)

Les comparaisons sur les autres types de sol et seuils sont présentées en annexe.

Conclusions et interprétation pour la technique gaz

Avec un itinéraire mono-technique (uniquement gaz), quelle que soit l'extrapolation du nombre de passages effectuée, l'impact environnemental est fortement réduit, excepté sur les indicateurs « épuisement des ressources » et « consommation d'énergie non renouvelable » (dû à l'impact de la consommation de gaz qui est une ressource fossile).

L'extrapolation du nombre de passage basée sur le ratio été/printemps (scénario B) est plus impactante que l'extrapolation linéaire (scénario A).

Ainsi, cette analyse de sensibilité montre la nécessité de relativiser les conclusions que l'on peut tirer de la comparaison de la technique « gaz » avec les autres dans le cadre de l'expérimentation.

Une des conclusions que l'on peut également tirer de cette analyse (en la combinant avec les graphes de résultats présentés au § 5.1) est que la technique « gaz seul » apparaît comme une technique plutôt efficace du point de vue environnemental, et qui de ce point de vue se rapproche des techniques mécaniques, mais que cette technique perd une grande partie de son intérêt si elle doit être combinée avec une technique eau pour des raisons de sécurité.

Notamment, il existe des situations urbaines (collectivités non soumises à un arrêté préfectoral d'interdiction de moyens à flamme) pour lesquelles le risque d'incendie par propagation de flamme est nul car la zone est très majoritairement « minérale » (asphalte, bordures de trottoirs, pavés, etc.), et donc pour lesquelles la technique gaz peut être utilisée seule même en été.

6.6. ANALYSE D'INCERTITUDE

Afin de permettre une meilleure interprétation des résultats de l'analyse comparative des techniques de désherbage, une analyse d'incertitudes de type Monte Carlo³⁰ a été réalisée.

Des incertitudes ont pu être attribuées à toutes les données modélisées en utilisant l'analyse faite en partie 4 sur la qualité des données. Cependant, une partie de la base de données Ecoinvent est dépourvue d'indications à ce sujet. Faute d'informations ces données sont ainsi dépourvues de valeurs d'incertitude et ne rentrent donc pas dans l'analyse. Globalement, environ 30% des données ont une incertitude attribuée.

Le calcul d'incertitudes a été lancé pour chaque comparaison sur 1000 « runs » (ou tirages).

Pour rappel, ces analyses d'incertitudes prennent en compte les incertitudes sur les données d'inventaire mais pas les incertitudes sur les facteurs de caractérisation. Les résultats de ces analyses comparatives seront donc relativisés par la suite au vu de la robustesse des catégories d'impact.

Afin de pouvoir tirer des conclusions solides de cette analyse, il est nécessaire de réaliser les comparaisons entre techniques via un calcul d'incertitude. En effet, le recouvrement des plages de variation entre deux techniques, pour une même catégorie d'impact, ne signifie pas forcément qu'aucune conclusion robuste ne peut être tirée de la comparaison. Ainsi, les corrélations sur les incertitudes dans la comparaison des techniques deux à deux permettent parfois de tirer des conclusions « certaines » malgré le fait que les plages de variation se recoupent. SimaPro ne proposant pas la fonction de comparer plus de 2 systèmes au sein d'un même calcul d'incertitude de type Monte Carlo, nous avons donc comparé l'ensemble des techniques deux à deux tel que décrit ci-dessous.

D'une manière générale, il faut garder à l'esprit que cette analyse d'incertitudes permet, dans certaines situations et en fonction des résultats de l'analyse, de rendre plus robustes, ou au contraire de nuancer, certaines de conclusions tirées des résultats de l'ACV comparative.

Les comparaisons sont effectuées 2 à 2 sur les techniques suivantes avec un seuil moins contraignant sur sol imperméable (seules 4 techniques ont été étudiées, 1 de chaque famille) :

- Module tracté «brosse métallique»
- Vapeur
- Eau chaude
- Pulvérisateur à dos

³⁰ L'analyse d'incertitude dans Simapro se base sur une méthode probabiliste dite de Monte Carlo. Cette méthode permet, en ACV, d'estimer l'incertitude des résultats des catégories d'impacts d'un système en fonction des incertitudes liées aux données d'inventaire de ce système. Ce calcul d'incertitude nécessite donc la spécification pour chaque donnée d'inventaire du type de distribution qu'elle suit (uniforme, triangle, normale, lognormale) ainsi qu'une description de la variabilité (min/max ou écart type selon la distribution). Le calcul d'incertitude est ensuite assuré par la réalisation d'un grand nombre (typiquement supérieur à 1000) de calculs d'impact du système où pour chaque donnée d'inventaire un tirage aléatoire est réalisé en fonction de sa loi de distribution.

L'analyse d'incertitude indique qu'une différence n'est significative que si l'une des deux situations analysées (par exemple, prévalence d'une technique sur une autre, cf. graphes ci-dessous) représente plus de 95% des cas (sur 1000 tirages). Dans le cas où aucune des techniques n'a plus de 95% des résultats, nous considérerons que les différences observées entre ces techniques ne sont pas significatives.

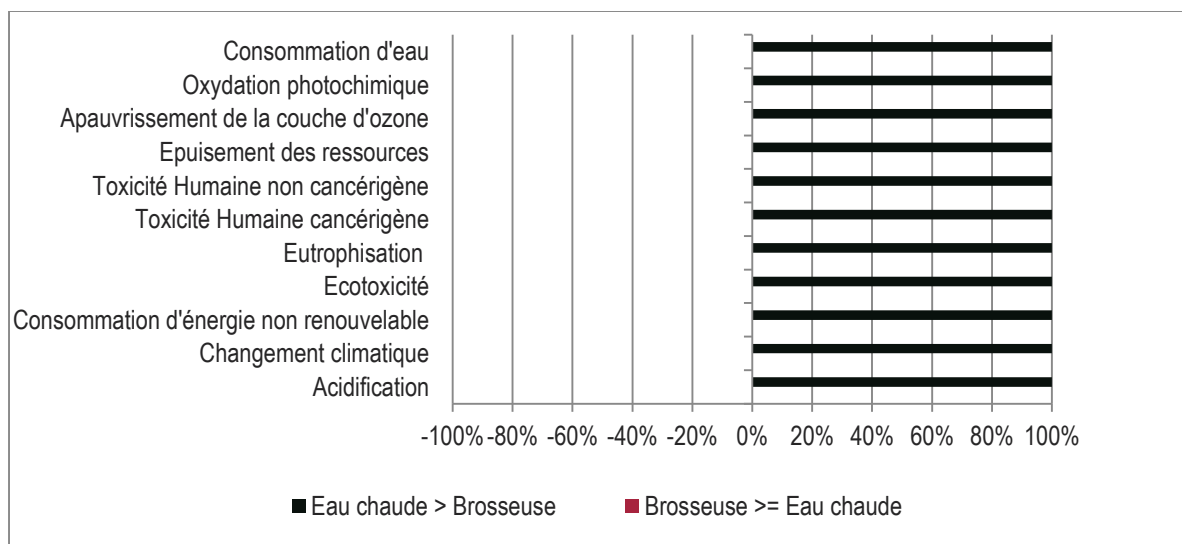


Figure 31. Analyse d'incertitudes entre tech. eau chaude vs tech. module tracté «brosse métallique»

Sur tous les indicateurs l'eau chaude ressort comme plus impactante que la brosseuse dans 100% des 1000 calculs effectués, notamment sur l'indicateur « épuisement des ressources » pour lequel la Figure 7 pouvait montrer une différence peu significative entre les deux techniques.

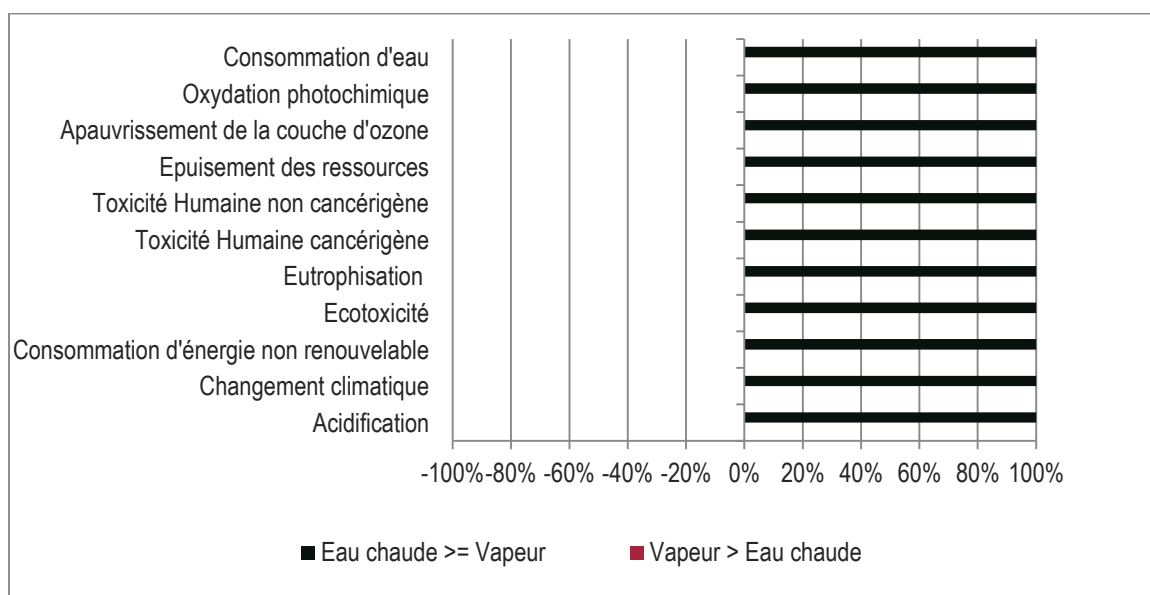


Figure 32. Analyse d'incertitudes entre tech. vapeur vs tech. eau chaude

Sur tous les indicateurs la technique eau chaude ressort comme plus impactante que la technique vapeur dans 100% des 1000 calculs effectués. Cette analyse confirme notamment les résultats de la comparaison entre les deux techniques pour les indicateurs « énergie non renouvelable », « épuisement des ressources », « toxicité humaine cancérigène », et « écotoxicité » pour lesquels les résultats de la figure 5 pouvaient laisser penser que les écarts n'étaient pas forcément significatifs.

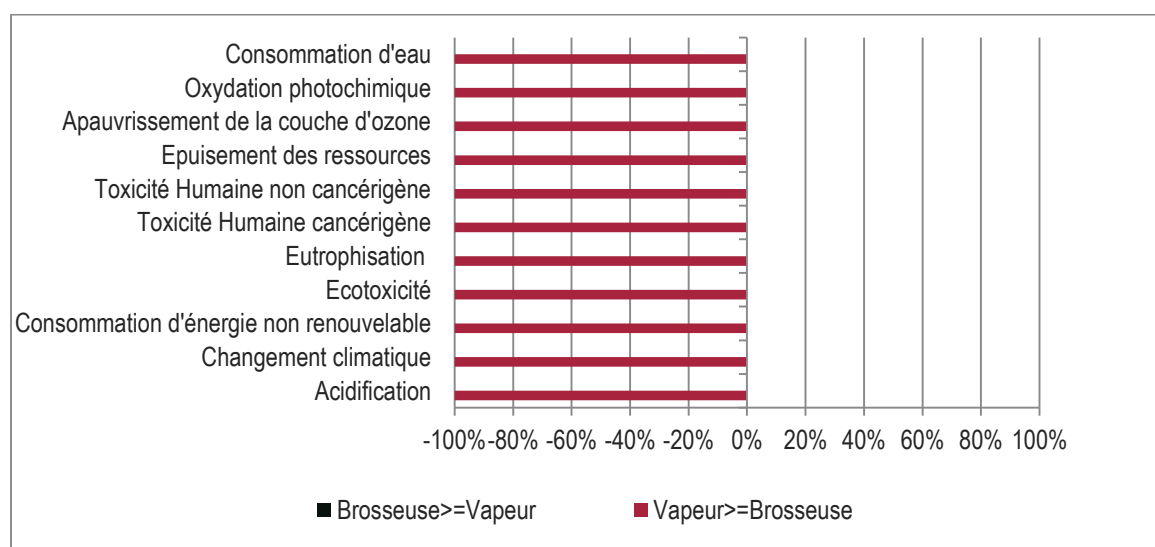


Figure 33. Analyse d'incertitude entre tech. module tracté «brosse métallique» vs. tech. vapeur

Sur tous les indicateurs la technique vapeur ressort comme plus impactante que la technique brosseuse dans 100% des 1000 calculs effectués.

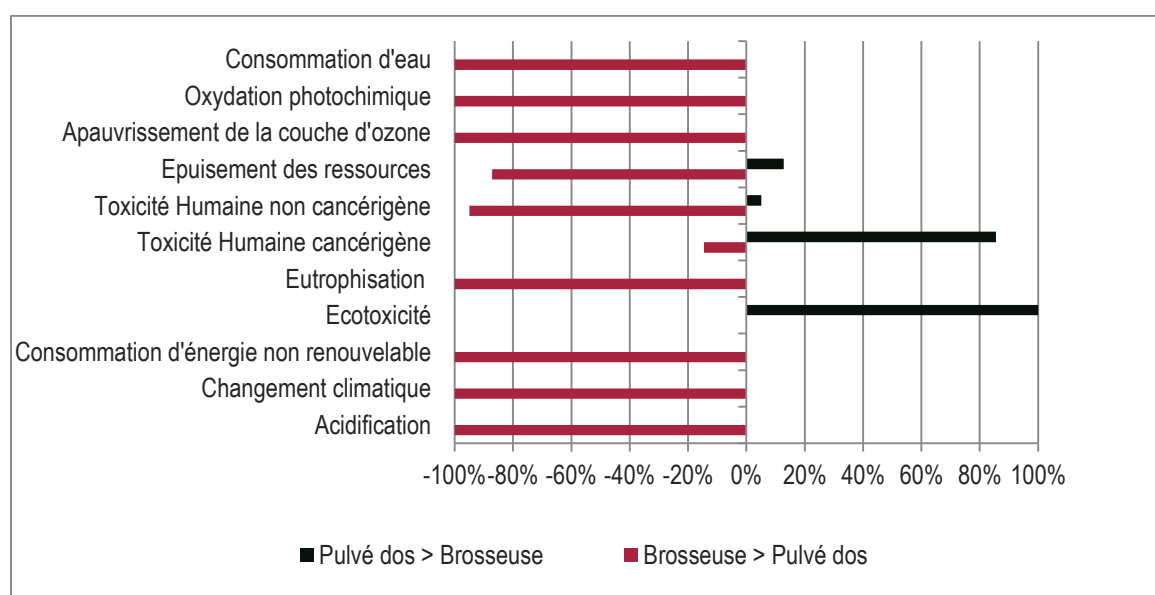


Figure 34. Analyse d'incertitudes entre tech. pulvérisateur à dos vs tech. module tracté «brosse métallique»

L'analyse d'incertitudes entre la technique « pulvérisateur à dos » et la technique brosseuse aurait tendance à confirmer que :

- Sur la majorité des indicateurs, la brosseuse ressort comme étant plus impactante que le pulvérisateur à dos.
- Sur l'indicateur écotoxicité, le pulvérisateur à dos est plus impactant que la brosseuse.
- Sur les indicateurs « épuisement des ressources » et « toxicité humaine cancérigène », la supériorité d'une technique par rapport à l'autre ne peut être affirmée avec certitude (écarts de la fig. 7 non significatifs).

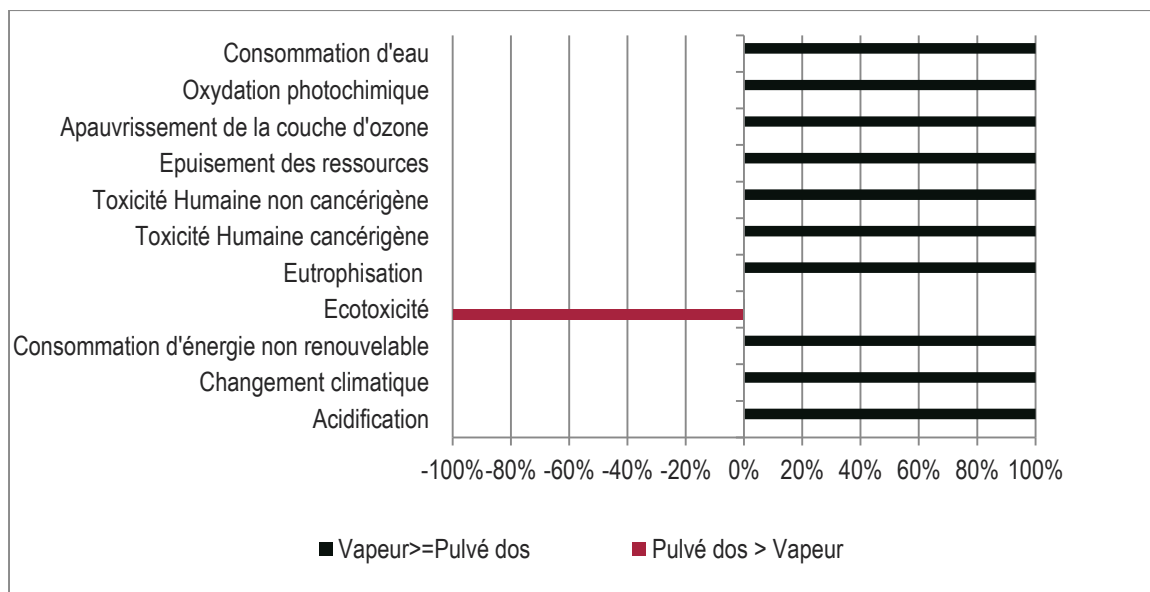


Figure 35. Analyse d'incertitude entre tech. Pulvérisateur à dos vs tech. vapeur

Sur le critère écotoxicité, la technique pulvérisateur à dos ressort plus impactante que la vapeur sur 100% des 1000 calculs effectués. L'analyse tend donc à montrer que la différence importante observée des résultats (§5.1) est significative.

