

CompamedZNA

COMPARAISON des METHODES de Désherbage en Zones Non Agricoles



ACV COMPARATIVE DES TECHNIQUES DE DESHERBAGE EN ZNA

SYNTHESE



Janvier 2014

Financé par



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 :



MAIRIE DE PARIS



VERSAILLES

ET LE SOUTIEN DE :



SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	5
GLOSSAIRE	6
I. INTRODUCTION	8
II. PRESENTATION DES TECHNIQUES COMPAREES	9
III. METHODE POUR L'ACV	11
IV. ACV COMPARATIVE D'APRES LES DONNEES EXPERIMENTALES	13
1. Périmètre et unité fonctionnelle	13
2. Définition des seuils	13
3. Données pour la comparaison des techniques : rendements, consommation, et nombres de passages	14
4. Résultats de l'ACV comparative	16
5. Analyses de contribution et analyses de sensibilité	20
V. OUTIL D'AUTO-EVALUATION ET ACV COMPARATIVE D'APRES LES DONNEES DE L'OBSERVATOIRE	25
1. Périmètre et unité fonctionnelle	25
2. Données pour la comparaison des techniques : rendements, consommation, et nombres de passages	25
3. Résultats de l'ACV comparative avec les valeurs de l'observatoire	27
VI. CONCLUSION GENERALE	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1. type de sites étudiés : sol imperméable et sol perméable	14
Figure 2. Résultats de l'évaluation comparative des techniques (sol perméable, seuil moins contraignant)	18
Figure 3. Résultats de l'évaluation comparative de techniques pour les 4 modalités type de sols/seuils de déclenchement	19
Figure 4. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique (kg CO ₂ éq.)	20
Figure 5. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources (kg Sb éq.)	21
Figure 6. Analyse de contribution des substances chimiques sur l'indicateur écotoxicité	22
Figure 7. Résultats de l'analyse de sensibilité sur la technique gaz	23
Figure 8. Comparaison des résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Techniques étudiées dans l'ACV comparative	9
Tableau 2. Indicateurs pour le calcul de l'ACV	11
Tableau 3. Description des indicateurs utilisés pour l'évaluation environnementale	12
Tableau 4. Description du seuil d'intervention contraignant	14
Tableau 5. Description du seuil d'intervention moins contraignant	14
Tableau 6. Rendements et quantités de consommables utilisés dans la modélisation	15
Tableau 7. Nombres de passages annuels relevés pour chaque technique	16
Tableau 8. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques (sol imperméable, seuil moins contraignant)	18
Tableau 9. Résultats chiffrés de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique	20
Tableau 10. Nombre de passages pris en compte pour la modalité gaz pour l'analyse de sensibilité	23
Tableau 11. Valeurs des paramètres de rendements et consommations tirées de l'observatoire	26
Tableau 12. Résultats de l'ACV comparative avec les données de l'observatoire	27

GLOSSAIRE

ACV	Analyse du Cycle de Vie
C	Seuil (de déclenchement) contraignant
DOE	Détection opto-électronique
EPI	Equipement de Protection Individuelle (tout équipement destiné à la protection de l'applicateur : gants, masque, chaussures de sécurité, etc.)
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.
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)	<p>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>)</p> <p>Dans le cadre de Compamed ZNA, nous retenons la définition suivante :</p> <p><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.</p>
PE	Polyéthylène
PC	Polycarbonate
Pollution	<p>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>)</p> <p>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>)</p> <p><u>NB</u> : il convient de différencier pollution et contamination qui sont souvent confondus et employés l'un pour l'autre.</p>
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

I. INTRODUCTION

Ce document constitue une synthèse générale de l'ACV comparative des techniques¹ de désherbage en zone non agricole (ZNA). Cette synthèse porte sur l'ensemble des deux rapports complémentaires référencés ci-dessous :

[Rapport 1] *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.*

[Rapport 2] *Comparaison des méthodes de désherbage en ZNA – Documentation technique : ACV et outil d'auto-évaluation. Rapport Compamed ZNA, 102 pages. EVEA, Décembre 2013.*

Cette synthèse vise à proposer une lecture rapide permettant d'accéder plus aisément aux résultats des travaux de l'évaluation environnementale du projet Compamed ZNA. Toutefois, elle ne dispense pas de la lecture des rapports originaux pour une compréhension pleine et entière des résultats et des interprétations que l'on peut en faire.

Cette synthèse est structurée en 2 parties, chacune consacrée respectivement à l'un des deux rapports :

- La première partie est consacrée à l'ACV comparative des techniques d'après les données expérimentales obtenues dans l'Action 1.
- La deuxième partie est consacrée à l'ACV comparative des techniques d'après des données tirées de l'observatoire (Action 2), et reprise dans l'outil d'auto-évaluation.

Une conclusion générale permet de faire une synthèse des 2 parties.

