



GESDEC



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

OUTIL ECOSOL : ANALYSE DE L'IMPACT
ENVIRONNEMENTAL DE FILIÈRES DE TRAITEMENT DE
SOLS POLLUÉS

PRÉSENTATION DE L'OUTIL

Traitement
des
résidus

Excavation
ou non

Ecosol

Transport

Traitement
in situ ou
ex situ



Energie primaire non
renouvelable



Effet de serre



Déchets ultimes



OUTIL ECOSOL : ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE FILIÈRES DE TRAITEMENT DE SOLS POLLUÉS

PRÉSENTATION DE L'OUTIL

VERSION	-	a	b
DOCUMENT	100020.20-RN002b Notice EcoSol		
DATE	20 mars 2020		
ELABORATION	Grégory Houillon		
VISA	_____		
COLLABORATION	_____		
DISTRIBUTION	GESDEC		

OUTIL ECOSOL : ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE FILIÈRES DE TRAITEMENT DE SOLS POLLUÉS - PRÉSENTATION DE L'OUTIL

TABLE DES MATIÈRES		Page
1.	Introduction	1
1.1	A quoi sert une évaluation de l'impact environnemental de filières de traitement de terres polluées ?	1
1.2	Comment mesurer cet impact ?	1
1.3	Présentation de l'outil	1
1.4	Conception	1
2.	Mode d'emploi	2
3.	Calculs	3
4.	Résultats	3
5.	Méthodes de traitement disponibles	5
5.1	In situ	6
5.1.1	Pompage écrémage	6
5.1.2	Sparging Venting	7
5.1.3	Lavage à l'eau et extraction	8
5.1.4	Stabilisation physico-chimique : oxydation à l'aides de liants et réactifs	9
5.1.5	Désorption thermique en zone saturée ou non saturée	10
5.2	Ex situ	11
5.2.1	Excavation	11
5.2.2	Lavage à l'eau	12
5.2.3	Tri selon les fractions	13
5.2.4	Mise en décharge de type A	13
5.2.5	Mise en décharge de type B ou C	14
5.2.6	Mise en décharge de type D ou E	14
5.2.7	Réutilisation de matériaux en remblayage	14
5.2.8	Incinération en four dédié	15
5.2.9	Co-incinération en cimenterie	16
5.2.10	Biotertre	17



OUTIL ECOSOL : ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE FILIÈRES DE TRAITEMENT DE SOLS POLLUÉS - PRÉSENTATION DE L'OUTIL

6.	Sources utilisées	18
7.	Lexique	19

ANNEXES

-



1. Introduction

La présente notice détaille l'utilisation du logiciel Ecosol, outil d'évaluation de l'impact environnemental de filières de traitement de sols pollués.

1.1 A quoi sert une évaluation de l'impact environnemental de filières de traitement de terres polluées ?

L'évaluation de l'impact environnemental de variantes d'assainissement ou de traitement de sols pollués permet d'intégrer ce critère de décision au même titre que les critères techniques et financiers. Elle permet ainsi de réduire l'impact sur l'environnement lors du choix de variantes d'assainissement d'un site pollué.

1.2 Comment mesurer cet impact ?

Ecosol met en œuvre une démarche basée sur la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) afin d'évaluer l'ensemble de la chaîne de traitement de terres polluées, depuis l'excavation, le transport, le traitement sur ou hors site, le traitement des sous-produits générés, etc.

Cet impact est mesuré pour 3 classes d'impacts :

- § la consommation d'énergie primaire non renouvelable,
- § l'effet de serre,
- § la production de déchets ultimes.

1.3 Présentation de l'outil

L'outil se décompose en plusieurs feuilles :

- § Mode d'emploi,
- § Présentation des méthodes disponibles,
- § Données à renseigner par l'utilisateur,
- § Sources,
- § Lexique,
- § Feuille de résultat (créée à part).