Sur les autres critères c'est la technique vapeur qui ressort comme plus impactante dans 100% des cas.

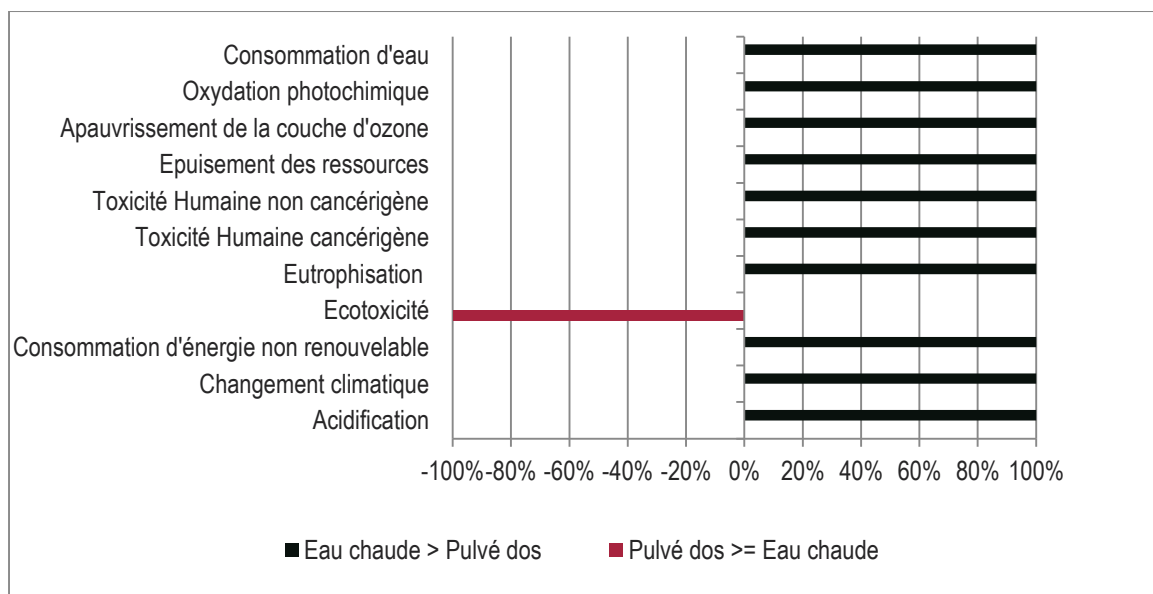


Figure 36. Analyse d'incertitudes entre tech. pulvér. dos vs tech. eau chaude

Sur le critère écotoxicité la technique pulvérisateur à dos ressort plus impactante que l'eau chaude sur 99,8% des 1000 calculs effectués. Sur les autres critères c'est la technique eau chaude qui ressort comme plus impactante dans 100% des cas.

7. CONCLUSION

Cette étude ACV du projet Compamed ZNA a pour objectif une comparaison des impacts environnementaux des techniques de désherbage en ZNA. Les techniques comparées sont au nombre de 8 et se répartissent en 3 classes de techniques : chimiques, mécaniques, et thermiques.

Les techniques sont comparées pour un objectif de performance de désherbage identique, selon la mise en œuvre d'un protocole expérimental mené dans le cadre de l'Action 1, sur deux années, dans la région de Toulouse.

L'unité fonctionnelle de l'ACV comparative est la suivante : « Traiter 1 m² de surface enherbée, de type perméable ou imperméable, pendant un an, pour un objectif de gestion défini par un seuil de d'intervention quantifié (seuil contraignant ou seuil moins contraignant) ».

Les valeurs des rendements, des consommations, et des nombres de passages respectifs pour chaque technique comparée sont relatives à cette UF.

Les résultats obtenus, combinés aux différentes analyses portant sur la qualité des données, sur les incertitudes, sur la sensibilité aux paramètres, et sur les limites, permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Globalement, les techniques thermiques à eau, « eau chaude » et « vapeur », apparaissent comme étant les techniques les plus impactantes. Notamment, la technique « eau chaude » ressort comme significativement plus impactante que les autres (excepté sur l'indicateur « écotoxicité »). Les valeurs expérimentales de rendement, de consommations, et du nombre de passages, indiquent que cette technique semble être chronophage dans sa mise en œuvre et consommatrice d'intrants, ce qui explique sa très faible efficacité environnementale.
- La technique « binette » ressort comme étant la moins impactante des techniques.
- Les techniques chimiques et mécaniques, « brosseuse » et « module tracté », ressortent globalement sur l'ensemble des indicateurs comme relativement peu impactantes (moins impactantes que les techniques « eau chaude » et vapeur »), chacune ayant toutefois une spécificité relative à un indicateur d'impact particulier.
 - Les techniques chimiques ressortent comme étant nettement plus impactantes que toutes les autres techniques sur l'indicateur « écotoxicité ». En outre, on peut estimer que l'impact sur l'écotoxicité des techniques chimiques est sous-évalué en absence de données précises quant aux formulations des désherbants, aux facteurs de caractérisation toxicologiques associés, et aux modèles de répartition dans les milieux. Par ailleurs, les résultats montrent un avantage environnemental sensible apporté par la technique DOE sur l'indicateur écotoxicité. Concernant la toxicité humaine, d'après la méthode Usetox utilisée pour cette ACV, les techniques chimiques apparaissent comme très faiblement toxiques pour l'homme lors de l'application en comparaison des autres facteurs (comme par exemple les émissions de combustion du gasoil). Les effets toxiques sur l'homme de l'application des désherbants doivent être étudiés plus en détail dans le projet Compamed Santé.

- La technique « brosseuse » génère une quantité de limaille non négligeable (et par ailleurs mal estimée) qui induit un impact environnemental important de cette technique sur l'indicateur « épuisement des ressources ».
- La technique gaz (gaz seul) ressort comme étant une technique plutôt efficiente du point de vue environnemental (générant des impacts environnementaux de l'ordre de grandeur de ceux de la « brosseuse » ou du « module tracté », donc parmi les moins impactantes). Toutefois, son association, pour des raisons de sécurité incendie en été, avec des méthodes à eau (eau chaude en l'occurrence dans le cadre de l'expérimentation) tend à lourdement grever le bilan environnemental de cette technique thermique notamment sur l'indicateur « énergie non renouvelable ».

Par ailleurs, l'analyse de sensibilité portant sur la comparaison entre résultats expérimentaux et résultats tirés de l'observatoire a montré que les rendements, consommations, et nombres de passages, étaient fort différents entre, d'une part la situation expérimentale (visant un objectif d'efficacité fixé et décrit au préalable), et d'autre part les situations réelles observées (répondant à des impératifs de gestion selon des seuils de déclenchement mal définis). Ces écarts peuvent se traduire par des résultats d'impact environnementaux sensiblement différents de ceux obtenus dans ce rapport. Ainsi, les résultats obtenus dans ce rapport dans le cadre d'un protocole expérimental ne peuvent pas être transposés pour tirer des conclusions de la comparaison des techniques dans le cadre de pratiques relevées sur le terrain et/ou observées dans le cadre de l'action 2.

Pour ce qui concerne les pratiques observées sur le terrain dans les collectivités et entreprises, la comparaison environnementale³¹ doit être réalisée via l'outil d'auto-évaluation issu de l'action 3 du projet Compamed ZNA, disponible sur le site www.compamed.fr.

Cette étude sur la comparaison environnementale des méthodes de désherbage montre que les techniques disponibles sont plus ou moins efficaces en terme de désherbage, et donc plus ou moins efficientes du point de vue environnementale. De plus, les différentes familles de techniques ont des spécificités propres, quant à leurs impacts environnementaux, qui limitent les conclusions définitives que l'on peut tirer sur la préférence d'une technique par rapport à une autre à partir des comparaisons : les techniques chimiques génèrent une pollution chimique locale des milieux aquatiques (écotoxicité), tandis que les techniques thermiques génèrent une pollution due à l'utilisation de combustibles fossiles, qui peut être à la fois locale (pollution de l'air) et délocalisée (contribution à l'effet de serre, eutrophisation).

Toutefois, ce que cette étude fait ressortir pour toutes les familles de techniques, c'est le caractère prépondérant, sur l'impact environnemental, du paramètre « nombre de passages ». De ce point de vue, la voie d'amélioration environnementale optimale pour le désherbage en ZNA est la réduction du nombre de passages. Ainsi, les conclusions qui découlent logiquement de cette étude portent sur les objectifs de désherbage par les gestionnaires selon le principe évident que moins on désherbe, moins

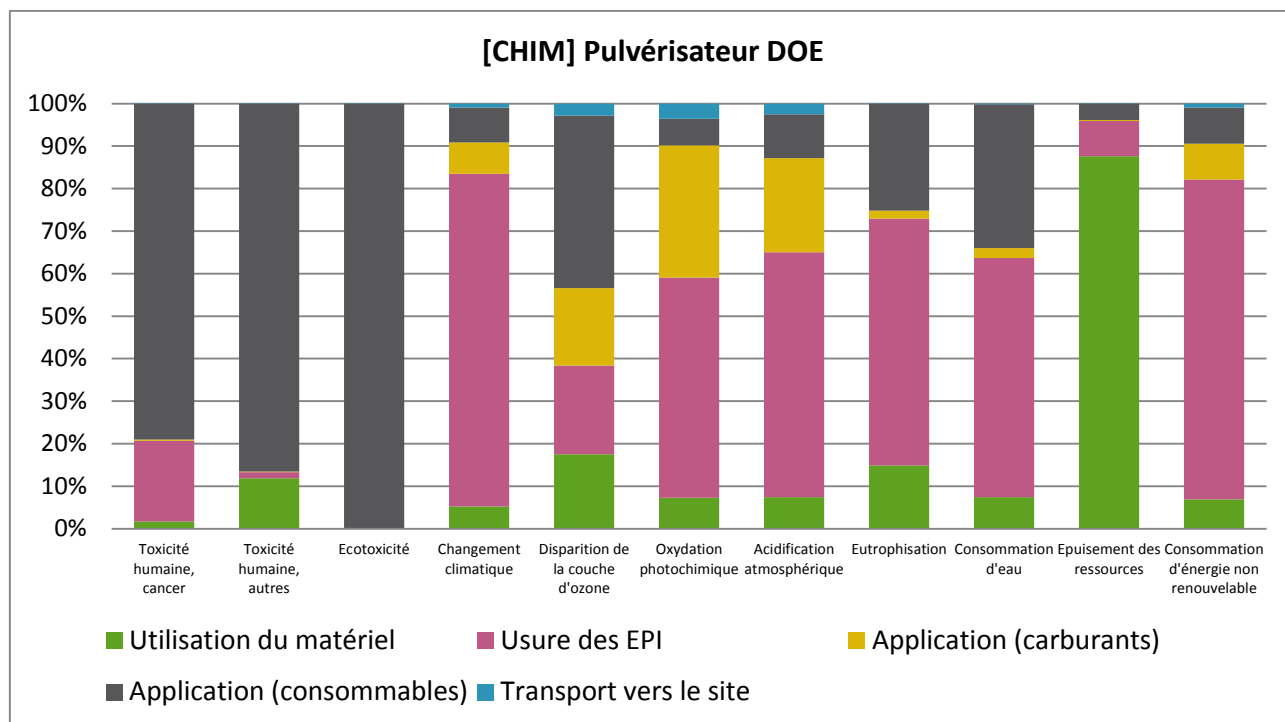
³¹ Pour rappel, les comparaisons réalisées avec l'outil d'auto-évaluation ne portent pas nécessairement sur des objectifs de performance identiques (comme c'est le cas pour la comparaison des techniques d'après l'expérimentation – Action 1) : cf. l'UF définie pour les ACV comparatives avec l'outil d'auto-évaluation (§ « Avertissement », page 13).

on pollue. Ainsi, en dehors des contraintes de sécurité pouvant concerner certains sites industriels ou des voies de transports (autoroutes, voies ferrées, etc.), et qui peuvent justifier un désherbage systématique et efficace, il conviendrait en effet de travailler sur la modification de la tolérance du public (et donc des décideurs) aux adventices, éventuellement jusqu'à envisager le non désherbage de certaines zones urbaines. De même, lorsque cela s'avère pertinent, la réflexion sur le passage d'un désherbage « planifié » à un désherbage « raisonné », prenant en compte l'évolution de la flore réellement présente sur le site considéré et en modulant les exigences suivant les zones urbaines ou périurbaines considérées, pourrait être généralisée.

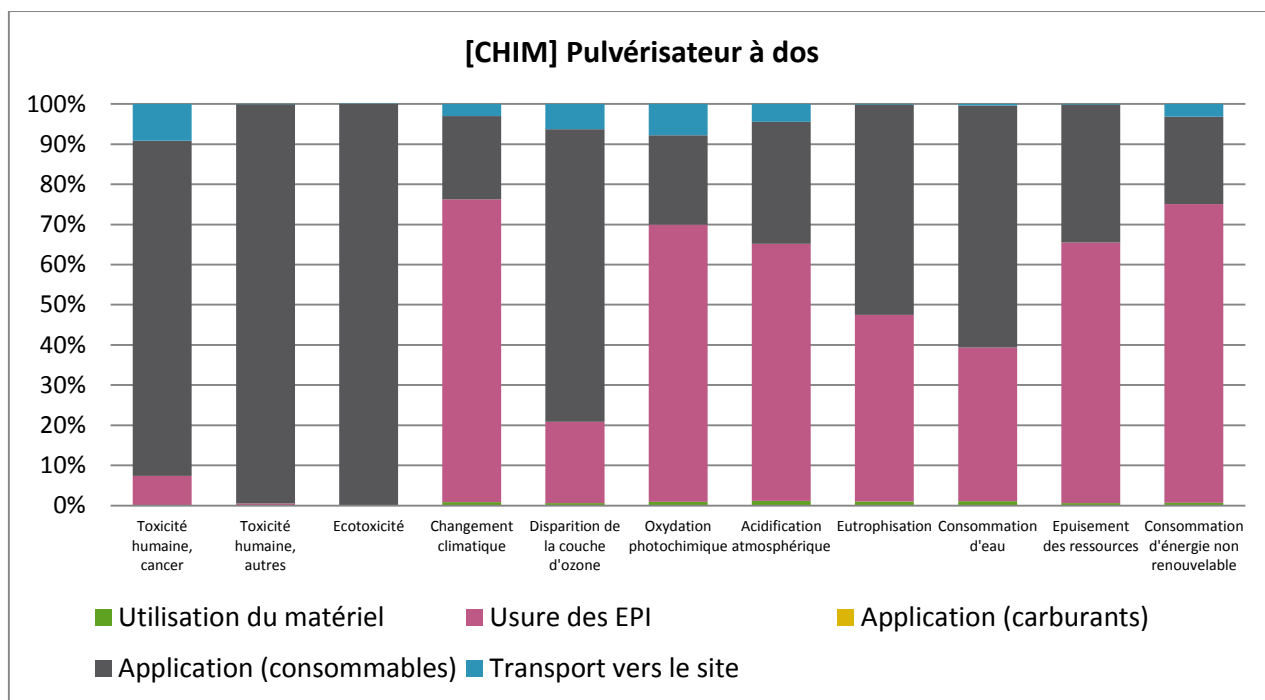
Enfin, il convient de noter, même si cela dépasse le cadre de Compamed ZNA, mais parce que cela est directement en lien avec l'unité fonctionnelle définie pour cette étude, que la réflexion sur la réduction des impacts environnementaux du désherbage devrait être portée plus en amont encore lors de la conception des espaces et de l'aménagement urbain, en concevant des espaces de telle sorte que, soit ces espaces ne requièrent aucun désherbage, ou très peu, ou favorisent l'usage des techniques les moins polluantes, soit favorisent la tolérance « naturelle » aux adventices.