L'articulation des deux rapports est décrite en détail en avant-propos de chacun des rapports. Le [rapport 1] « ACV comparative » ne peut être dissocié du [rapport 2] « Documentation technique », car ce dernier reprend la majeure partie des hypothèses qui structure l'ACV. Toutefois, il est important de préciser que les ACV basées sur les données expérimentales ne peuvent être comparées avec les ACV réalisées avec l'outil d'auto-évaluation car les unités fonctionnelles (UF) ne sont pas les mêmes (voir les UF respectives dans chacune des parties) :

- Dans l'ACV comparative d'après les données tirées de l'expérimentation, la comparaison est basée sur une équivalence quant aux objectifs de performance des différentes techniques (comparaison à performance identique).
- Dans l'ACV comparative d'après les données issues de l'observatoire (et issue de l'outil d'auto-évaluation), la comparaison est basée sur des scénarios réalisés pour la mise en œuvre de plans de désherbage, sans que les seuils de déclenchement ni la performance obtenue ne soient forcément identiques.

¹ 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 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.

II. PRESENTATION DES TECHNIQUES COMPAREES

Les techniques étudiées dans le cadre de Compamed ZNA et ayant fait l'objet de l'ACV sont présentées dans le tableau ci-dessous. Trois grandes familles de techniques sont représentées : les techniques chimiques, les techniques thermiques, et les techniques mécaniques.

Certaines techniques complémentaires, relevées dans le cadre de l'observatoire (Action 2) peuvent être modélisées dans l'outil (cf. [Rapport 2]).

Tableau 1. Techniques étudiées dans l'ACV comparative

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

	<p>Pulvérisateur à dos</p>	<p>Réservoir d'une vingtaine de litres, lance permettant une application au sol sans se baisser.</p>
	<p>Pulvérisateur à Détection Opto-électronique (DOE)</p>	<p>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)</p>

[GAZ] Technique thermique gaz

	<p>Lance sur chariot tracté</p>	<p>Bouteille de gaz (13kg) installée sur un chariot; manipulé par un agent seul.</p>
--	---------------------------------	--

III. METHODE POUR L'ACV

L'ACV a été réalisée avec le logiciel SimaPro (version 7) faisant appel à la base de données Ecoinvent (version 2). Les indicateurs utilisés pour l'évaluation, et les méthodes y afférentes, sont récapitulés dans le tableau 2 ci-dessous. Par ailleurs, une explication succincte de la signification des indicateurs est apportée dans le tableau 3 suivant.

Tableau 2. Indicateurs utilisés pour le calcul de l'ACV

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

Tableau 3. Description des indicateurs utilisés pour l'évaluation environnementale

INDICATEURS	DESCRIPTION
Energie 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.
Création d'ozone 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).
Ecotoxicité 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.)
Epuisement 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 cancérigènes sont distingués des effets non cancérigènes.

IV. ACV COMPARATIVE D'APRES LES DONNEES EXPERIMENTALES

1. Périmètre et unité fonctionnelle

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 :

- Matières premières : matières nécessaires à la fabrication des matériels et des consommables pour la mise en œuvre des techniques
- Production : fabrication des matériels et consommables
- Application : mise en œuvre des techniques pour le désherbage en ZNA, y compris le transport des hommes et des matériels sur site
- Fin de vie : élimination et recyclage des matériels et déchets de consommables liés à la mise en œuvre des techniques

L'ensemble des données et hypothèses utilisées pour la modélisation du système est disponible dans le [Rapport 2]. Le lecteur est invité à s'y référer.

L'unité fonctionnelle définie pour l'ACV comparative des techniques de désherbage d'après les données expérimentales du Cetev (cf. les rapports de l'expérimentation) 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 d'intervention quantifié (seuil contraignant ou seuil moins contraignant). »

Cette UF permet de comparer les techniques entre elles sur une base objective (objectif de performance identique).

2. Définition des seuils

Lors de l'expérimentation menée par le Cetev, chacune des techniques a été testée durant une année sur deux types de sols différents (illustrés sur la fig. 1 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.

Par ailleurs, chacune des techniques a été testée durant une année pour deux seuils d'intervention définis dans les tableaux 4 et 5 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 4 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 5 ci-dessous.

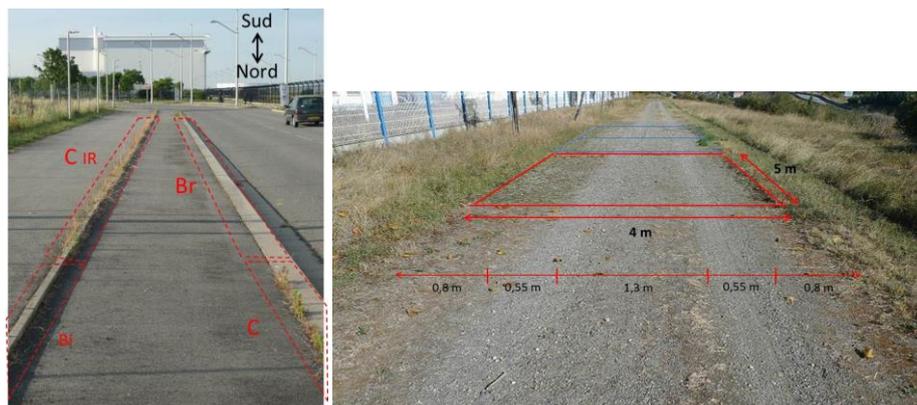


Figure 1. Types de sites étudiés : sol imperméable (à gauche) et sol perméable (à droite). (Source CETEV)

Tableau 4. 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 5. 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 %

3. Données pour la comparaison des techniques : rendements, consommations, et nombres de passages

Pour chacune des techniques et des modalités, le CETEV a relevé les rendements, les intrants consommés, et le nombre de passages nécessaires sur une année pour satisfaire les deux seuils d'intervention².