1.4 Conception

Pour tout complément d'information, merci de contacter :

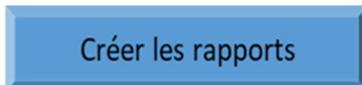
République et Canton de Genève
Département du territoire (DT)
Office cantonal de l'environnement (OCEV) Service de géologie, sols et déchets (GESDEC)
M. Silvio Cuccodoro
Tél. 022 546 70 74
silvio.cuccodoro@etat.ge.ch

BG Ingénieurs Conseils
M. Grégory Houillon
Tél. 058 424 27 04
gregory.houillon@bg-21.com



2. Mode d'emploi

- § Aller sur la feuille "Données à renseigner",
- § Indiquer le numéro du scénario. Toutes les lignes concernant le même scénario porteront le même numéro,
- § Sélectionner le type de polluant à traiter,
- § Sélectionner le type de traitement, yc transport,
- § Compléter les données demandées :
 - § Tonnage de terre : pour toutes les techniques,
 - § Concentration moyenne : pour toutes les techniques. A noter que le tonnage de polluant se calcule seul,
 - § Distance aller simple : pour les transports,
 - § Surface polluée : uniquement pour la désorption thermique in situ,
 - § Part de la fraction fine : uniquement pour le lavage à l'eau. On entend par fines la fraction inférieure à 2 mm (ce qui est inférieur aux sables, argiles et limons),
 - § Destination : uniquement pour le transport,
 - § Remarque : à compléter si nécessaire, mais obligation de renseigner à minima les informations suivantes :
 - Calcul de la concentration moyenne en polluant,
 - Volume et densité considérés pour le calcul du tonnage de terres.
- § Une fois les données saisies pour tous les scénarios, cliquer sur le bouton :



Quelques précisions :

- § Utiliser une ligne par traitement. Bien spécifier le numéro du scénario en colonne A pour chaque ligne renseignée. La ligne de tableau est créée lorsque l'on saisit le numéro du scénario dans la colonne A,
- § Utiliser une ligne par transport. Si deux transports sont nécessaires, ajouter deux lignes,
- § Le scénario 0 suivant doit toujours être saisi par l'utilisateur comme scénario de référence, en comparaison des autres scénarios proposés :
 - § Excavation,
 - § Tri,
 - § Transport,
 - § Mise en décharge.
- § L'outil se voulant simple à utiliser, un minimum d'information est requis. Par exemple, pour le sparging, seul le tonnage de terre et de polluants est saisi, pas besoin de saisir une perméabilité, un nombre de sondages.



OUTIL ECOSOL : ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE FILIÈRES DE TRAITEMENT DE SOLS POLLUÉS - PRÉSENTATION DE L'OUTIL

3

3. Calculs

Sur la base des données renseignées, les résultats sont calculés et un nouveau fichier Excel est généré, avec le résultat par scénario sur les classes d'impacts suivantes :

- § La consommation d'énergie primaire non renouvelable,
- § Les émissions de gaz à effet de serre,
- § La production de déchets ultimes.

Ce calcul est réalisé en tenant compte de l'ensemble de la chaîne de traitement : depuis la production d'un réactif, jusqu'à la mise en décharge de résidus.

Ce calcul intègre :

- § Les intrants et sortants de chaque module,
- § Les éventuelles substitutions.

4. Résultats

Un fichier XLS est créé, contenant les résultats sous format tableau et sous format graphique. Ce fichier est protégé contre les modifications.

Les résultats permettent de comparer les différents scénarios créés vis-à-vis du scénario de référence de mise en décharge.

Obligatoire	Type polluant	Traitement	Type	Détails	Intrants	UnitéIntrants	Sortants	UnitéSortants	Substitutio	UnitéSubstitut	Energie			GES			Déchets			Remarque	
											Intrants/Sortants	Substitution	Bilan	Intrants/Sortants	Substitution	Bilan	Intrants/Sortants	Substitution	Bilan		Remarque
											MWh nr	MWh nr	MWh nr	ICO2 eq.	ICO2 eq.	ICO2 eq.	t	t	t	Traitement aval	
	Solvants chlorés	Excavation		Terre polluée	100 t																
				Polluants	0 t																
				Intrant Diesel	0 lt						0		0								
	Solvants chlorés	Ti selon les fractions		Terre polluée	100 t																
				Polluants	0 t																
				Intrant Electricité	30 kWh/t						8		8		0		0				
				Intrant Diesel	1 kg/t						1		1		0		0				
	Solvants chlorés	Transport par camion de 40 t		Terre polluée	100 t																
				Distance	350 km																
				Destination	Zurich																
				Intrant Transport par camion 40 t	35000,0 dem						18		18		4		4				
	Solvants chlorés	Mise en décharge de type D ou E		Terre polluée	100 t																
				Intrant Electricité	2 kWh/t						0		0		0		0				
				Intrant Diesel	1 kWh/t						2		2		0		0				
				Sortant Terre stockée			1 t/lt terre										0	120		120	

Tableau 1 : Exemple de résultat sous forme de tableau

Le résultat pour chaque classe d'impact comprend trois termes :

- § Impact lié aux intrants et aux sortants,
- § Gain éventuel lié aux substitutions,
- § Bilan.