ANNEXE 1- ANALYSE DE CONTRIBUTION PAR TECHNIQUE

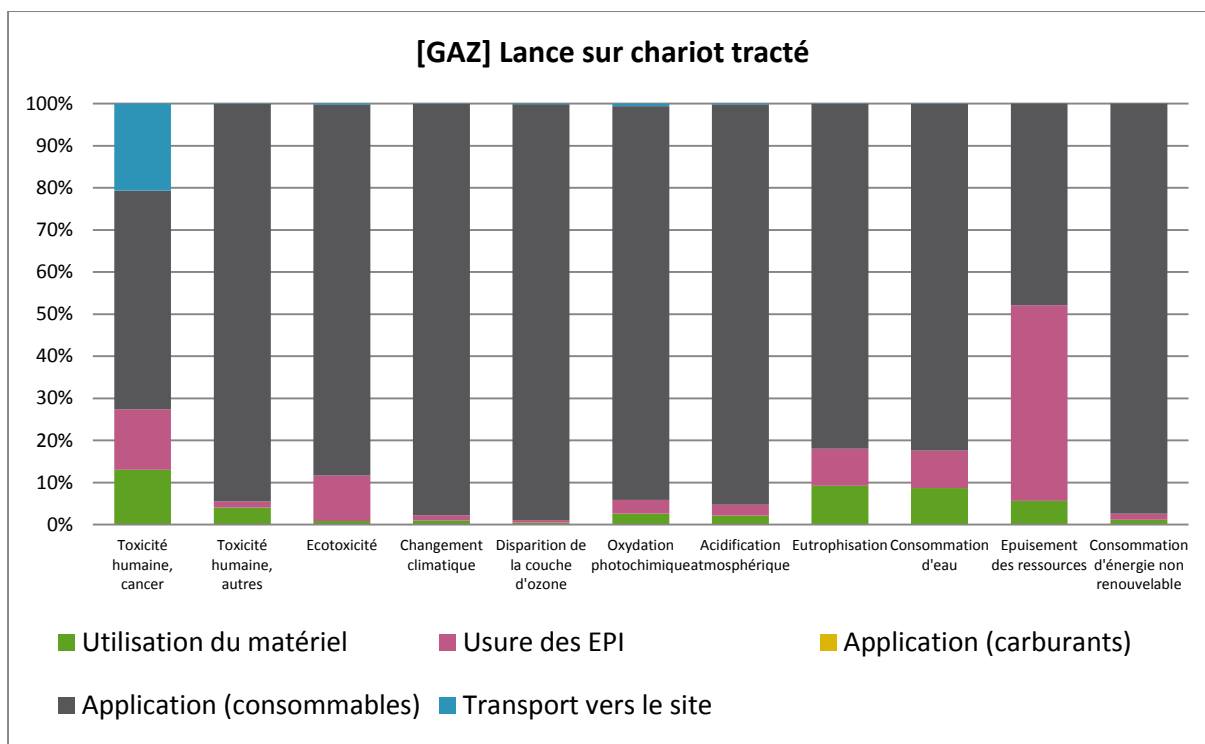
Les graphiques et tableaux suivants présentent les analyses de contribution par technique.



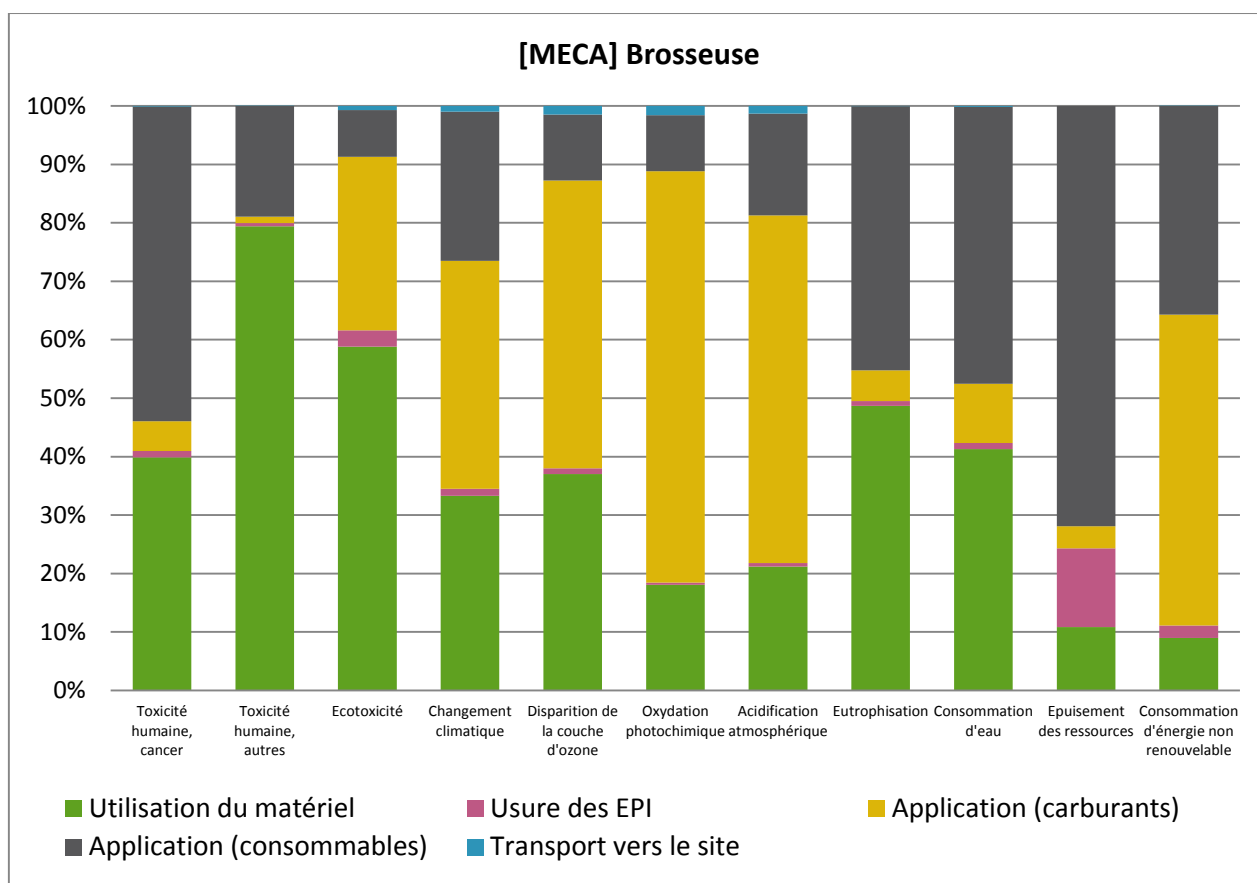
	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	1,11E-14	1,22E-13	1,92E-15	5,06E-13	1,82E-16
Toxicité humaine, autres	1,84E-13	2,22E-14	2,28E-15	1,34E-12	1,12E-16
Ecotoxicité	5,60E-07	4,28E-05	3,09E-07	5,09E-02	3,87E-08
Changement climatique	1,71E-04	2,55E-03	2,41E-04	2,66E-04	3,04E-05
Destruction de la couche d'ozone	2,88E-11	3,43E-11	3,00E-11	6,66E-11	4,65E-12
Oxydation photochimique	7,68E-07	5,49E-06	3,29E-06	6,62E-07	3,74E-07
Acidification atmosphérique	8,61E-07	6,71E-06	2,57E-06	1,20E-06	2,92E-07
Eutrophisation	9,31E-08	3,64E-07	1,17E-08	1,57E-07	3,74E-10
Consommation d'eau	1,84E-07	1,39E-06	5,90E-08	8,35E-07	4,52E-09
Epuisement des ressources	3,96E-08	3,72E-09	1,27E-10	1,73E-09	4,62E-12
Consommation d'énergie non renouvelable	2,95E-03	3,23E-02	3,62E-03	3,65E-03	4,18E-04



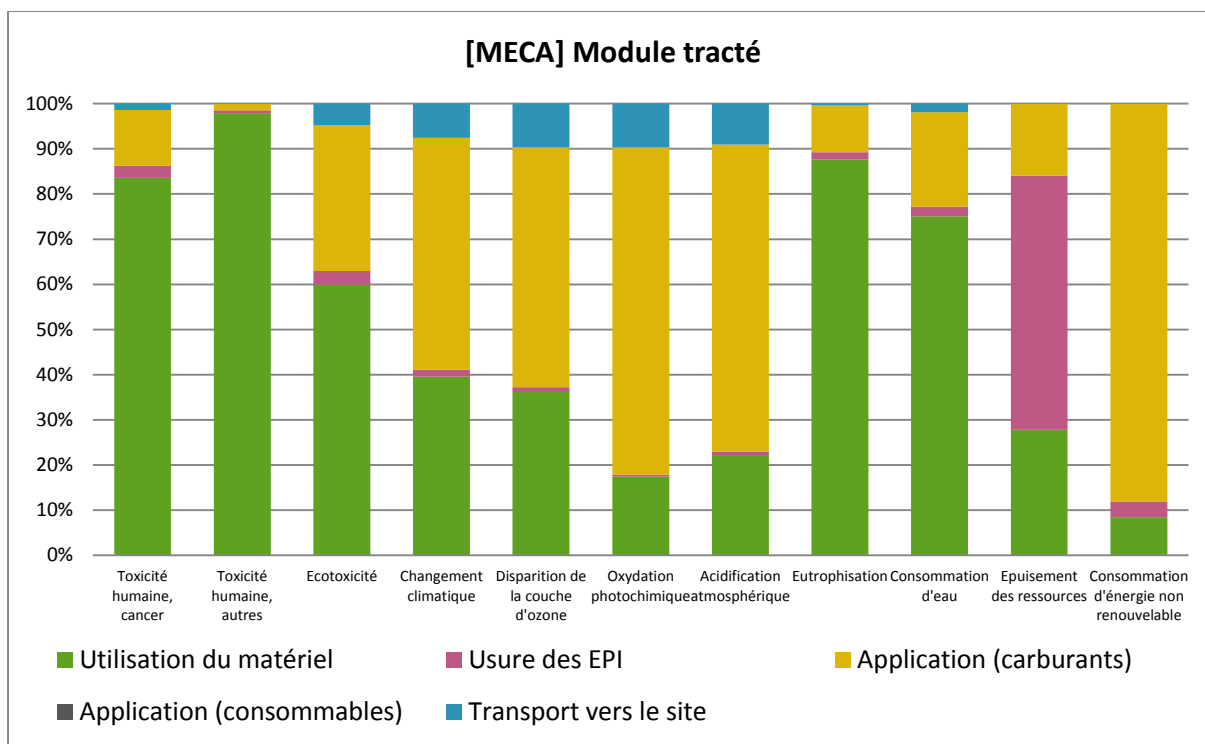
	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application (consommables)	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	1,80E-15	1,17E-13	0,00E+00	1,33E-12	1,45E-13
Toxicité humaine, autres	2,35E-15	2,23E-14	0,00E+00	4,20E-12	2,75E-15
Ecotoxicité	5,29E-08	4,30E-05	0,00E+00	1,69E-01	4,21E-07
Changement climatique	2,92E-05	2,55E-03	0,00E+00	7,00E-04	1,01E-04
Destruction de la couche d'ozone	1,45E-12	4,89E-11	0,00E+00	1,75E-10	1,52E-11
Oxydation photochimique	7,20E-08	5,43E-06	0,00E+00	1,74E-06	6,13E-07
Acidification atmosphérique	1,25E-07	6,68E-06	0,00E+00	3,17E-06	4,67E-07
Eutrophisation	8,30E-09	3,68E-07	0,00E+00	4,14E-07	1,34E-09
Consommation d'eau	4,16E-08	1,39E-06	0,00E+00	2,20E-06	1,51E-08
Epuisement des ressources	8,09E-11	8,60E-09	0,00E+00	4,55E-09	1,64E-11
Consommation d'énergie non renouvelable	3,06E-04	3,28E-02	0,00E+00	9,60E-03	1,39E-03



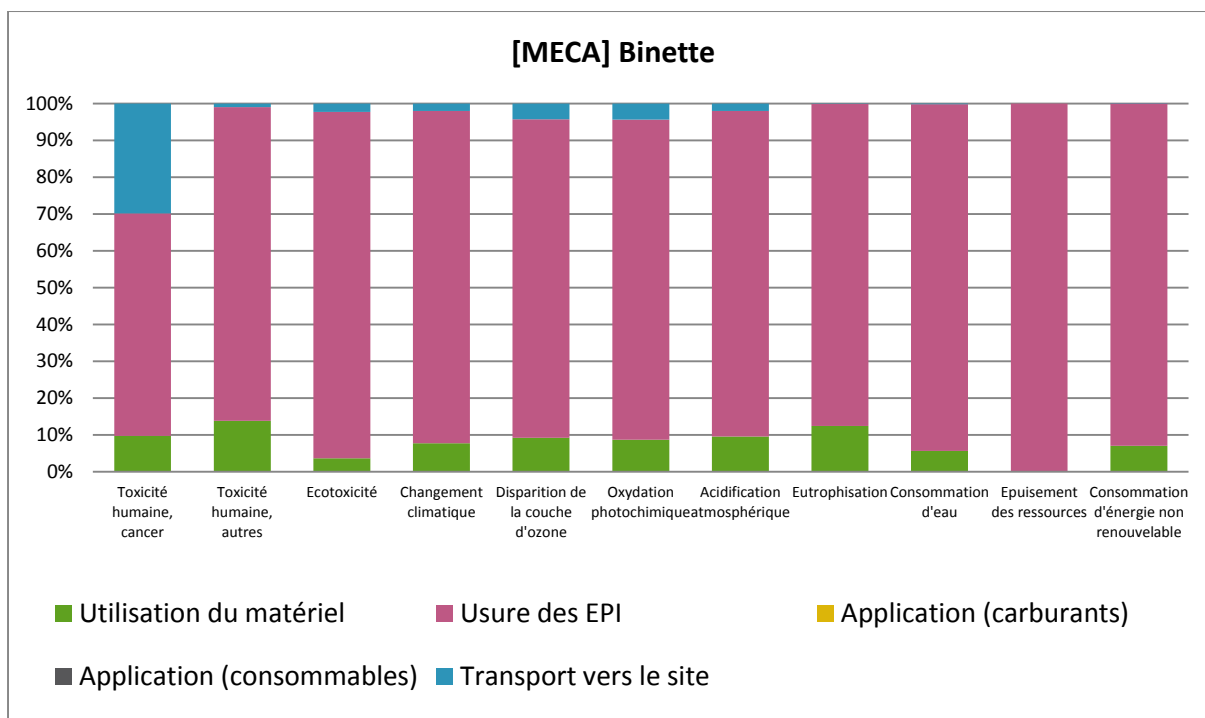
	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	2,30E-13	2,53E-13	0,00E+00	9,15E-13	3,63E-13
Toxicité humaine, autres	4,06E-13	1,44E-13	0,00E+00	9,45E-12	6,88E-15
Ecotoxicité	3,16E-06	3,87E-05	0,00E+00	3,16E-04	1,05E-06
Changement climatique	2,88E-03	3,41E-03	0,00E+00	2,78E-01	2,53E-04
Destruction de la couche d'ozone	1,57E-10	1,77E-10	0,00E+00	3,07E-08	3,81E-11
Oxydation photochimique	6,82E-06	8,44E-06	0,00E+00	2,41E-04	1,53E-06
Acidification atmosphérique	1,18E-05	1,42E-05	0,00E+00	5,19E-04	1,17E-06
Eutrophisation	1,05E-06	1,00E-06	0,00E+00	9,33E-06	3,35E-09
Consommation d'eau	5,28E-06	5,37E-06	0,00E+00	4,99E-05	3,77E-08
Epuisement des ressources	1,76E-08	1,44E-07	0,00E+00	1,49E-07	5,42E-15
Consommation d'énergie non renouvelable	4,39E-02	5,37E-02	0,00E+00	3,63E+00	2,60E-07