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

² Protocole 2 de l'Action 1 du programme Compamed ZNA.

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

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.

Les valeurs de rendement et de consommation sont détaillées dans le tableau 6 ci-dessous (source : Relevés expérimentaux des rendements et consommations, Compamed, Action 1, CETEV, 2012).

Tableau 6. Rendements et quantités de consommables utilisés dans la modélisation³. (Source : Cetev)

RENDEMENTS (m ² /h)	Imperméable C	Imperméable MC	Perméable C	Perméable MC
[CHIM] Pulvérisateur DOE ⁴	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 ¹⁴	NA ¹⁴
[MECA] Module tracté « desherbeur mécanique	NA ⁵	NA ¹⁴	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

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 :

³ C : seuil contraignant ; MC : seuil moins contraignant.

⁴ Détection Opto-Electronique

⁵ Sur le sol perméable la brosseuse sur balayeuse a été remplacée par le module tracté.

- 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 annuel de passages effectués pour chaque technique. Ces données, issues des relevés expérimentaux, sont présentées dans le tableau 7 ci-dessous : il s'agit donc du nombre moyen de passages (pour 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 7. 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) ⁶	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

4. Résultats de l'ACV comparative

Les résultats de l'évaluation environnementale sont donnés ci-dessous dans leur intégralité pour la modalité d'essai « sol imperméable – seuil moins contraignant ». Ils sont présentés en valeurs relatives (en base 100) sur la figure 2 ci-dessous, accompagnés des résultats en valeur absolue dans le tableau 8. Par ailleurs, les résultats pour les autres modalités sont présentés sur la figure 3. Pour faciliter la lecture, ces graphes sont présentés avec un nombre limité d'indicateurs⁷.

L'ensemble des résultats pour l'ensemble des modalités est disponible dans le [Rapport 1].

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

⁶ 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.

⁷ Ces indicateurs sont les indicateurs jugés d'intérêt majeur eu égard au contexte de l'étude.

- Les techniques thermiques « eau chaude », « vapeur », et « gaz »⁸ 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 du [Rapport 1]) montre que l'impact sur les ressources non renouvelables n'est pas un enjeu environnemental 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. Kempenaar⁹). 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 ».

⁸ En fait, il s'agit de la technique gaz combinée avec la technique eau chaude en raison des risques d'incendie estivaux (cf. explications au paragraphe 5.ii. page 22).

⁹ 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.