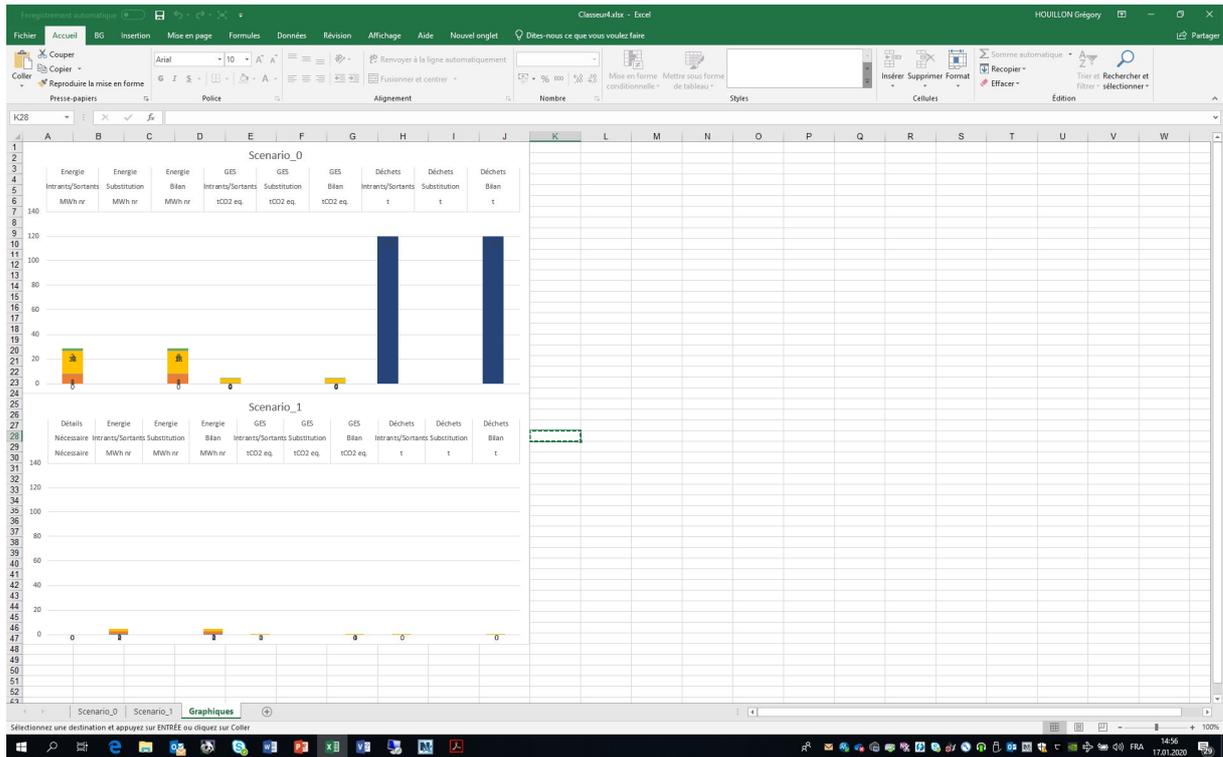


Figure 1 : Exemple de résultat sous forme de graphique

5. Méthodes de traitement disponibles

L'outil Ecosol propose les traitements suivants :