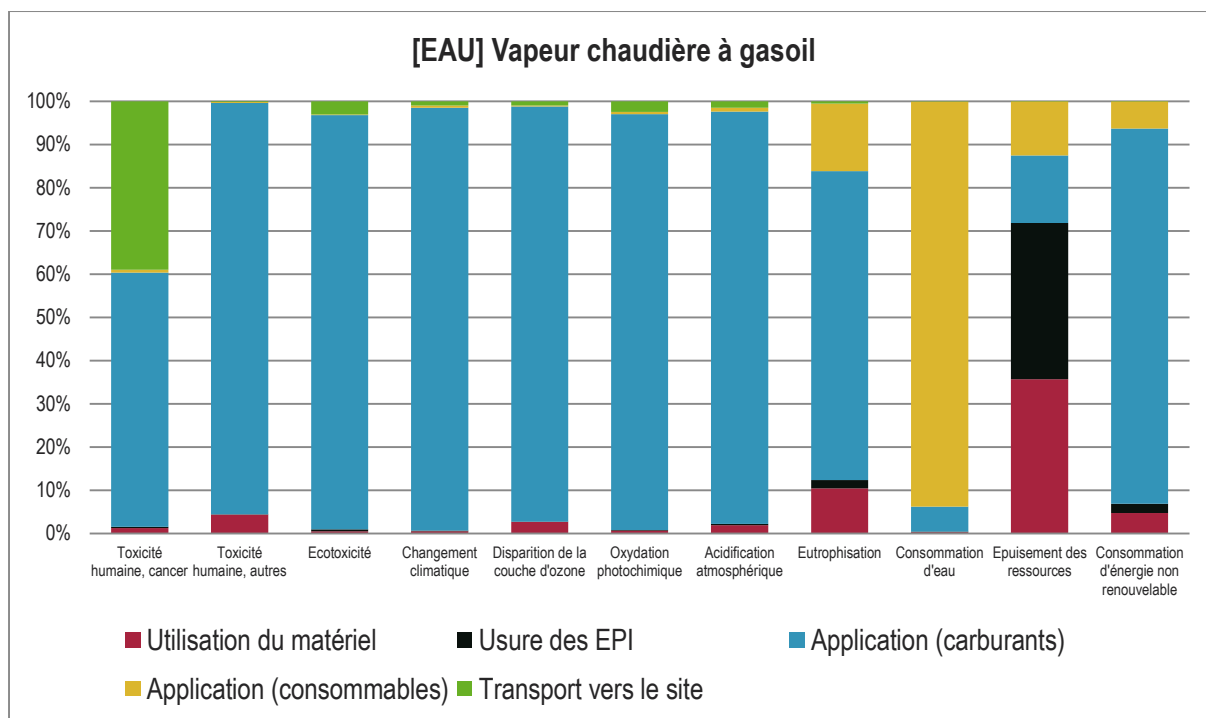
	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	3,71E-13	1,03E-14	4,73E-14	5,00E-13	8,78E-16
Toxicité humaine, autres	4,03E-12	2,69E-14	5,62E-14	9,61E-13	5,42E-16
Ecotoxicité	1,51E-05	7,29E-07	7,61E-06	2,05E-06	1,87E-07
Changement climatique	5,06E-03	1,79E-04	5,93E-03	3,89E-03	1,46E-04
Destruction de la couche d'ozone	5,56E-10	1,44E-11	7,39E-10	1,69E-10	2,24E-11
Oxydation photochimique	2,08E-05	4,56E-07	8,10E-05	1,10E-05	1,80E-06
Acidification atmosphérique	2,26E-05	6,62E-07	6,33E-05	1,85E-05	1,41E-06
Eutrophisation	2,66E-06	4,46E-08	2,89E-07	2,47E-06	1,80E-09
Consommation d'eau	5,94E-06	1,51E-07	1,45E-06	6,82E-06	2,18E-08
Epuisement des ressources	8,93E-09	1,11E-08	3,14E-09	5,91E-08	3,13E-15
Consommation d'énergie non renouvelable	1,51E-02	3,50E-03	8,91E-02	5,98E-02	1,41E-07



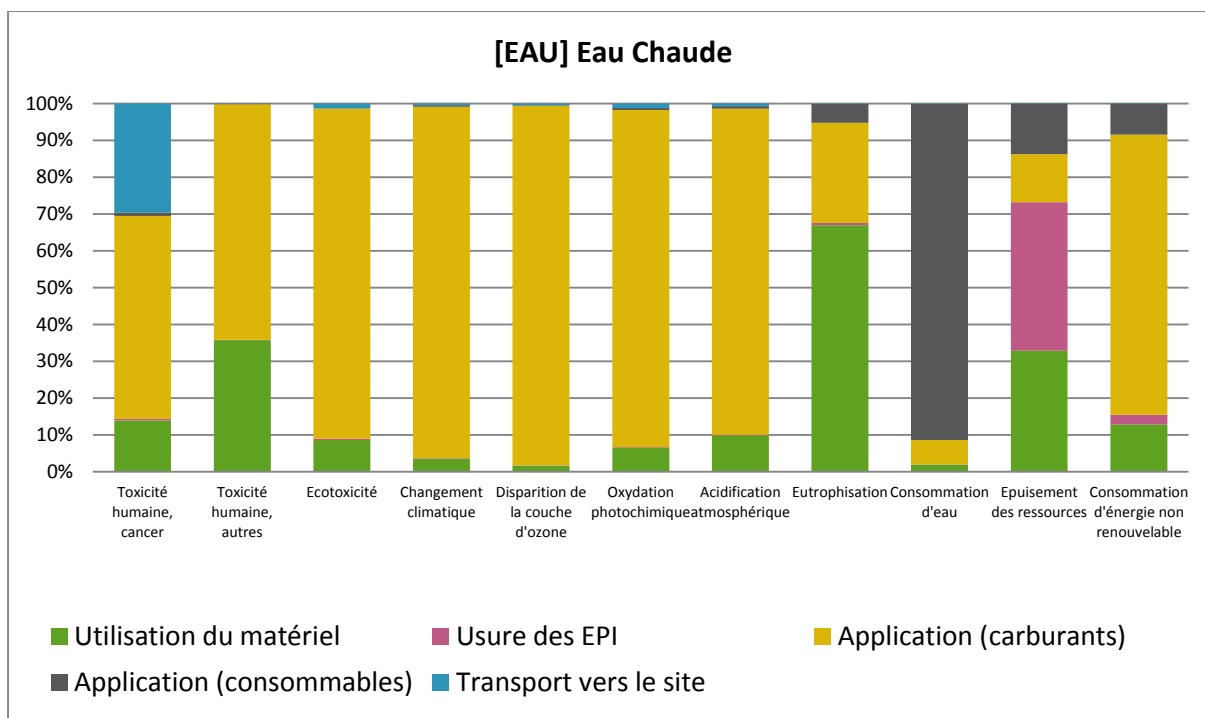
	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	5,34E-14	3,24E-15	7,88E-15	0,00E+00	8,78E-16
Toxicité humaine, autres	6,58E-13	5,68E-15	9,37E-15	0,00E+00	5,42E-16
Ecotoxicité	2,35E-06	1,83E-07	1,27E-06	0,00E+00	1,87E-07
Changement climatique	7,62E-04	7,55E-05	9,88E-04	0,00E+00	1,46E-04
Destruction de la couche d'ozone	8,39E-11	9,27E-12	1,23E-10	0,00E+00	2,24E-11
Oxydation photochimique	3,26E-06	5,24E-07	1,35E-05	0,00E+00	1,80E-06
Acidification atmosphérique	3,44E-06	3,89E-07	1,06E-05	0,00E+00	1,41E-06
Eutrophisation	4,05E-07	8,92E-09	4,81E-08	0,00E+00	1,80E-09
Consommation d'eau	8,70E-07	3,64E-08	2,42E-07	0,00E+00	2,18E-08
Epuisement des ressources	9,11E-10	2,00E-09	5,23E-10	0,00E+00	3,13E-15
Consommation d'énergie non renouvelable	1,43E-03	1,26E-03	1,49E-02	0,00E+00	1,41E-07



	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	9,56E-15	1,46E-13	0,00E+00	0,00E+00	2,91E-14
Toxicité humaine, autres	8,04E-15	1,18E-13	0,00E+00	0,00E+00	5,51E-16
Ecotoxicité	1,36E-07	6,98E-06	0,00E+00	0,00E+00	8,42E-08
Changement climatique	7,84E-05	3,53E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,03E-05
Destruction de la couche d'ozone	6,70E-12	4,55E-10	0,00E+00	0,00E+00	3,05E-12
Oxydation photochimique	2,47E-07	2,81E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,23E-07
Acidification atmosphérique	4,43E-07	2,00E-05	0,00E+00	0,00E+00	9,34E-08
Eutrophisation	3,66E-08	3,43E-07	0,00E+00	0,00E+00	2,68E-10
Consommation d'eau	9,98E-08	2,29E-06	0,00E+00	0,00E+00	3,02E-09
Epuisement des ressources	2,44E-10	1,10E-07	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-16
Consommation d'énergie non renouvelable	1,36E-03	5,65E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,08E-08

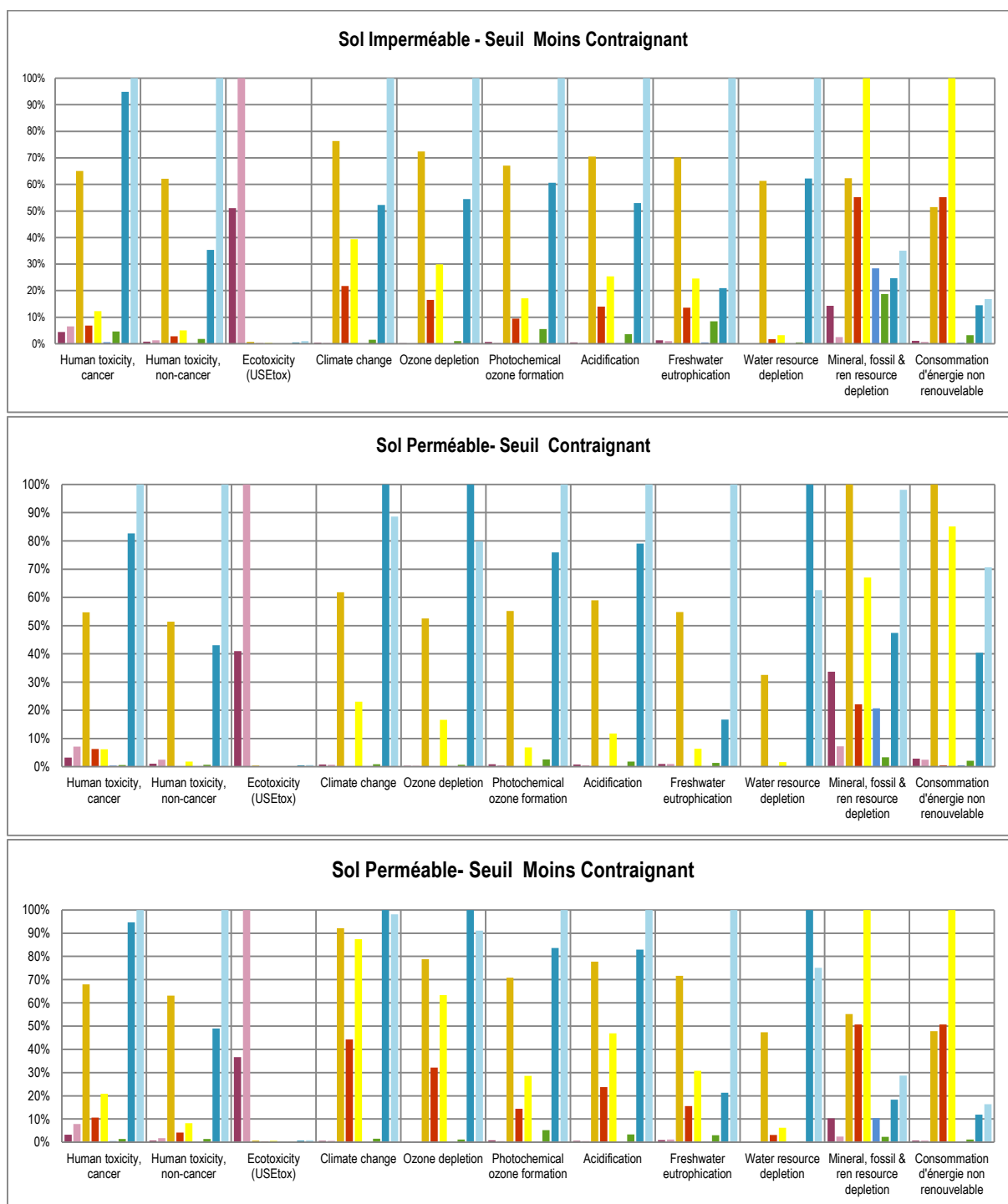


	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	1,78E-13	9,82E-14	8,78E-12	9,59E-14	5,82E-12
Toxicité humaine, autres	3,28E-12	1,30E-13	7,26E-11	1,65E-13	1,10E-13
Ecotoxicité	2,78E-06	4,51E-06	5,26E-04	7,31E-07	1,68E-05
Changement climatique	1,89E-03	2,14E-03	4,03E-01	2,10E-03	4,05E-03
Destruction de la couche d'ozone	1,64E-09	2,69E-10	5,92E-08	1,07E-10	6,09E-10
Oxydation photochimique	6,09E-06	1,63E-05	9,55E-04	5,26E-06	2,45E-05
Acidification atmosphérique	2,31E-05	1,27E-05	1,19E-03	1,09E-05	1,87E-05
Eutrophisation	1,10E-06	2,56E-07	7,58E-06	1,66E-06	5,35E-08
Consommation d'eau	3,40E-06	2,33E-06	7,45E-05	1,21E-03	6,04E-07
Epuisement des ressources	3,02E-08	3,55E-08	1,33E-08	1,06E-08	8,67E-14
Consommation d'énergie non renouvelable	2,77E-02	3,42E-02	5,08E-01	3,67E-02	4,16E-06



	Utilisation du matériel	Usure des EPI	Application (carburants)	Application	Transport vers le site
Toxicité humaine, cancer	2,92E-12	1,41E-13	1,16E-11	2,00E-13	6,18E-12
Toxicité humaine, autres	1,03E-10	2,75E-13	1,84E-10	3,43E-13	1,17E-13
Ecotoxicité	1,24E-04	7,33E-06	1,29E-03	1,52E-06	1,79E-05
Changement climatique	3,74E-02	2,91E-03	1,00E+00	4,38E-03	4,30E-03
Destruction de la couche d'ozone	2,56E-09	3,34E-10	1,47E-07	2,23E-10	6,47E-10
Oxydation photochimique	1,43E-04	1,90E-05	2,00E-03	1,10E-05	2,60E-05
Acidification atmosphérique	3,08E-04	1,61E-05	2,77E-03	2,27E-05	1,98E-05
Eutrophisation	4,54E-05	4,43E-07	1,84E-05	3,46E-06	5,69E-08
Consommation d'eau	5,32E-05	3,23E-06	1,84E-04	2,53E-03	6,42E-07
Epuisement des ressources	5,32E-08	7,04E-08	2,12E-08	2,21E-08	9,21E-14
Consommation d'énergie non renouvelable	1,18E-01	4,64E-02	6,91E-01	7,66E-02	4,42E-06

ANNEXE 2 – RESULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE « GAZ »



ANNEXE 3 - REVUE CRITIQUE

Nom du relecteur	Gérard PIDOUX
Date	25/10/2013

Rapport ACV comparative des techniques de désherbage

Page(s)	Paragraphe/ tableau/figure	Partie faisant l'objet de la remarque	Remarque/ proposition de modification	Réponse EVEA
18	2.1 Objectifs	Les communes ont des critères	Pourquoi seulement les communes parmi tous les gestionnaires ZNA ?	Remplacé par "les gestionnaires ZNA"
24	2.6.2. Limites	Composition du désherbant utilisé :	Fait l'objet d'études d'écotoxicité dans le processus d'homologation. Pourquoi toutes ces incertitudes ?	Nous n'avons pas eu accès aux dossiers de demande d'homologation. Les membres du Copil qui étaient pressentis comme étant en capacité de nous fournir ces données n'ont pas été en mesure de le faire.
25	2.6.3 – Tableau 6	Représentativité des données	Ligne représentativité technologique : pourquoi les rendements observés sont-ils non représentatifs des pratiques ?	Il s'agit des rendements relevés lors de l'expérimentation (ACTION 1 menée par le CETEV), ils ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs des pratiques puisqu'ils concernent un matériel précis avec un seuil d'intervention défini (contraignant ou non contraignant) et un objectif de performance qui ne semble pas refléter la réalité des pratiques observées.
28	Tableau 7		Pourquoi le critère consommation d'eau a-t-il un coefficient de robustesse de III ? Alors qu'il semble facile de quantifier des m ³	Il s'agit ici d'une quantification d'eau sur tout le cycle de vie. Les types d'eau à comptabiliser ne trouvent aujourd'hui pas de consensus scientifique d'où la qualité faible de l'indicateur. Par ailleurs il s'agit d'un indicateur de flux et non d'un indicateur d'impact qui ne tient pas compte du stress hydrique local.