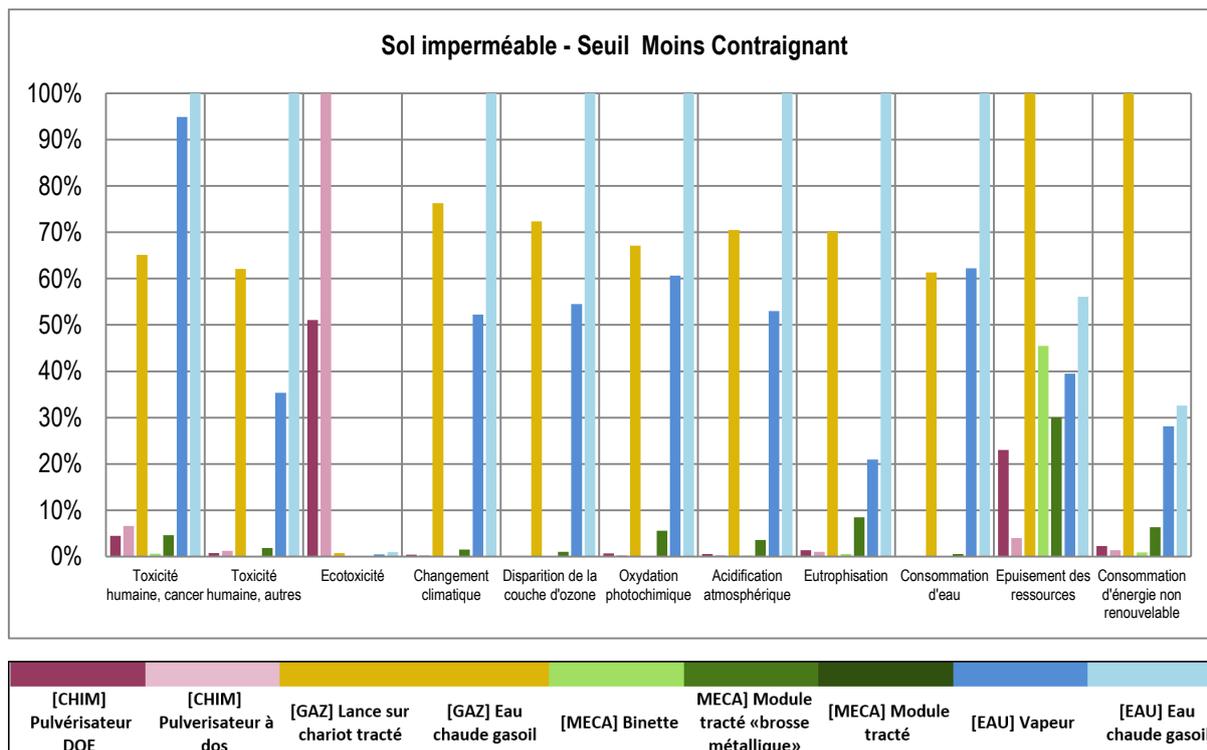


Figure 2. Résultats de l'évaluation comparative des techniques (sol imperméable, seuil moins contraignant)

Tableau 8. Résultats chiffrés de l'évaluation comparative de techniques (sol imperméable, seuil moins contraignant)¹⁰

	Unités	[CHIM]	[CHIM]	[GAZ]	[MECA]	[MECA]	[EAU]	[EAU]
		Pulvé. DOE	Pulvé. dos	Lance chariot tracté + eau chaude	Binette	Brosseuse	Vapeur	Eau chaude
Toxicité humaine, cancer	CTUh	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	CTUh	1,13E-11	1,83E-11	8,92E-10	3,73E-13	2,68E-11	5,08E-10	1,44E-09
Écotoxicité	CTUe	3,74E-01	7,32E-01	5,41E-03	2,38E-05	1,36E-04	3,66E-03	7,21E-03
Changement climatique	kg CO2 eq	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	kg CFC-11 eq	1,20E-09	1,04E-09	5,45E-07	4,67E-10	7,91E-09	4,11E-07	7,54E-07
Oxydation photochimique	kg NMVOC eq	7,76E-05	3,40E-05	7,34E-03	1,82E-05	6,08E-04	6,63E-03	1,09E-02
Acidification atmosphérique	molc H+ eq	8,53E-05	4,52E-05	1,10E-02	2,98E-05	5,62E-04	8,29E-03	1,57E-02
Eutrophisation	kg P eq	4,59E-06	3,43E-06	2,37E-04	1,90E-06	2,87E-05	7,08E-05	3,38E-04
Consommation d'eau	m3 water eq	1,81E-05	1,58E-05	8,49E-03	1,13E-05	7,54E-05	8,62E-03	1,39E-02
Épuisement des ressources	kg Sb eq	3,31E-07	5,74E-08	1,44E-06	6,54E-07	4,32E-07	5,69E-07	8,08E-07
Consommation énergie non renouvelable	éq MJ	3,15E-01	1,91E-01	1,39E+01	1,25E-01	8,80E-01	3,92E+00	4,54E+00

¹⁰ 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.