30	3. Tableau 8	Modélisation du système	A rapprocher de la remarque p.25 Tableau 6 : pourquoi ces rendements ne sont-ils pas représentatifs des pratiques ? (notamment la modalité « MC »)	Idem remarque ci-dessus : il s'agit des rendements relevés lors de l'expérimentation (ACTION 1 menée par le CETEV), ils ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs des pratiques puisqu'ils concernent un matériel précis avec un seuil d'intervention précis et un objectif de performance qui ne semble pas refléter la réalité des pratiques observées.
	Tableau 9	Nombre de passages par an	Toujours dans la même idée, le nombre de passages de la modalité MC n'est pas très différent des conditions de la pratique	Idem remarque précédente.
36	Interprétation	Technique eau chaude	Explication de la conso d'eau plus élevée dans l'expérimentation par un souci d'efficacité en comparaison à l'observatoire des pratiques : si la plante n'est pas détruite, elle repart quelques jours après, ce qui rend vaine l'opération pratiquée et conduit donc à une vraie pollution « gratuite ». Ce raisonnement est valable pour toute action dont l'efficacité n'est pas avérée.	Ce commentaire a été intégré à l'explication des différences de valeurs entre expérimentation et observatoire.
42	5.3	Analyses de contribution – Dernier paragraphe	La phase de transport vers les sites est toujours négligeable (sauf sur toxicité humaine cancérigène cf figure 8 p.43)	Elément Corrigé.
60	6.2	Comparaison avec résultats de l'observatoire	Il semble qu'une comparaison de résultats pas comparables ait été effectuée coûte que coûte. Le but initial étant de comparer les techniques entre elles et non pas entre 2 approches différentes, on voit mal l'intérêt de ce croisement de données. Certains chiffres de l'observatoire sont difficilement crédibles. Ainsi dans le tableau 31 p.61 la consommation d'eau pour le traitement	La comparaison avec les résultats obtenus de l'observatoire a été supprimée. En effet les deux résultats ne sont pas comparables. La comparaison des techniques avec les données de l'observatoire sera présentée en lieu et place de cette comparaison.

			vapeur est 80 fois celle du traitement eau chaude et le nombre de passages 3 fois supérieur. Après ce constat, quelle valeur accorder au tableau 33 p.62 et l'interprétation donnée p.63	
71	Tableau du milieu	« une proposition est faite ci-dessous »	Erreur : sous pulvé DOE lire « pulvé dos » au lieu de « perméable »	Modifié
77	Conclusion		Si on se hasarde à décrypter ce paragraphe alambiqué, on pourrait croire que toute l'étude expérimentale ne présente aucun intérêt pour le praticien ou le gestionnaire. Seul compterait l'outil d'auto évaluation qui serait la référence absolue, une sorte de Bible dont les préceptes seraient à suivre les yeux fermés. En commençant la – longue – lecture de cette étude, je rêvais de voir tomber les préjugés et affirmations gratuites. On allait enfin savoir ! 150 pages plus loin, la sentence tombe : c'est un outil conçu à partir de « seuils de déclenchement mal définis » répondant à des « impératifs de gestion » obscurs, basé sur des observations fragmentaires et occultant des pans entiers de la problématique ZNA qui va éclairer notre choix ! Descartes et ses disciples vont se retourner dans leurs tombes ! Tout ça pour ça !	Commentaire personnel, hors sujet de la revue critique, et n'appelant donc pas de réponse de notre part.

Nom du relecteur	Thybaud
Date	17 septembre 2013

Rapport ACV comparative des techniques de désherbage

Page(s)	Paragraphe/ tableau/figure	Partie faisant l'objet de la remarque	Remarque/ proposition de modification	Réponses EVEA
26		La description des indicateurs de catégorie d'impacts	De façon générale il serait bon d'indiquer la pertinence de l'indicateur dans le cadre de la présente étude. En effet il me semble que les indicateurs listés sont assez classique dans le cadre d'une ACV, néanmoins ils n'ont surement pas la même pertinence dans tous les contextes. Par exemple dans le cas présent je ne suis pas convaincu de la pertinence de l'indicateur eutrophisation.	La colonne "Pertinence pour l'étude" a été ajoutée au tableau de présentation des indicateurs. Une classification du degré de pertinence (majeur/important/moindre) a été ajoutée au tableau de définition des paramètres.
26	Consommation d'eau	Description de l'indicateur	Préciser ce qui est couvert par Quantité totale d'eau consommée. Si j'ai bien compris il s'agit de l'eau consommée tout au long du cycle de vie du procédé	Ajout de " Il s'agit de l'eau consommée tout au long du cycle de vie du ou des produits étudiés"
26			Je pense qu'il serait bon d'expliquer pourquoi seule l'écotoxicité aquatique est prise en compte. Dans le cas présent l'impact sur le milieu terrestre peut être important. Il faut au moins expliquer.	Ajout du nota bene suivant : NB : Bien que la problématique d'écotoxicité terrestre soit importante pour la présente étude, il n'existe pas à l'heure actuelle d'indicateur consensuel sur cet impact.
30	Tableau 8	Consommations	Il me semble nécessaire de définir ce qui est couvert par ce terme	Modification apportée (« CONSOMMATIONS D'INTRANTS LORS DU TRAITEMENT »)

32	Qualité des données		Il me semble qu'il faudrait détailler l'origine des données. J'ai cru comprendre que celles-ci étaient issues de l'expérimentation, dans ces conditions il est difficile de comprendre pourquoi certaines données sont de faible qualité. Par exemple la durée de vie des EPI devrait être connue	Pour toutes les données issues de l'expérimentation la qualité est considérée comme très bonne, néanmoins il a été nécessaire de réaliser des hypothèses pour certaines données comme la durée de vie des EPI et matériel car non mesurées dans l'expérimentation. Elles ont néanmoins été validées par le COPIL. Une précision en ce sens a été ajoutée : « <i>Il est à noter que les seules données relevées lors de l'expérimentation sont le nombre de passages, la consommation d'intrants et les rendements, ce qui explique leur très bonne qualité vis-à-vis d'autres données telles que la durée de vie des EPI ou des matériels qui ont dû être estimés faute de relevés.</i> »
36	interprétation		Je pense que l'interprétation mériterait d'être plus fouillée. La description brute des sorties de l'ACV est importante mais l'interprétation doit aller plus loin en indiquant des hypothèses pouvant expliquer les résultats et en faisant une analyse, c'est-à-dire en prenant du recul. A titre d'exemple il serait bon de discuter la pertinence de l'impact sur l'indicateur puisement des ressources. Après lecture page 52 il apparaît que ceci est du à l'usure des EPI, les EPI correspondant à des chaussures de sécurité. Outre le fait qu'il me paraît exagéré de faire porter des chaussures de sécurité pour utiliser une binette je pense que les opérateurs portent toujours des chaussures, qu'ils binent ou non et que cet impact est vraiment à relativiser.	Modifié, précisions apportées sur la nécessité de relativiser les résultats sur l'indicateur ressources pour la binette.

			Tout ceci pour dire qu'il me semble qu'il ne faut pas juste décrire mais qu'il faut aussi expliquer	
36		Les techniques « vapeur » et « gaz » ressortent comme moyennement impactantes sur l'ensemble des indicateurs	Peut on vraiment dire cela pour la technique « vapeur » qui pour 6 indicateurs sur 11 présent un résultat supérieur à 70%.	Modifié par « <i>Les techniques « vapeur » et « gaz » ressortent comme moins impactantes que la technique vapeur mais toute de même significativement impactantes sur l'ensemble des indicateurs</i> »
36		Cf les analyses de contribution au §6.3	A remplacer par Cf les analyses de contribution au §5.3	Modifié.
36		Dernier paragraphe	Je trouve dommageable que les substances chimiques des produits phytosanitaires n'aient pu être caractérisées et donc apparaître dans l'indicateur « Toxicité humaine ». Je m'étonne que l'UPJ n'ait pu fournir une ou des composition(s) type pour les préparations glyphosate. Ceci est préjudiciable à cette étude car même si cette absence n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions du travail elle risque de laisser une suspicion sur son indépendance.	Nous n'avons pas eu accès aux dossiers de demande d'homologation, cette remarque sera transmise à l'UPJ.
41			Même remarque que précédemment l'analyse mériterait d'être plus poussée. Je ne comprends pas la notion de « moindre efficacité » pour la technique eau chaude, comment ceci est-il abordé, je ne vois pas le critère qui permet de dire cela.	Précision explicative apportée.
42		Analyse des contributions	Il serait bon de rappeler les limites liées à chaque indicateur, par exemple sur la tox humaine il faut rappeler ce qui est pris en compte et surtout ce qui ne l'ait pas.	Le glyphosate et l'AMPA ont été pris en compte pour le calcul de l'indicateur « toxicité humaine » suite aux remarques de revue critique.

44			Ne faut il pas rappeler que la composition de la préparation n'est pas prise en compte ce qui explique que l'impact sanitaire majeur du glyphosate est au moment de la production...	Les émissions dans le milieu ont été prises en compte pour les composants de la spécialité phytosanitaire (glyphosate et AMPA + surfactant). Sur l'indicateur « Toxicité humaine » les impacts du glyphosate et de l'AMPA ont été ajoutés. Ils ne modifient pas les conclusions. Toutefois, il faut noter que le niveau d'incertitude sur cet indicateur est élevé.
52		Epuisement des ressources	Je ne reviendrais pas sur la question de la binette... Mais je pense quand même qu'il faut prendre du recul sur ce point.	Modifié. Des nuances ont été apportées à l'affirmation aux § 5.2 et 5.3.10.
53			Un point me semble manquer dans la discussion : la non prise en compte dans l'analyse de l'impact sur la ressource en eau lié de la contamination des milieux aquatiques par l'AMPA Il faut indiquer ce point.	Les méthodes actuelles d'impact sur l'eau au sens de la ressource en eau ne permettent pas de prendre en compte cela (pas de corrélation établie par les méthodes ACV entre la pollution et la ressource). Cette précision a été apportée au § 5.3.9.
59			Le fait que la technique Binette ne génère pas d'émission à l'application ne doit pas conduire à la sortir de l'analyse ; au contraire les émissions étant nulles elle devrait sortir en tête des technique en terme de non impact.	La technique « Binette » a été ajoutée au graphique.
60			Même remarque que précédemment je ne pense pas que l'on puisse se satisfaire de la non prise en compte de l'émission directe de glyphosate du fait de l'absence de facteurs de caractérisation pour les éléments constitutants. Des données de tox sur le glyphosate et sur son métabolite sont disponibles et je m'étonne que l'UPJ ne les aient pas transmises.	Sur l'indicateur « Toxicité humaine » les impacts du glyphosate et de l'AMPA ont été ajoutés. Ils ne modifient pas les conclusions. Toutefois, il faut noter que le niveau d'incertitude sur cet indicateur est élevé.

64			Même remarque que précédemment.	Sur l'indicateur « Toxicité humaine » les impacts du glyphosate et de l'AMPA ont été ajoutés. Ils ne modifient pas les conclusions. Toutefois, il faut noter que le niveau d'incertitude sur cet indicateur est élevé.
76		Conclusion	Attention en ce qui concerne les techniques chimiques bien rappeler que l'analyse n'a pas pris en compte la toxicité humaine ... Et toujours ma demande de prise de recul sur la binette et les EPI.	Des précisions ont été apportées aux § 5.3.1 et 5.3.2, 6.1, et au paragraphe 7 de conclusion.

Nom du relecteur	Philippe Roux
Date	31 novembre 2013

Rapport ACV comparative des techniques de désherbage

Remarque générale :

L'exercice de revue critique qui nous est demandé repose sur plusieurs documents et fichiers listés ci après :

 COMPAMED ZNA _Validation vitesses et intrants.xlsx	11 oct. 2013 18:59
 Documentation ACV outil Compamed.pdf	8 oct. 2013 18:40
 Outil COMPAMED V4.xlsx	8 oct. 2013 18:40
 Rapport ACV Compamed.pdf	24 oct. 2013 16:10

Aucun de ces documents ne se suffit à lui même et les liens entre eux (références, etc.) ne sont pas toujours évidents pour le lecteur. Notamment, l'essentiel de la phase d'inventaire du cycle de vie (ICV) est décrite dans la documentation de l'outil et est absente du rapport d'ACV. A l'inverse, la description des modèles d'émissions des pesticides dans l'air, l'eau et les sols sont absents de la documentation de l'outil (ils se trouvent dans le chapitre 6-Analyse de sensibilité du rapport d'ACV) alors qu'il s'agit des paramètres les plus importants du comparatif techniques chimiques versus alternatives. Il serait donc probablement préférable, que tous les descriptifs, les hypothèses et modèles ainsi que les données d'inventaire (ICV) et les calculs spécifiques de facteurs de caractérisation se trouvent dans un seul et unique rapport. Ce rapport précisant toutes les hypothèses pourrait être le rapport d'ACV et dans ce cas, la documentation de l'outil ne reprendrait alors que la description des paramètres et des règles de calculs spécifiques à l'outil et ferait référence pour le reste au rapport d'ACV complet. La lisibilité d'ensemble en serait probablement améliorée.

Réponse EVEA :

Afin de ne pas surcharger le rapport ACV nous préférons séparer la partie hypothèse et données utilisées des résultats de l'étude. Ainsi afin de faciliter les renvois entre les documents un tableau présentant les renvois pour chaque partie de la modélisation a été ajouté dans le rapport ACV.

Page(s)	Paragraphe/ tableau/ figure	Partie faisant l'objet de la remarque	Remarque/ proposition de modification	Réponses EVEA
11	Glossaire		Il est proposé d'ajouter dans le glossaire une définition de ce qu'on entend par « seuil de déclenchement de l'intervention » en évoquant les principaux paramètres qui le déterminent (nombre et taille des adventices).	Élément ajouté.
15-16	Chap. 1.2	Introduction	L'étude s'adresse plus particulièrement aux opérateurs ou aux gestionnaires d'espace verts (i.e. des non spécialistes de l'évaluation environnementales). Dans ce contexte, il serait souhaitable de mieux présenter et expliquer les limites d'une approche ACV et les éventuelles complémentarités avec des approches du type « Evaluation du risque opérateur » ou « études d'impacts » visant les risques pour l'eau ou le voisinage au bord des zones traitées. Pour répondre à cela, nous proposons d'ajouter un chapitre « 1.3 limites des approches ACV et complémentarités avec d'autres approches » (voir le commentaire 1 en ANNEXE)	Chapitre ajouté 1.3 LIMITES DES APPROCHES ACV ET COMPLEMENTARITES AVEC D'AUTRES APPROCHES.
18	§2, alinéa 4	« Les communes ont des critères d'efficacité qui leur sont propres : certaines tolèrent une petite quantité de végétation, d'autres vont envoyer des opérateurs pour traitement au moindre signe de repousse. »	Il nous paraît indispensable dans ce paragraphe ou dans le chapitre Introduction de mieux décrire les pratiques réelles (notamment de distinguer entre un désherbage « calendaire » versus un désherbage « raisonné » et de préciser que l'utilisation d'un seuil de déclenchement ne concerne que le désherbage dit « raisonné ») - voir en ANNEXE le commentaire 2 .	Précision apportée à ce même paragraphe.
18	§3 / dernière phrase	« .../... Cette approche garantit l'objectivité des résultats. »	Il est proposé de modifier cette phrase par « Cette approche est censée garantir l'objectivité de la comparaison entre techniques de désherbages (i.e. comparer des systèmes techniques à service rendu comparable définis par un protocole d'essais) ».	Modifié par « cette approche vise à garantir ... ».

20	Tableau 2	Colonne description	Dans la colonne description, pour chacune des techniques il serait souhaitable de scinder le descriptif en deux : (1) descriptif techniques testée (2) autres techniques similaires. Par exemple pour la technique eau chaude, il est impossible au lecteur de savoir exactement quelle est la technique utilisée (cuve calorifugée chauffée la nuit ou chaudière alimentée par groupe au cours de l'intervention ?). Globalement la description des systèmes étudiés doit impérativement être améliorée en précisant notamment si l'appareil est autonome, portée ou trainé par un tracteur (2x4 ou 4x4, de quel puissance ?) ou un camion (de quel type) ; si il utilise une source d'énergie externe ou pas (prise de force tracteur ? groupe hydraulique tracteur ou camion ?), l'ordre de grandeur des puissances des systèmes embarqués ou externes, le type de buses utilisées pour les pulvérisateurs, etc. Notons que la plupart des informations descriptives se retrouvent dans le second document de l'ACTION 3 intitulé « Documentation de référence – ACV et outil d'auto évaluation ». Il faudrait donc à minima que dans les deux documents soient mieux articulés entres eux (soit on regroupe tout dans un des deux rapports, soit on ajoute des références croisées).	Un tableau regroupant les principaux renvois aux parties traitant les données utilisées dans la modélisation est inséré.
21 et 22	Tableau 3. et 4.		Il convient de préciser si le seuil (niveau) est atteint lorsque « une seule » des conditions de seuil est atteinte où « plusieurs des conditions » ? d'autre part, afin d'éviter une ambiguïté, préciser pour chaque tableau ce qui correspond à imperméable et perméable (au lieu de le stipuler dans la légende).	Le seuil correspond à un nombre de plantes avec une taille définie (exp 5 plantes <5cm). Les tableaux ont été modifiés en ajoutant l'en-tête de définition.
22 - 23	§2.5 §2.5.1	« Traiter 1 m ² de surface enherbée de type perméable ou imperméable pendant un an avec un objectif de gestion défini (contraignant ou moins contraignant) »	Nous proposons de reformuler la définition de l'UF : « Traiter 1 m² de surface enherbée de type perméable ou imperméable pendant un an pour un objectif de gestion défini par un seuil de	Modifié.

			d'intervention³² quantifié (seuil contraignant ou seuil moins contraignant) » Idem pour le flux de référence : « 1 m² de surface désherbée (ou traitée) pendant 1 an »	
24	§2.6.2	2.6.2 Limites Alinéa 5	Nous recommandons de dissocier les « limites de l'étude » des « limites de l'approche ACV en général ». Pour cela, nous vous proposons de renommer ce paragraphe en « Limites de l'étude » et de déplacer l'alinéa 5 dans un paragraphe à créer « Limites des approches ACV et complémentarités avec d'autres approches » à placer soit en 1.3 ou en 2.6.3 (cf. commentaire 1).	Chapitre ajouté 1.3 LIMITES DES APPROCHES ACV ET COMPLEMENTARITES AVEC D'AUTRES APPROCHES.
24	§2.6.2 alinéa 5	.../... (d'un ordre 10 ² à 10 ³ pour la méthode USEtox) .../...	Nous proposons de modifier ce texte : (d'un ordre 10² à 10³ pour la méthode USEtox sur une échelle globale d'environ 10⁷ entre les substances les moins toxiques et les plus toxiques)	Modifié.
25	Tableau 6	Rendement	Afin d'éviter toute ambiguïté, préciser s'il s'agit du « rendement de chantier » (i.e. surface travaillée/temps d'intervention) ou du rendement en terme d'efficacité du traitement des mauvaises herbes ?	Il s'agit du rendement de chantier (surface traitée/temps d'intervention). Il est défini en partie 3. Un renvoi a été ajouté.
25	Tableau 6	« Non représentatif des pratiques relevées »	Cette remarque sera probablement difficile à interpréter par un non spécialiste. Nous proposons de reformuler cette remarque et d'ajouter en bas de tableau une note : Rendement de chantier : « Non représentatif des pratiques réelles * » Nombre de passages : « Non représentatif des pratiques réelles ** »	Remarque prise en compte avec la nuance suivante : nous avons modifié le terme "réelles" par observées car les pratiques réalisées dans l'expérimentation peuvent être réelles mais n'ont pas été observées majoritairement dans l'observatoire. Les notes ont été ajoutées.

³² Seuil d'intervention ou de déclenchement ?

			* les rendements de chantier sont ceux qui ont été observé lors des tests réalisés par le CETEV et ne correspondent pas forcément aux pratiques réelles des collectivités ou de leurs sous-traitants. Voir le chapitre « 2.1 Objectifs de l'étude » pour plus d'information. ** Cette ACV vise à évaluer différentes techniques de désherbage pour un service rendu identique (« rendement identique » cf. protocole expérimental d'essai). En ce sens, pour les aspects nombre de passages, elle n'est pas représentative des pratiques réelles qui ne garantissent en générale pas le même service rendu (en terme de qualité du désherbage réalisé) suivant les différentes techniques mises en œuvre et la fréquence des interventions. Voir le chapitre « 2.1 Objectifs de l'étude » pour plus d'information.	
27	Paragraphe 1	Il convient de noter que, par définition, ces indicateurs mesurent des impacts potentiels .../...	A déplacer dans un chapitre « Limites des approches ACV et complémentarités avec d'autres approches » à placer soit en 1.3 ou en 2.6.3 (cf. commentaire 1).	Modifié et ajouté dans le chapitre 1.3 LIMITES DES APPROCHES ACV ET COMPLEMENTARITES AVEC D'AUTRES APPROCHES
27	Paragraphe 3	Par ailleurs, le choix de ce jeu d'indicateur est en accord avec les recommandations de la communauté scientifique de l'ACV traduites dans le ILCD Handbook du Joint Research Center (Commission Européenne)	A reformuler : « Le choix de ce jeu d'indicateur est basé sur les recommandations du ILCD Handbook du Joint Research Center (Centre de Recherche de la Commission Européenne). Ce jeu d'indicateurs est actuellement le plus consensuel au niveau de la communauté scientifique Européenne. »	Modifié.
28	Paragraphe 1	Les méthodes utilisées pour le calcul des indicateurs sont succinctement décrites ci-après. Le lecteur pour accéder aux références pour plus de détails.	A corriger (pour que le lecteur comprenne mieux la distinction méthode/indicateur): Les indicateurs retenus dans l'étude appartiennent à différentes méthodes d'évaluation des impacts en ACV telles que référencées dans le tableau 7 (Chacune de ces méthodes regroupe des familles d'indicateurs). Les méthodes qui sont utilisées pour le calcul des	Modifié.

			indicateurs retenus dans l'étude sont succinctement décrites ci-après. Le lecteur pourra accéder aux références pour plus de détails.	
26 et 28	Tableau 7	Consommation d'énergie non renouvelable Indicateur « Cumulative Energy Demand (CED) »	Nous déconseillons l'utilisation de cet indicateur dans la mesure où il ne correspond pas directement à des catégories d'impacts identifiées. En effet, cet indicateur agrégé recouvre potentiellement plusieurs catégories d'impacts (e.g. changement climatique et disparition des ressources pour les énergies fossiles) et suivant le type d'énergie utilisé ne nous renseigne en rien sur les impacts associés (e.g. les impacts associés à 1 MJ d'énergie nucléaire Française ne sont en rien comparable avec ceux générés par 1 MJ d'énergie diesel). L'utilisation de cet indicateur (souvent utilisé dans les ACV les plus anciennes) ne s'avère donc intéressant que pour comparer les résultats d'une étude récente avec des travaux antérieurs (ce qui n'est pas le cas de cette ACV du désherbage urbain puisque la bibliographie est quasiment vierge sur le sujet). Si les auteurs souhaitent malgré tout maintenir cet indicateur nous recommandons d'ajouter une remarque précisant que cet indicateur n'est pas un indicateur d'impacts environnementaux et nous recommandons de ne pas l'intégrer dans les mêmes figures que les indicateurs d'impacts pour marquer cette différence et éviter de biaiser les interprétations.	L'indicateur est conservé car facilement compréhensible par des lecteurs non experts. Une justification sur sa pertinence a été ajoutée dans le paragraphe la décrivant : « cet indicateur n'est pas un indicateur d'impact mais un indicateur de flux. Cet indicateur permet néanmoins de réaliser des comparaisons puisque les techniques comparées font appel essentiellement à de l'énergie issue de ressources pétrolières »
28	Tableau 7	Indicateurs retenus	L'absence de l'indicateur « Ionizing radiation » (très important en France en raison du mix électrique essentiellement nucléaire) doit être justifié par une phrase précisant si les procédés mis en œuvre ne consomment pas ou peu d'électricité sur leur cycle de vie).	Ajout de la phrase : " Il est à noter que l'indicateur « Radiations ionisantes » (pertinent pour une étude dans le contexte français où le mix énergétique électrique est essentiellement à base de nucléaire) n'a pas été sélectionné car les procédés mis en œuvre ne consomment pas ou peu d'électricité au cours de leur cycle de vie." dans le paragraphe 2.6.4 <i>Catégories d'indicateurs étudiés</i> .
30	Tableau 8	Intitulé du tableau	Pour améliorer la compréhension, remplacer « C = Contraignant » par :	Modifié.

			C = seuil Contraignant MC = seuils Moins Contraignant	
32	Tableau 11,12 et 13		Ajouter une source bibliographique pour le classement des incertitudes (Simapro, weidema, Joliet ou autre ...).	Source ajoutée "Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators, WEIDEMA et al. 1996".
30	Chapitre 3	Modélisation du système : données et hypothèses	Ce chapitre, censé présenter la modélisation du système et l'inventaire (ICV) fait totalemtent l'impasse sur les flux entre la technosphère et l'écosphère alors qu'il s'agit du choix des hypothèses les plus importantes pour ce qui concerne le désherbage chimique principal objet de la comparaison avec les techniques alternatives. Il pourrait avantageusement être renommé « Inventaire du Cycle de Vie (ICV) : modélisation des systèmes, hypothèses, données d'ICV. » Il faut attendre la page 67 dans le chapitre 6.6 pour comprendre comment les émissions de pesticides dans les compartiments environnementaux (eau, air, sol) ont été modélisées en utilisant notamment des modèles d'émissions issus de l'outil PestLCI. Ce chapitre doit impérativement être décomposé en sous chapitres incluant : • Pour chacune des techniques, les paramètres clefs permettant de réaliser l'inventaire doivent être synthétisés (nombre de passage, rendement de chantier, pour le chimique dose appliquée versus dose homologuée, inventaire des flux technologiques respectifs (carburants, consommables ... Les informations contenues dans les tableaux du fichier excel « COMPAMED ZNA _Validation vitesses et intrants.xlsx » pourraient être ajoutées dans une annexe. • Inclure l'inventaire (ICV) des émissions de pesticides dans ce chapitre en le documentant avec précision (cf. les remarques suivantes concernant les pages 67 à 71) Une grande partie des informations d'ICV sont disponible dans le second rapport « Documentation de référence ». Il convient donc, soit de les regrouper, soit de fournir des références croisées entres rapports.	Afin de ne pas surcharger le rapport ACV, un tableau récapitulant où sont les informations dans le document "documentation outil" a été ajouté dans le corps du rapport ACV.

34 à 57	Chap. 5		Dans l'ensemble, ce chapitre est bien présenté et bien discuté. Précisons cependant qu'en raison de la difficulté de compréhension et les doutes sur la validité des hypothèses concernant les émissions de pesticides (cf. remarques sur le chap. 3 et 6.6), il est très difficile en l'état de porter un jugement sur ces résultats. La normalisation est le calcul de l'importance des résultats d'indicateurs de catégories par rapport à certaines informations de référence (ISO 14 044). Ce calcul est facultatif dans la norme ISO, et bien qu'il soit difficile à interpréter pour un non spécialiste de l'ACV, il peut s'avérer très intéressant pour les comparatifs de systèmes très contrastés en termes d'impacts comme ceux de cette étude. Il a l'avantage de rendre commensurable les impacts vis-à-vis de la référence retenue : dans le cas présent, une normalisation par rapport aux impacts moyens liées aux émissions ramenés à un habitant Européen sur un an. Bien que facultative dans la norme ACV, nous sommes favorable à la présence de cette figure normalisée (page 57) pour cette étude.	La figure normalisée à été mise à jour suite à la modification du modèle d'émissions dans le milieu.
67 à 71	§6.6	Devenir du phytosanitaire dans le milieu	L'utilisation partielle du modèle PestLCI pour réaliser l'inventaire (ICV) des émissions dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol) en ZNA nous paraît inadaptée pour plusieurs raisons: • les technologies utilisées en ZNA sont totalement différentes des technologies agricoles (notamment celles utilisées en grandes cultures) • la couverture végétale du sol est très différente entre agriculture et ZNA et donc l'évaluation de la part du produit qui atteint la cible (plantes) ou le sol est inadaptée (sauf peu être pour le désherbage en inter-rangs de maraichage si cette option existe dans PestLCI ?) • PestLCI propose un choix de sols afin d'évaluer les mécanismes de dégradation et de transferts entres compartiments environnementaux. Les types de sol proposés (sols agricoles) semblent totalement inadaptés à une évaluation en ZNA. Le sol retenu pour l'étude Evea est « Bare soil, pre-emergence » « conventional tillage » (sol dénudé, post levée, labour conventionnels). Il est probable dans ces conditions que les phénomènes comme le ruissèlement soient considérablement	Le modèle d'émission a été revu selon les recommandations de la revue critique. Il est présenté dans la documentation outil afin de ne pas déséquilibrer le rapport. Ce nouveau modèle prend en compte les différents paramètres : Type de sol (Perméable/imperméable) Type de matériel (Pulvé dos/DOE) Seuil d'intervention (Seuil contraignant/Seuil Moins contraignant)

			sous estimés par rapport à un sol urbain perméable (en général relativement compact avec une absorption très réduite par rapport à un sol labouré en post-levée) ou à fortiori par rapport à un sol imperméable ou la quasi totalité de ce qui est émis au sol peu potentiellement être lessivé. - Sauf erreur de ma part, les sorties du modèle PestLCI prévoient des émissions vers les eaux souterraines. Ce dernier compartiment n'existe pas comme compartiment d'entrée dans USEtox (seul existe le compartiment eaux de surface) ; comment avez vous géré cela ? - PestLCI prend en compte une dégradation (biologique et physico-chimique) dans les sols sur des temps de séjour longs (mois). Hors, à cette échelle spatiale et temporelle, celle ci est déjà intégrée dans le modèle USEtox entrainant un double comptage du devenir des pesticides (cf. schéma ci dessous et commentaire 3 en annexe).	Une justification sur les pré et post traitements a également été ajoutée dans le périmètre de l'étude. « Pour les techniques chimiques ont été considérées les « bonnes pratiques » d'usage en terme de remplissage et nettoyage de cuve et de gestion des EVPP (Emballages Vides de Produits Phytosanitaires) . » Une explication plus détaillée est intégrée dans la documentation de l'étude.
67 à 71	§6.6	Devenir du phytosanitaire dans le milieu	Il est indispensable d'ajouter au chapitre 3 une description détaillée et transparente des modèles d'émissions utilisés pour évaluer les émissions de pesticides dans l'eau, l'air et les sols: - Les figures 28 et 29 doivent clairement faire apparaître les frontières entre ce qui est considéré comme la technosphère et l'écosphère (avec les compartiments air, eau et sol de USEtox) La figures 28 ainsi que les hypothèses qui la sous-tendent doivent être déclinées à minima en plusieurs cas distincts : surfaces (perméables/imperméables) x Pulvérisateur (IR / à dos) x seuil d'intervention (contraignant, moins contraignant) ----- soit 2x2x2 = 8 cas. En effet :	

			○ Le type de surfaces (perméables/imperméables) joue un rôle essentiel sur le ruissèlement. Pour les surfaces imperméables, la part du produit qui atteint le sol a toutes les chances d'être entraîné, à terme lors d'un évènement pluvieux, par ruissèlement et la valeur proposée de 30% (Tableau page 71) paraît faible. ○ Le type de pulvérisateur (IR / à dos) a une incidence très importante sur la répartition sol/plante ○ le seuil d'intervention (contraignant, moins contraignant) a une incidence énorme sur la répartition (dans la zone traitée) de ce qui va au sol ou sur la plante. Notamment, lorsque les plantes sont petites et peu nombreuses (seuil contraignant) la valeur de 98% de la dose sur la plante paraît aberrante (voir remarque ci après) • Dans ce contexte, il pourrait n'y avoir qu'une seule figure 28 paramétré associé à un tableau fournissant les facteurs d'émissions pour les 8 combinaisons de cas. • Il semble que les étapes pré et post traitement (remplissage des cuves, préparation de la bouillie, rinçage des bidons des cuves et du pulvérisateur, fonds de cuves après traitement) n'aient pas été modélisées (hors c'est une source significative de contamination de l'eau, notamment en l'absence d'aire de remplissage/lavage des pulvérisateurs et de traitement adaptés des fonds de cuves). Si l'étude ne concerne que les bonnes pratiques (i.e. théoriques, souvent éloignées des pratiques réelles) il convient de le préciser clairement et de décrire ces pratiques et les technologies qui y sont associées (aires de remplissage, récupération des bidons usagés et traitement www.adivalor.fr/collectes/autres_emballages.html, gestion des fonds de cuves, etc.). Le rapport doit aussi inclure dans la modélisation ACV et les inventaires des systèmes technologiques nécessaires à la mise en œuvre de ces bonnes pratiques (si ils sont négligeables il convient de le justifier). • Dans les figures 28 et 29, respectivement 98% et 89% du volume de pesticide appliqué est censé atteindre la cible, c'est à dire les mauvaises herbes à traiter. Même avec des technologies sélectives (Pulvé DOE) ces valeurs semblent extrêmement élevées. Les photos ci-dessous de mauvaises herbes à traiter (sources Irstea et web) laisse à penser que la surface projetée des adventices relativement à la surface de sol traitée est très inférieure à 89-98% (pour les traitement à des stades végétatifs	
--	--	--	--	--

			moins avancés d'infestation, la surface apparente de sol est souvent prépondérante avec un pourcentage inversé). La surface minimale couverte en pulvé à dos ou en technique DOE (taille du « spot » de traitement) doit permettre d'estimer ce ratio de « surfaces projetées » plante/sol qui semble en l'état actuel incohérent tout particulièrement pour les seuils d'intervention exigeants (i.e. à des stades d'infestations faibles-moyens).  • Dans les figures 28 et 29, les flèches entres compartiment doivent mentionner les processus biophysiques représentés (lessivage, ruissellement, volatilisation, dérive, etc.).	
--	--	--	--	--

71	Tableau non numéroté		Les techniques chimiques sont tantôt appelées DOE (détection Optoélectroniques) tantôt IR (Infra Rouge ?). Il convient d'uniformiser la dénomination. Notons aussi plusieurs erreurs de frappe dans ce tableau : « Perméable » au lieu de « pulvérisateur à dos » ? (intitulé seconde ligne du tableau) ; Tx de phyto sur le « so » ... lire « sol » ?	Modifié.
67 à 71	Chap. 6.6	Devenir du phytosanitaire dans le milieu	Ce chapitre doit, en partie, être transféré dans le chapitre 3 décrivant comment est réalisé l'inventaire. Seule la partie « Analyse de sensibilité » doit être conservée dans ce chapitre. Notons que sur la figure 30 représentant l'analyse de sensibilité au ruissellement, la plage d'échelle de l'axe des ordonnées doit être modifiée pour mieux voir les variations.	L'analyse de sensibilité a été supprimée puisque le modèle a été modifié.
67 à 71	Chap. 6.6	Devenir du phytosanitaire dans le milieu Emissions dans l'eau	Les émissions dans le compartiment eau semblent largement sous estimées : voir Commentaire 4 en annexe concernant les émissions dans l'eau (ruissellement sur surfaces imperméables ou perméables compactées, lessivages de la part du produit qui atteint la plante, etc.). L'ordre de grandeur des émissions dans l'air (1%) semble cohérent dans la mesure où les technologies utilisées en désherbage génèrent très peu de dérive (essentiellement pour ne pas traiter des zones de végétation non souhaitées).	L'analyse de sensibilité a été supprimée puisque le modèle a été modifié.
72 à 75	Chap. 7	Analyse d'incertitude	L'analyse d'incertitude montre sans ambiguïté que les techniques « pesticides » sont systématiquement plus impactantes en écotoxicité et cela malgré les niveaux d'incertitudes plus impactantes que les autres techniques. La réciproque est vraie : les autres techniques sont systématiquement plus impactantes que le chimique pour toutes les autres catégories d'impacts. Par contre, les explications page 72 (3^{ème} paragraphe) sur les calculs réalisés sont à simplifier sur la forme afin de les rendre plus accessibles au lecteur non spécialiste.	Une nouvelle rédaction de ce paragraphe a été proposée. Nous avons néanmoins conscience que cette partie peut s'avérer plutôt obscure au lecteur non averti.