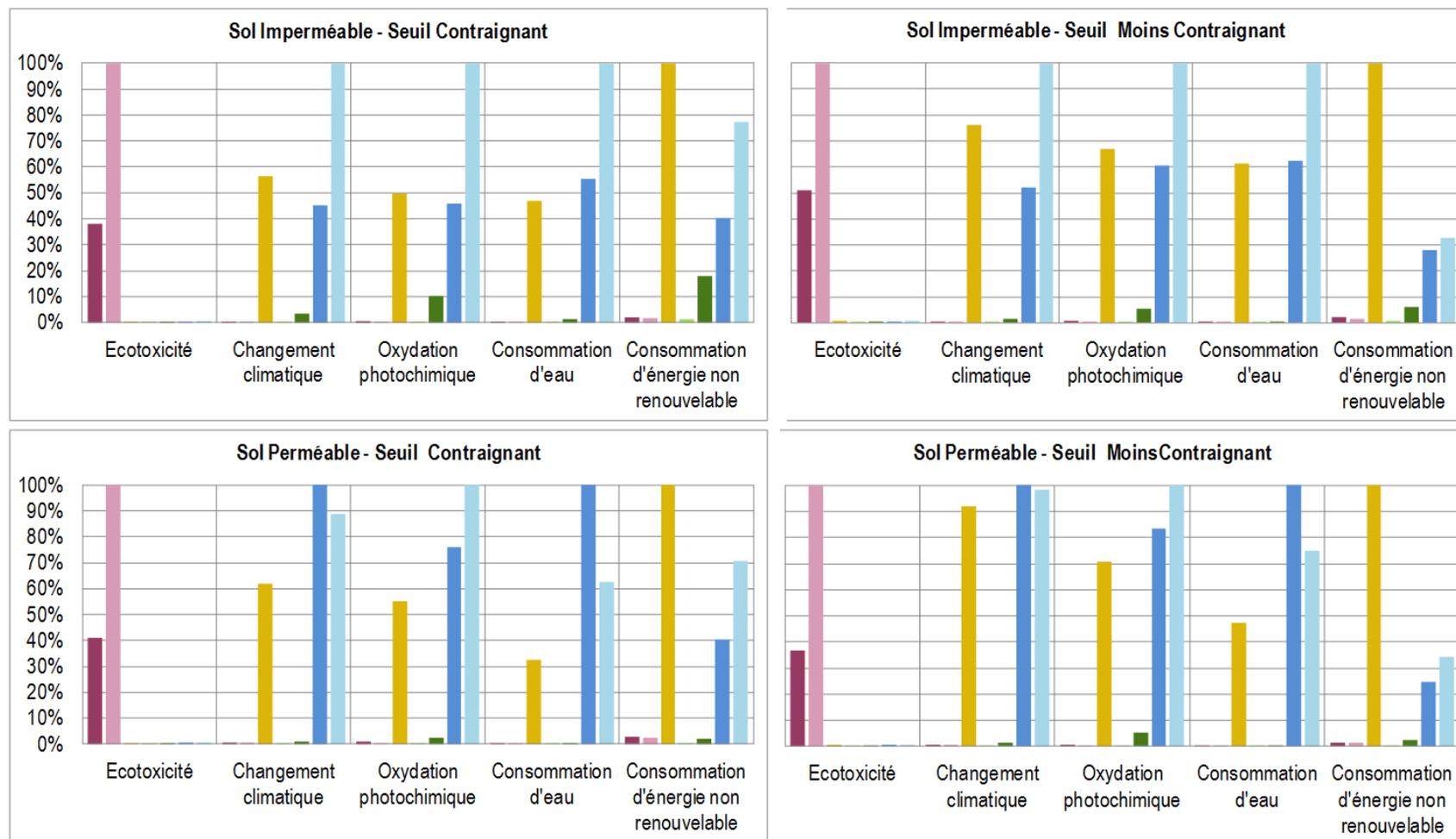
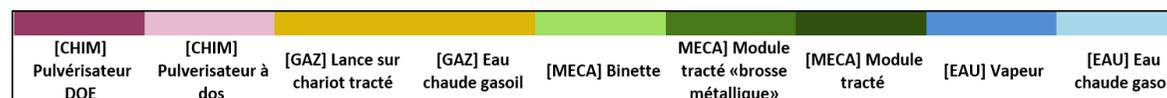


Figure 3. Résultats de l'évaluation comparative de techniques pour les 4 modalités type de sols/seuil de déclenchement



5. Analyses de contribution et analyses de sensibilité

Afin de préciser l'interprétation des résultats, des analyses de contribution d'une part, et des analyses de sensibilité (sensibilité des résultats aux hypothèses) d'autre part, ont été conduites. L'intégralité de ces analyses est disponible dans le [Rapport 1]. Le lecteur pourra également se reporter au [Rapport 1] pour trouver les analyses d'incertitudes (relatives à la qualité des données d'inventaire) réalisées dans le cadre de cette étude.

A titre d'illustration, certaines de ces analyses (2 analyses de contribution et 1 analyse de sensibilité) sont présentées ci-dessous.

i. Analyses de contribution

Les analyses de contribution présentées ci-dessous sont les suivantes :

- Analyse de contribution relative des phases du cycle de vie des techniques pour les indicateurs « changement climatique » et « épuisement des ressources non renouvelables » (fig. 4 et 5).
- Analyse de contribution des substances à l'impact « écotoxicité » pour la technique chimique pulvérisateur à dos (fig. 6).

Dans les deux cas, les résultats présentés sont ceux relatifs à la modalité « sol imperméable – seuil moins contraignant ».