76	Conclusion	Les conclusions semblent bien écrites et il est difficile de départager clairement entre « le mécanique » et « le chimique » en l'état actuel de l'étude (cf. remarques sur l'inventaire des émissions de pesticides). La normalisation des résultats page 56-57 aurait pu apporter un élément de réponse pour « départager » l'écotoxicité associée au chimique versus toutes les autres catégories d'impacts, mais ce n'est pas le cas en l'état actuel de la modélisation. Il est dit page 76 : <i>La technique « brosseuse » génère une quantité de limaille non négligeable (et par ailleurs mal estimée) qui induit un impact environnemental important de cette technique sur l'indicateur « épuisement des ressources ».</i> Question : outre l'épuisement de ressources, est ce que cette limaille ne devrait pas être émise vers les sols (et pour partie vers l'eau à travers le ruissellement pluviale) ? à discuter dans le document.	La normalisation ne permet pas de « départager » sur l'importance relative entre d'une part l'écotoxicité associée aux techniques chimique et d'autre part les impacts associés aux techniques alternatives. Dans le modèle utilisé la limaille est émise vers le sol à 100%.
		Dans la conclusion du rapport, il serait souhaitable d'ouvrir les perspectives de progrès au-delà du strict comparatif de techniques de désherbages. En effet, il existe des marges de progrès très importantes pour réduire les impacts potentiels liées au désherbage en ZNA sans nécessairement mettre en œuvre des technologies alternatives aux traitements chimique, notamment : 1. Modifier la tolérance du public envers les adventices (aspects sociologiques, pédagogiques et citoyens) pouvant aller jusqu'au « non désherbage » de certaines zones urbaines 2. Sachant que l'un des paramètre principal de l'efficience environnementale st le nombre de passages, passer d'un désherbage « planifié » à un désherbage « raisonné » en prenant en compte l'évolution de la flore réellement présente sur le site considéré et en	Ces questions ont vocation à être abordées sur la plateforme internet du projet Compamed ZNA. Toutefois, pour prolonger logiquement la conclusion de cette étude ACV sur la comparaison des techniques, un paragraphe intitulé « Que conclure de cette étude environnementale sur la comparaison des méthodes de désherbage » a été ajouté dans le paragraphe de conclusion.

			modulant les exigences suivant les zones urbaines ou périurbaines considérées 3. Mettre en œuvre des bonnes pratiques permettant de limiter les pollutions ponctuelles et diffuses (respect des ZNT, utilisation d'un matériel d'application approprié, entretenu et correctement réglé, récupération et traitement des effluents phytosanitaires, formation du personnel, ...)	
--	--	--	---	--

ANNEXE revue critique :

Préambule

La présente revue critique a été réalisée par Philippe ROUX, ingénieur à Irstea, Etablissement Public Scientifique et Technique (www.irstea.fr). L'objectif de cette revue est conforme aux principes de la norme ISO 14040 et aux exigences de la norme ISO 14044 c'est-à-dire qu'elle doit s'assurer que la méthodologie et les données utilisées sont en adéquation avec les objectifs de l'étude et sont conformes aux principes de l'ACV. **La présente vérification a porté exclusivement sur l'analyse du rapport d'ACV** fourni à Irstea par EVEA (version du 8 oct. 2013) et pas sur les fichiers et données informatiques telles qu'elles ont pu être modélisées et saisies dans le logiciel SimaPro\ qui a été utilisé pour cette étude.

Commentaire - 1

Commentaires concernant l'ajout d'un paragraphe « **Limites des approches ACV et complémentarités avec d'autres approches** » (en **1.3** ou en 2.6.3, à côté du paragraphe « limites de l'étude ») :

L'objectif premier de l'ACV est l'évaluation de TOUS les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service assurant une fonction:

- Tout au long de leur cycle de vie
- En envisageant tous les impacts intégrés dans l'espace (la planète) et dans le temps (à 20, 100, 500 ans ou l'infini)

Cette approche permet d'identifier d'éventuels transferts de pollution entre compartiments environnementaux et étapes du cycle de vie, mais cette exigence de globalité implique pour sa faisabilité un certain nombre de simplifications. Au niveau de chaque site (cf. figure ci-dessous) la succession éventuelle d'impacts à partir d'une émission est agrégée (ou intégrée) dans l'espace (i.e. les différents sites du cycle de vie) et le temps, puis agrégés en une valeur unique d'impact pour chaque catégorie d'impact. On comprend donc sur cette Figure que la prise en compte de la sensibilité et la spécificité locale des milieux récepteurs des impacts est difficilement réalisable et n'est généralement pas réalisée. On dit que l'ACV a vocation à évaluer la capacité d'un système à causer des effets indésirables pour l'environnement (impacts potentiels) plutôt que la réalisation réelle de ces effets dans un environnement parfaitement identifié et spécifié (impacts réels).

Les forces et faiblesses des différents modes de désherbage présentés dans l'étude EVEA doivent donc impérativement être interprétées à la lumière de cette remarque préalable, c'est-à-dire sans aucune estimation possible du risque de réalisation des impacts potentiels mis en évidence dans les bilans environnementaux. Rappelons pour finir que des approches plus localisées (étude des « risques opérateurs », étude locale des « risques voisinage » ou « étude d'impact locale » pour un site spécifique) peuvent fournir des informations complémentaires à l'approche l'ACV.

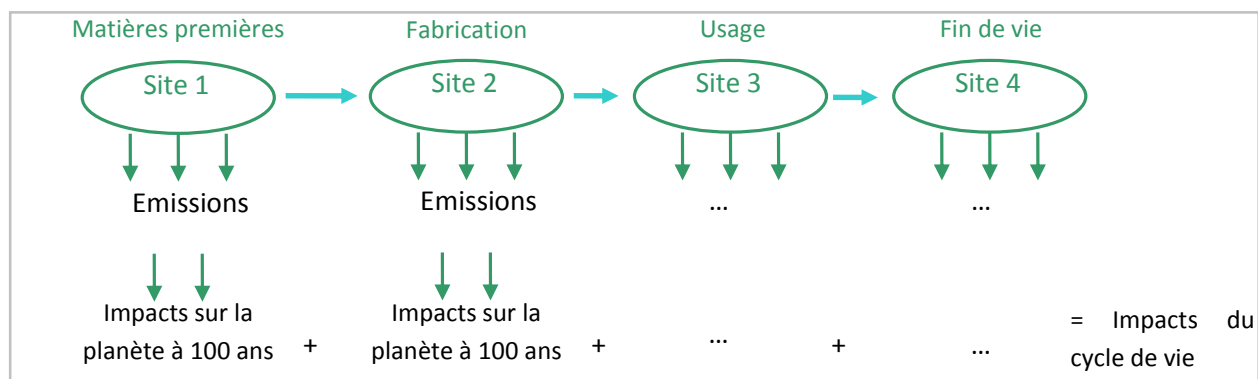


Figure 37

Commentaire - 2

L'étude d'observation des pratiques de désherbage en ZNA a utilisé un indice « d'Intensité de Gestion déclarée (IGd) » comportant 3 classes : Extensif, Intermédiaire, Intensif. Le rapport d'octobre 2012 a montré (figure 7, page 27) que 70% à 80% des interventions les plus courantes sont intensives ou intermédiaires (sauf aux abords de points d'eaux ou en limites de parcelles : canal, accotement, bassin, clôtures).

Ceci confirme les observations plus anciennes qui ont observées deux grands types de pratiques de désherbage en ZNA :

- Un désherbage que l'on pourrait nommer « calendaire », planifié à priori pendant les 6-8 mois d'infestation potentielle. Celui-ci **ne prend pas ou peu en compte l'envahissement réel** de l'espace par les mauvaises herbes (Ceci est fréquemment le cas lorsque le désherbage est sous traitée par la collectivité à une société de service et il aurait été intéressant d'analyser pour ces cas ce qui est spécifié dans les contrats passés par les collectivités à leur sous traitants).
- Un désherbage « raisonné » **tendant à prendre en compte l'évolution de la flore** réellement présente sur le site considéré (basé sur des observations qualitatives et quantitatives permettant de définir un seuil d'intervention).

Le développement des pratiques raisonnées nécessite la définition de seuils d'interventions qui sont non seulement établis en fonction du degré d'envahissement de l'espace par les mauvaises herbes et de leur type, mais aussi par les caractéristiques du site lui-même et par son emplacement dans la cité. Ainsi les exigences en terme de désherbage pour une zone de centre ville sont en général beaucoup plus élevées que pour une zone résidentielle ou à fortiori pour une zone industrielle. Ceci est directement lié au fait que la **tolérance du public** (i.e. la demande sociale) envers les mauvaises herbes n'est pas la même pour tous ces lieux (du cimetière à la rue en passant par les espaces verts). Pour un même lieu, elle n'est d'ailleurs pas la même suivant que l'on se trouve en bord de route, sur le trottoir, un chemin, le long d'un mur, dans un caniveau, une cuvette d'arbre, ... suivant aussi que le revêtement est imperméable ou poreux, et enfin suivant le type et la hauteur de la végétation considérée. Cette tolérance du publique aux adventices est aussi susceptible d'évoluer fortement, soit du fait de la prise de conscience environnementale grandissante, soit sur la base d'actions de sensibilisation ciblées.

Le déclenchement raisonné d'un traitement nécessite donc une **interprétation des jugements exprimés** par le public et/ou les gestionnaires et donc une quantification des niveaux d'enherbement présents sur un type de site donné. Le seuil de déclenchement est, dans ce contexte, très variable suivant les communes et il est absent lorsqu'un désherbage « calendaire » est pratiqué.

Commentaire - 3

Une réunion internationale a eut lieu en marge de la 23^{ème} conférence SETAC 2013 de Glasgow. L'intitulé de cette réunion était « Glasgow consensus on the delimitation between life cycle inventory and impact assessment for LCA with pesticide use ». L'objet était de définir les limites dans l'espace et dans le temps entre l'inventaire (ICV) des émissions dans l'eau, l'air et les sols et ce qui est déjà pris en compte dans les modèles d'impacts (LCIA, type Usetox) en terme de prise en compte du devenir des substances et de leurs transferts d'un compartiment à un autre.

Les principales conclusions de cette réunion sont en cours de rédaction (il feront l'objet d'une communication), mais ils peuvent se résumer à :

- For pesticides application, the inventory/practitioner should report the following information:
 - Pesticide (CAS registry numbers and names of active ingredients per applied plant protection product)
 - Crop
 - Mass applied per active ingredient
 - Application method or formulation type
 - Location/country (which identifies a default local scenario/site incl. climate, soil conditions, present compartments, ...)
 - Application time in days before harvest or crop growth stage during application
 - Good/average agricultural practice scenario (with adjustable parameters including pre- and post-treatment pesticide flows)?
- We recommend the explicit reporting of “emission fractions to primary compartments” from the applied mass based on models and/or measurements with some mass fractions going directly to:
 - On-field:
 - **Soil surface layer** (xxx cm),
 - Paddy water layer (e.g. for paddy rice, 2.5-15 cm),
 - Field crop (excluding plant deposit)
 - Off-field:
 - Air (via volatilization on-field and wind drift, fraction not deposited close to the field),
 - Surface water (via spray drift deposition, excluding run-off),
 - Soil (distinguishing types [natural, industrial, agricultural, etc.] if possible)
 - The “emission fractions to primary compartments” should always sum up to 100%.
- Care should be taken to **avoid double counting between the multimedia transfers of these emission fractions** and **the impact assessment** fate model, thus the choice to only have the emission to primary compartments in the inventory and subsequent transfers considered in the impact assessment.

Nous attirons donc l'attention sur le fait que le modèle PestLCI inclus un modèle de dégradation dans le sol (profondeur 1 m) sur des durées longues (mois) qui peu entrainer un double comptage vis à vis du modèle de devenir (Fate en anglais) inclus dans le modèle Usetox (c'est à dire un double comptage de la dégradation des pesticides réduisant considérablement leurs impacts potentiels).

Notons aussi qu'une publication³³ sur ces question a été soumise à la revue Chemosphere (www.journals.elsevier.com/chemosphere/). Cette publication est en cours de révisions mineures et devrait être disponible prochainement). Elle propose le cadre décrit ci dessous pour évaluer les émissions de pesticides :

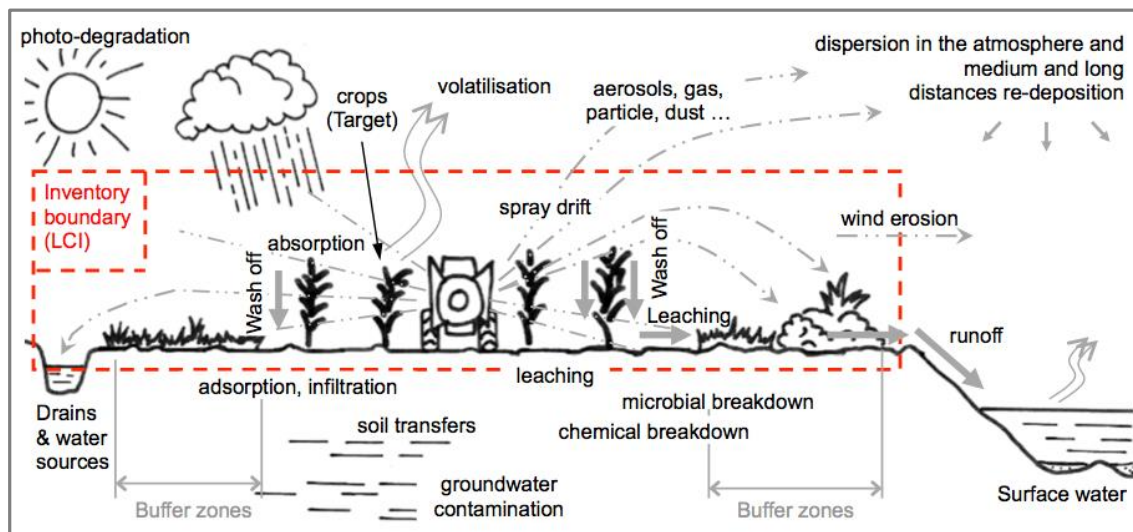


Figure 38 : Phénomènes associés aux émissions de pesticides (Source Irstea)

³³ Bridging the gap between Life Cycle Inventory and Impact Assessment for toxicological assessments of pesticides used in crop production, Rosalie van Zelm, Pyrène Larrey-Lassalle, Philippe Roux, submitted in July 2013, minor revisions under evaluation.