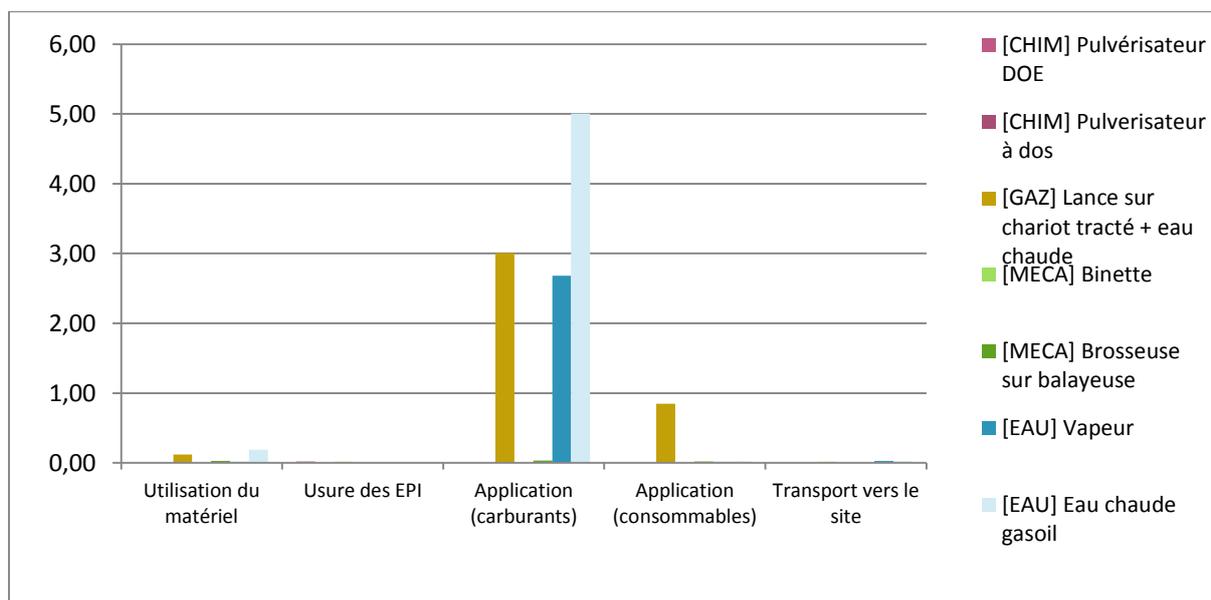


Figure 4. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur changement climatique (kg CO₂ éq.)

Tableau 9. 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

Cette analyse de contribution permet de voir que sur l'indicateur changement climatique, 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.

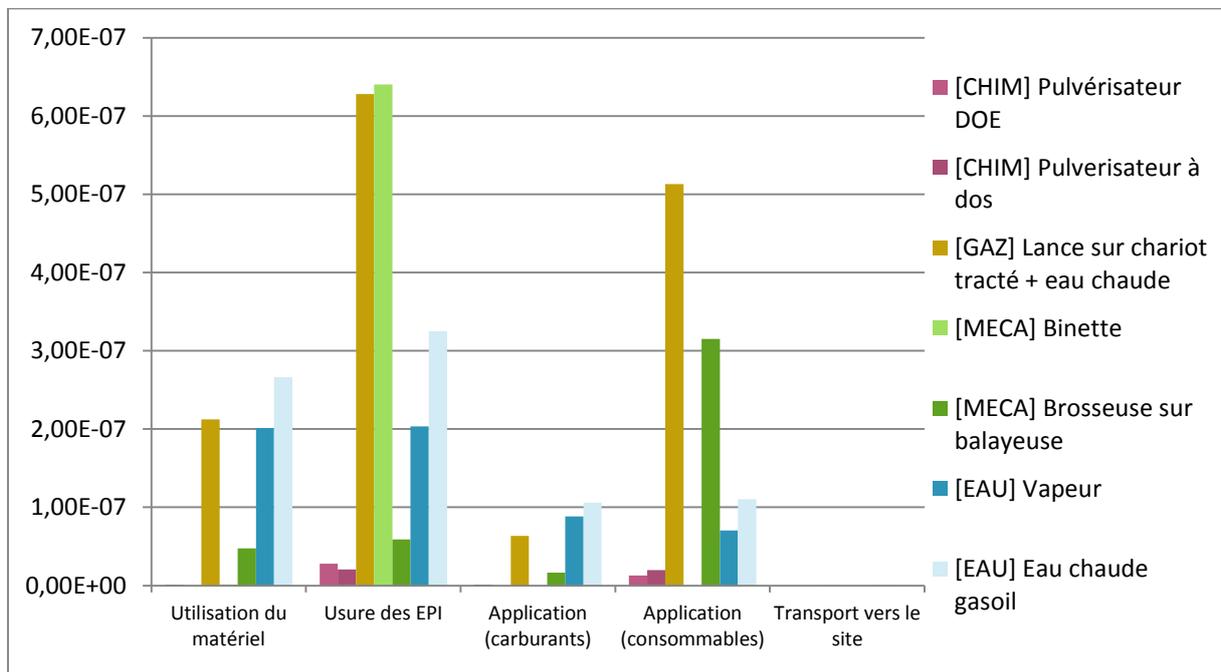


Figure 5. Résultats de l'analyse de contribution sur l'indicateur épuisement des ressources (kg Sb eq.)

L'analyse de contribution de la figure 5 permet de montrer que sur l'indicateur épuisement des ressources, 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, telle la binette, pour lesquelles les EPI sont moins amortis par m², et ainsi impactent plus de manière relative. Il faut toutefois relativiser cet impact car il ne constitue pas l'enjeu environnemental 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.

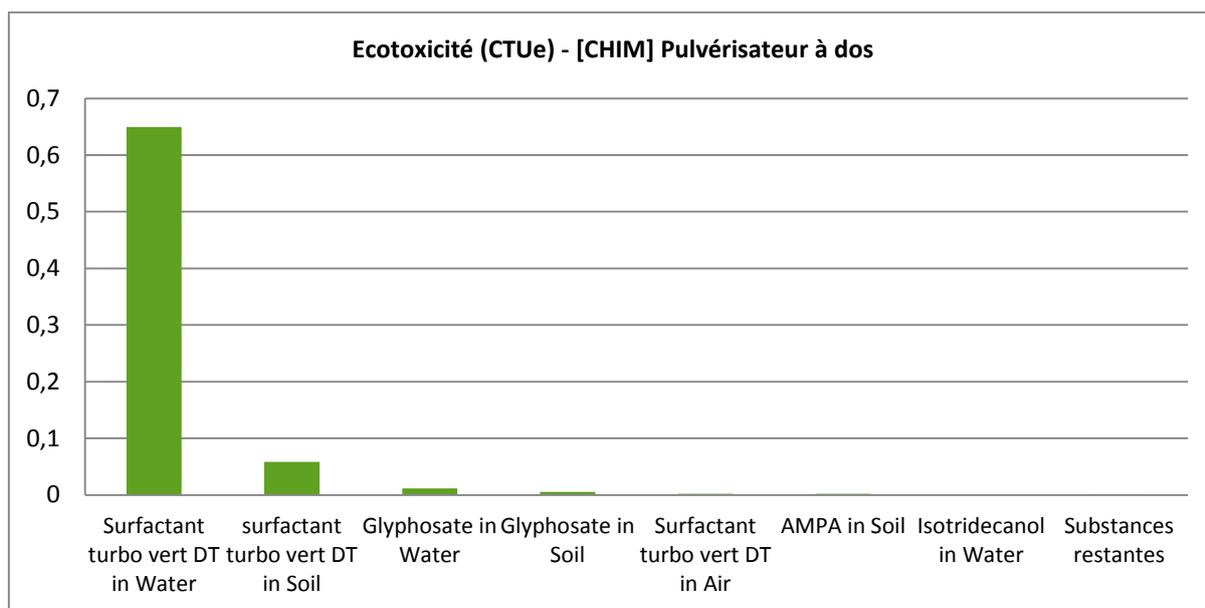


Figure 6. Analyse de contribution des substances chimiques sur l'indicateur écotoxicité

L'analyse de contribution par substances (telle que celle de la fig. 6 ci-dessus) 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.

ii. Analyse de sensibilité sur la technique gaz

Pendant l'expérimentation, il est apparu que la modalité gaz (brûleur) n'était pas utilisable pendant la période d'été dans 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 du nombre de passages respectifs 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 10 ci-dessous :

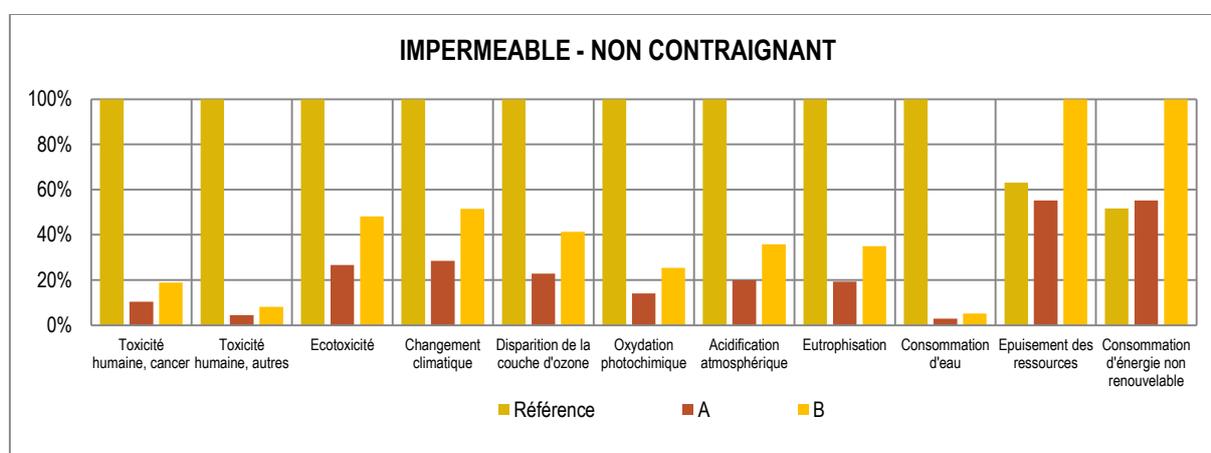
Tableau 10. Nombre de passages pris en compte pour la modalité gaz pour l'analyse de sensibilité

	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 résultats sont présentés dans la figure 7 ci-dessous pour la modalité « imperméable – non contraignant ».

Figure 7. Résultats de l'analyse de sensibilité sur la technique gaz



L'analyse de sensibilité réalisée sur le scénario gaz montre qu'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). Cette analyse de sensibilité montre donc 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. Ainsi, il apparaît que la technique « gaz seul » peut ressortir 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.

V. OUTIL D'AUTO-EVALUATION ET ACV COMPARATIVE D'APRES LES DONNEES DE L'OBSERVATOIRE

1. Périmètre et unité fonctionnelle

Le périmètre des évaluations ACV réalisées avec l'outil d'auto-évaluation est strictement identique à celui des ACV d'après les données expérimentales [rapport 1], à savoir l'ensemble des étapes du cycle de vie du désherbage en zone non agricole :

- Matières premières : matières nécessaires à la fabrication des matériels et consommables pour la mise en œuvre des techniques
- Production : fabrication des matériels et consommables
- Application : mise en œuvre des techniques pour le désherbage en ZNA, y compris le transport des hommes et des matériels sur site
- Fin de vie : élimination et recyclage des matériels et déchets de consommables liés à la mise en œuvre des techniques

L'unité fonctionnelle définie pour l'ACV comparative des techniques de désherbage d'après les données de l'observatoire (cf. les rapports de l'Action 2) est la suivante :

« Traiter 1 m² de surface enherbée d'un type défini pendant 1 an ».