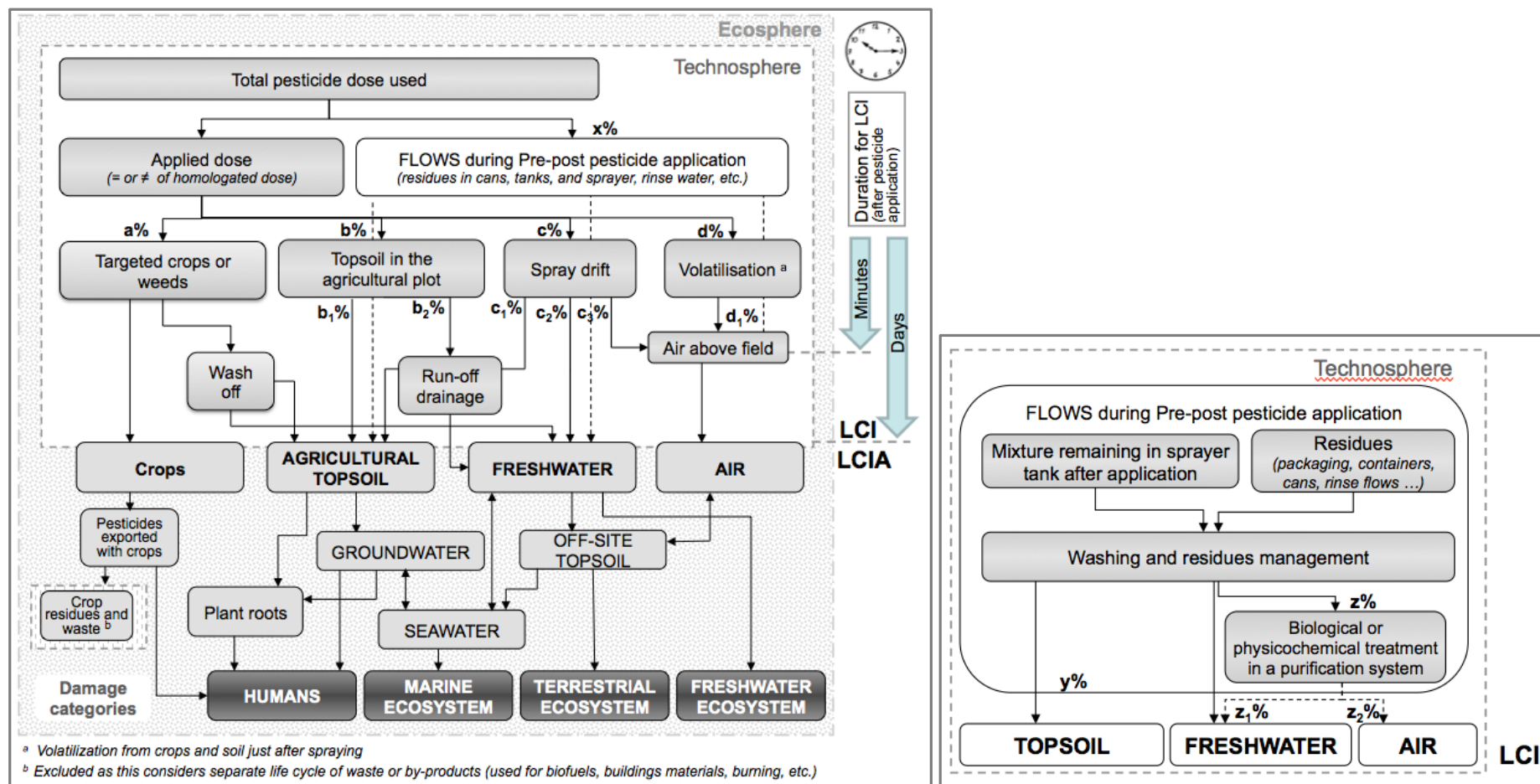


Figure 39 : Proposition méthodologique pour réaliser l'inventaire des émissions assurant une cohérence entre inventaire (LCI) et évaluation des impacts (LCIA)

Commentaires concernant les émissions dans l'eau :

Irstea a apporté à plusieurs reprises son expertise scientifique et technique sur ce sujet à l'occasion de plusieurs études passées. Le commentaire ci dessous est basé sur une bibliographie qui date maintenant de quelques années. Il conviendrait de la mettre à jour à la lumière des résultats scientifiques les plus récents.

Une partie du produit émis vers le sol peut aussi se retrouver dans l'eau par infiltration ou ruissèlement de surface ou hypodermique (voir réf. [2]) ainsi que via les réseaux urbains de collecte des eaux usées et pluviales (ainsi que les réseaux de drainage divers). Ces phénomènes sont tributaires de facteurs pédologiques, topographiques et climatiques. Les données quantitatives sur le sujet spécifiques aux ZNA sont rares. Par exemple, une étude conduite en 2005 dans le domaine agricole conduite par le projet LIFE SWAP-CPP (source [3]) estime le rapport [émissions dans l'eau]/[apports] mesurés sur 2 bassins versants entre 0.40% et 2.25%)³⁴. L'une des rares études sur le sujet³⁵ appliquée aux zones non agricoles (réf. [5] et [6]) propose une **valeur de 3.3%** du pourcentage de la quantité utilisée sur le bassin versant exporté à l'aval. Cette valeur totalise le Glyphosate avec la substance AMPA de biodégradation de celui-ci. **Cette valeur d'émission dans l'eau issue de la littérature scientifique (3.3% de la dose appliquée) est trois fois plus importante que la valeur de 1% proposée dans le rapport d'ACV d'Evea (Figure 28, page 68).** Une bibliographie réactualisée sur ce sujet semble indispensable pour consolider les chiffres d'émissions vers l'eau.

D'autre part, dans le schéma proposé par Evea (Figure 28, page 68) la part du produit qui atteint la plante est considéré comme réémis dans le sol sous forme d'Empa. Cette approche nous semble tout à fait cohérente dans la mesure où elle permet de boucler le bilan matière entre la dose appliquée et ce qui est émis dans l'environnement. **Nous souhaitons cependant attirer l'attention sur le fait qu'il existe aussi un risque important de lessivage du glyphosate sur la plante** (du fait de sa grande solubilité dans l'eau) si pour des raisons physiologiques le glyphosate ne pénètre pas rapidement dans la plante. Le flux de produit potentiellement lessivé de la plante est dans ce contexte difficile à évaluer. A dire d'experts, il a été constaté en usages agricoles que jusqu'à 50% de la dose ayant atteint la cible pouvait être lessivée dans le cas d'une pluie ayant lieu les jours suivant le traitement. Ceci est vrai particulièrement pour les produits de contact. Les produits systémiques comme le glyphosate pénètrent rapidement à l'intérieur de la plante si celle-ci n'est pas en stress hydrique, ce qui réduit d'autant la quantité potentiellement disponible pour un lessivage par la pluie. L'hypothèse de 50% lessivé en cas de pluie est donc fortement conservatrice pour un produit systémique. En l'absence de nouvelles études permettant de mieux quantifier ce phénomène (biblio à actualiser), il serait envisageable en première approximation de combiner une probabilité d'occurrence de pluie dans les jours suivant le traitement (par exemple 1 chance sur 3 de pluie

³⁴ Précisons pour mémoire que le Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème – Hydrosystème (LISHA) - <http://www.umn-lisah.fr/> de Montpellier a aussi travaillé sur le sujet pour les zones agricoles (voir référence [4])

³⁵ Voir <http://www.ecologie.gouv.fr/Utilisation-et-transfert-de.html>

= 33%) avec une réduction de moitié (pour les produits systémiques) de la quantité lessivés (estimée à 50% de la dose ayant atteint la cible) en cas de pluie ; soit en première approximation $(50\% \text{ de la dose appliquée} / 2) \times (33\%) = 8\% \text{ de ce qui atteint la plante réémit dans l'eau par lessivage}$, le reste étant émis dans les sols tel que fait actuellement dans l'étude Evea.'

Commentaire - 5

Des travaux scientifiques s'étalant sur ces dernières années (cf. références [7] à [17] en annexe) ont mis en évidence que les risques de toxicité humaine ou d'écotoxicité liés au glyphosate pouvaient être amplifiés par les adjuvants (en général des surfactants³⁶) entrant dans la composition des formulations commerciales. Il apparaît que, outre la toxicité intrinsèque de chacun des produits ajoutés, leur mélange avec le glyphosate rend l'ensemble généralement encore plus nuisible³⁷. Si ces résultats sont confirmés, il est probable que les facteurs de caractérisation en ACV des mélanges de substances concernées soient à terme revus à la hausse pour différentes catégories d'impacts.

Bibliographie

- [1] ADIVALOR³⁸ - Filière française de gestion des déchets de l'agro-fourmiture - Rapport d'activité 2006 (40 p.) et 2007 (40 p.) - <http://www.adivalor.fr/ADIVALOR/telechargement-rapport.html>
- [2] CORPEN - Désherbage - Eléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires (1999)
- [3] P. Hennebert¹, N. Clarin, G. Pottecher, F. Foesser, H. Groff - Ruissellement de 42 pesticides en vigne en Champagne en 2005 et proposition d'actions agro-environnementales – projet LIFE SWAP-CPP
- [4] P. Andrieux, X. Louchart, S. Negro, B. Cambon et M. Voltz – Influence des pratiques d'entretien du sol viticole sur les transferts de Glyphosate et d'Ampa par ruissellement. Trois années d'expérimentation – Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, AFPP – Vingtième conférence du Columa, Dijon, 11 et 12 décembre 2007
- [5] Jean-Marie MOUCHEL, CEREVE-ENPC - Utilisation et transfert de produits phytosanitaires dans un bassin versant urbanisé - <http://www.ecologie.gouv.fr/Utilisation-et-transfert-de.html>
Ce travail a fait l'objet de plusieurs rapports de DEA, Master et DESS, à la fois sur ses aspects techniques et sociologiques :
- Cynthia VANDENBOSCH : "Etude des flux de phytosanitaires dans un bassin versant urbain", DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, ENPC, 2000.

³⁶ NaOH base, IPA, IPAG, and polyoxyethyleneamine (POEA) ...

³⁷ Outre l'effet des surfactants sur la taille des gouttes pulvérisées, la couverture (effet « mouillage ») de la surface foliaire ainsi que la pénétration dans les cellules des plantes est généralement amélioré par les adjuvants (donc probablement l'efficacité destructive du produit sur les adventices), mais l'éco-toxicité l'est aussi probablement dans des proportions comparables (facilitation de pénétration dans les cellules des organismes)

³⁸ ADIVALOR : AGRICULTEURS, DISTRIBUTEURS, INDUSTRIELS POUR LA VALORISATION DES DECHETS AGRICOLES : http://www.adivalor.fr/collectes/gros_bidons.html

- Ines RODRIGUES : "Utilisation et flux de produits phytosanitaires dans le bassin du ru de la Fontaine des Bordes", DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, ENPC, 2001.
 - Carine BOURNY : "Modélisation du transfert des produits phytosanitaires en milieu urbain", DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, ENPC, 2001.
 - Bruno BARROCA : "Mise en forme d'un système d'information géographique pour l'étude du transfert des pesticides en milieu urbain. DEA SIG, UMLV, 2002.
 - Olivier De SORAS : "Sociologie des produits phytosanitaires en milieu urbain : d'une préoccupation des champs à l'innovation des villes ?". Mastère Management Public et Maîtrise Technique, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2002.

- [6] Blanchoud, H., Farrugia, F., Mouchel, J.M. - Pesticide uses and transfers in urbanised catchments - (2004) *Chemosphere*, 55 (6), pp. 905-913.
- [7] Vera, M.S., Di Fiori, E., Lagomarsino, L., Sinistro, R., Escaray, R., Iummato, M.M., Juárez, A., De Molina, M.D.C.R., Tell, G., Pizarro, H., Direct and indirect effects of the glyphosate formulation Glifosato Atanor® on freshwater microbial communities, (2012) *Ecotoxicology*, 21 (7), pp. 1805-1816.
- [8] Moore, L.J., Fuentes, L., Rodgers, J.H., Bowerman, W.W., Yarrow, G.K., Chao, W.Y., Bridges Jr., W.C., Relative toxicity of the components of the original formulation of Roundup® to five North American anurans, (2012) *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78, pp. 128-133.
- [9] Sribanditmongkol, P., Jutavijittum, P., Pongraveevongsa, P., Wunnakup, K., Durongkadech, P. Pathological and toxicological findings in glyphosate-surfactant herbicide fatality: A case report, (2012) *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 33 (3), pp. 234-237.
- [10] Seok, S.-J., Park, J.-S., Hong, J.-R., Gil, H.-W., Yang, J.-O., Lee, E.-Y., Song, H.-Y., Hong, S.-Y., Surfactant volume is an essential element in human toxicity in acute glyphosate herbicide intoxication, (2011) *Clinical Toxicology*, 49 (10), pp. 892-899.
- [11] Paganelli, A., Gnazzo, V., Acosta, H., López, S.L., Carrasco, A.E., Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signalling, (2010) *Chemical Research in Toxicology*, 23 (10), pp. 1586-1595.
- [12] Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M.-C., Séralini, G.-E., Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines, (2009) *Toxicology*, 262 (3), pp. 184-191.
- [13] Benachour, N., Séralini, G.-E., Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells, (2009) *Chemical Research in Toxicology*, 22 (1), pp. 97-105.
- [14] Lee, H.-L., Kan, C.-D., Tsai, C.-L., Liou, M.-J., Guo, H.-R., Comparative effects of the formulation of glyphosate-surfactant herbicides on hemodynamics in swine, (2009) *Clinical Toxicology*, 47 (7), pp. 651-658.
- [15] Benachour, N., Sipahutar, H., Moslemi, S., Gasnier, C., Traver, C., Séralini, G.E., Time- and dose-dependent effects of roundup on human embryonic and placental cells, (2007) *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53 (1), pp. 126-133
- [16] Van Zelm, R., Huijbregts, M.A.J., Van de Meent, D., 2010. Transformation products in the life cycle impact assessment of pesticides. *Environ Sci Technol* 44, 1004-1009.
- [17] Van Zelm, R., Stam, G., Huijbregts, M.A.J., Van de Meent, D., 2013. Making fate and exposure models for freshwater ecotoxicity in life cycle assessment suitable for organic acids and bases. *Chemosphere* 90, 312-317.

VALIDATION DE REVUE CRITIQUE

Rapports

- *Comparaison des méthodes de désherbage en ZNA – Analyse du cycle de vie comparative des techniques de désherbage en zones non agricoles. Rapport Compamed ZNA. EVEA, Décembre 2013.*
- *Comparaison des méthodes de désherbage en ZNA – Documentation technique : ACV et outil d'auto-évaluation. Rapport Compamed ZNA. EVEA, Décembre 2013.*

Le comité de revue critique

Philippe Roux (Irstea), Eric Thybaud (Ineris), Gérard Pidoux (Forêt Assistance)

Date de rédaction

19 décembre 2013.

Avis général

La revue critique s'est déroulée de février à avril 2013. Le processus de revue critique a permis au comité de revue critique de constater que l'étude ACV satisfait aux exigences de méthodologie, de données, d'interprétation, et de communication. Notamment :

- Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont cohérentes avec les normes ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006 ;
- Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont valables d'un point de vue scientifique et technique ;
- Les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude ;
- Le rapport d'étude est transparent et cohérent ;
- Les interprétations reflètent les limites identifiées et les objectifs de l'étude.

La revue critique ainsi que les réponses apportées par les auteurs apparaissent en annexe du rapport. Les dernières versions modifiées des rapports d'étude intègrent bien les principales recommandations proposées par le comité de revue critique. Nous attirons l'attention des parties prenantes sur la nécessité d'une juste et prudente interprétation des résultats au regard du cadre global du projet Compamed ZNA, et à la lumière de l'ensemble des résultats de ce projet.

Rappelons pour finir que la vérification a porté exclusivement sur l'analyse des rapports fournis au comité de revue par Evea et non sur les fichiers et données informatiques telles qu'elles ont pu être modélisées et saisies dans le logiciel d'ACV Simapro qui a été utilisé pour cette étude.

Pour le comité de revue critique, le 14 février 2014 :

Philippe Roux
Ingénieur de Recherche Irstea

1/2

PR

Réponses aux questions posées par la revue critique d'après la norme ISO 14044 :2006.

Question	Avis du comité de revue critique	Commentaire
Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont cohérentes avec les normes ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006 ?	Oui	RAS
Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont valables d'un point de vue scientifique et technique ?	Oui	RAS
Les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude ?	Oui	RAS
Le rapport d'étude est transparent et cohérent ?	Oui	RAS

Réponses aux questions posées par la revue critique d'après la norme ISO 14040 :2006.

Question	Avis du comité de revue critique	Commentaire
L'ACV satisfait aux exigences de méthodologie ?	Oui	RAS
L'ACV satisfait aux exigences de données ?	Oui	Les données utilisées pour cette ACV sont globalement de bonne qualité dans la mesure où cette ACV est intégrée dans un projet de R&D dans lequel des expérimentation réelles ont été réalisées (données majoritairement de « première main »).
L'ACV satisfait aux exigences d'interprétation ?	Oui	Attention cependant, aux risques de mauvaise interprétation liés au type de comparaison réalisées, à savoir avec un seuil de déclenchement des traitement commun à toutes les techniques de désherbages (ce qui n'est pas forcément le cas dans la réalité des pratiques de terrain). Cette hypothèse, indispensable à la définition d'une unité fonctionnelle comparative pourrait induire des interprétations abusives pour les personnes qui auraient une lecture trop rapide du document.
L'ACV satisfait aux exigences de communication (rapport) ?	Oui	RAS

Ph. Roux