L'objectif de l'outil d'auto-évaluation est de modéliser les pratiques observées (dans le cadre, ou non, de l'Action 2) correspondant à des situations mises en œuvre par les gestionnaires. La notion clé dans la modélisation des pratiques réelles observées est celle du « seuil de déclenchement de l'intervention », 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.

Les utilisateurs de l'outil ont la possibilité de modéliser et comparer des itinéraires techniques de désherbage (ou des techniques seules) en entrant leurs propres valeurs de rendement, consommations, et nombre de passages. Ils ont également la possibilité de spécifier les EPI et les déplacements de matériels et de techniciens.

A titre d'illustration, des valeurs issues des données de l'observatoire sont présentées ci-dessous, et une évaluation comparative des techniques est proposée sur la base de ces valeurs.

2. Données pour la comparaison des techniques : rendements, consommations, et nombres de passages

L'observatoire a réalisé de nombreux relevés des pratiques sur différentes typologies de sites (500 observations, sur 179 sites, auprès de 29 organismes). 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 :

- 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 l'analyse.
- La brosseuse 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 11 ci-dessous :

Tableau 11. Valeurs des paramètres rendements et consommations tirées de l'observatoire

	Valeurs Observatoire			
	Rendements moyens (m ² /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

3. Résultats de l'ACV comparative avec les valeurs de l'observatoire

Les résultats obtenus avec les valeurs issues de l'observatoire sont présentés dans le tableau 12 et représentés sur une échelle en base 100 dans la figure 8. Ces résultats peuvent être retrouvés et complétés avec l'outil d'auto-évaluation.

Tableau 12. Résultats de l'ACV comparative avec les données de l'observatoire.

	[CHIM] Pulvér. DOE	[CHIM] Pulvér. dos	[GAZ] Lance chariot tracté	[MECA] Binette	[MECA] Brosseuse 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

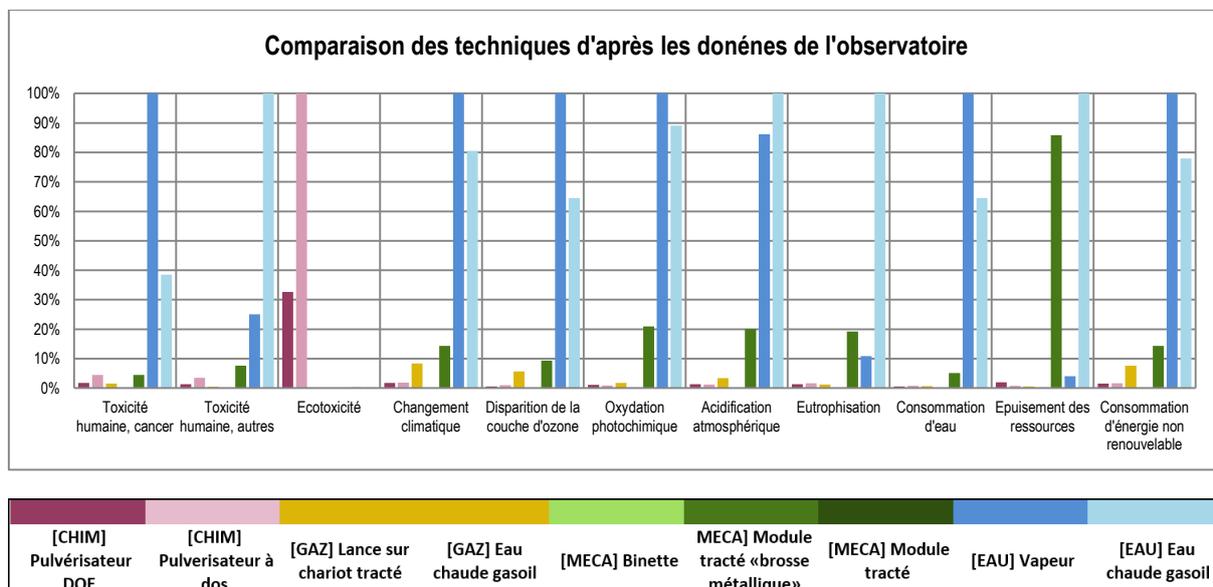


Figure 8. Comparaison des résultats obtenus avec les données sur les pratiques observées.

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 :

- 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 toujours 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.
- 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 », on note un impact élevé sur l'indicateur « épuisement des ressources » en raison d'une consommation importante d'acier (brins d'acier de la brosse ; cette usure des brins de la brosse est mal estimée et il conviendrait de la mesurer plus finement pour valider ces résultats). Cette consommation d'acier a également un impact sur l'indicateur « toxicité humaine ».
- 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.

VI. CONCLUSION GENERALE

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 efficace 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 directement 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 environnementale¹¹ 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 efficaces du point de vue environnemental. 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 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

¹¹ 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).

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.