Famille		Filière de dépollution	Solvants chlorés	Hydrocarbures non	Chrome VI	Métaux lourds	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)
In situ	Méthode physique	Pompage écrémage	X	X			
In situ	Méthode physique	Sparging venting	X	X			
In situ	Méthode chimique	Lavage à l'eau et extraction	X	X	X	X	X
In situ	Méthode chimique	Stabilisation physico-chimique : oxydation à l'aides de liants et réactifs	X	X			X
In situ	Méthode thermique	Désorption thermique en zone saturée ou non saturée	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Excavation	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Lavage à l'eau		X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Tri selon les fractions	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Mise en décharge de type A	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Mise en décharge de type B ou C	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Mise en décharge de type D ou E	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode physique	Réutilisation de matériaux en remblayage	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode thermique	Co-incinération en cimenterie	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode thermique	Incinération en four dédié	X	X	X	X	X
Ex situ	Méthode biologique	Biotertre		X			X
Ex situ	Transport	Transport par barge	X	X	X	X	X
Ex situ	Transport	Transport par camion 3,5 - 20t	X	X	X	X	X
Ex situ	Transport	Transport par camion de 40t	X	X	X	X	X
Ex situ	Transport	Transport par train	X	X	X	X	X

Les schémas suivants présentent les traitements pris en compte dans l'outil Ecosol, ainsi que les intrants, sortants et substitutions considérés pour chacun :

5.1 In situ

5.1.1 Pompage écrémage

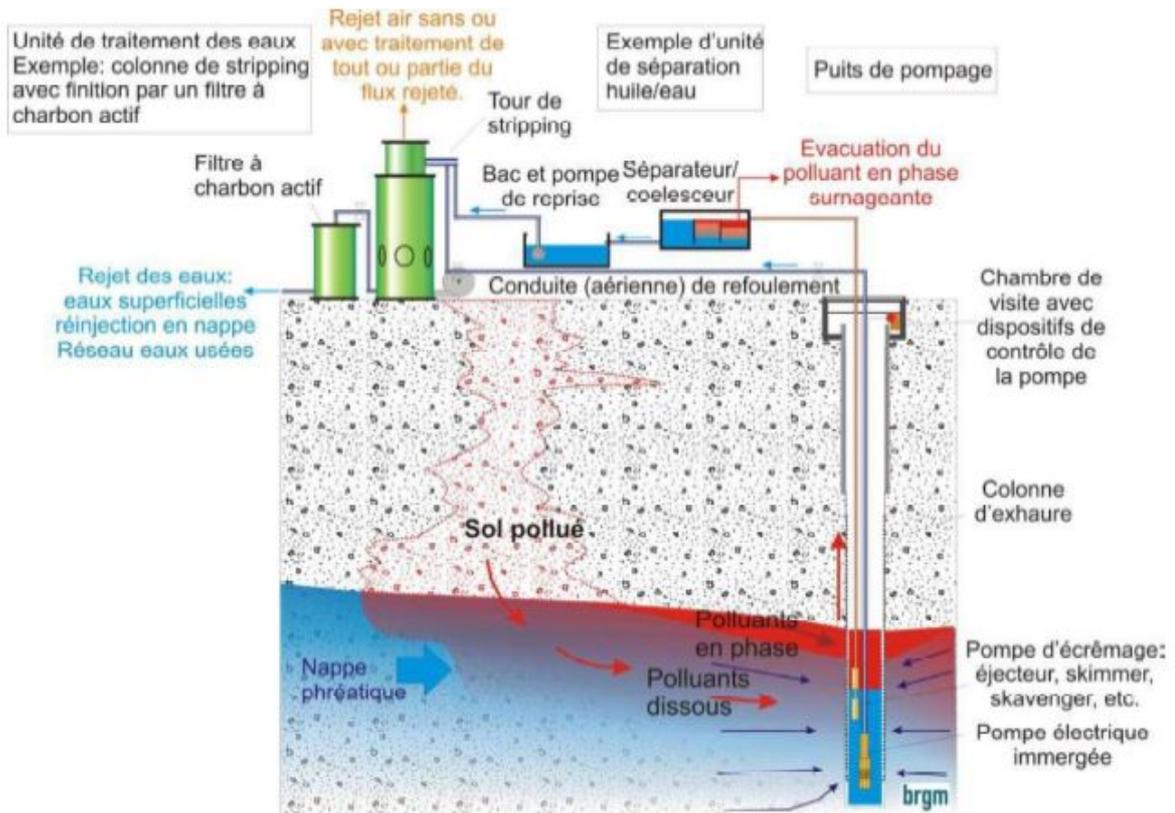


Figure 2 : Schéma du pompage écrémage (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	Charbon actif souillé (Incinération en UIOM)	-
Charbon actif	Polluants récupérés (Incinération en four dédié)	

5.1.2 Sparging Venting

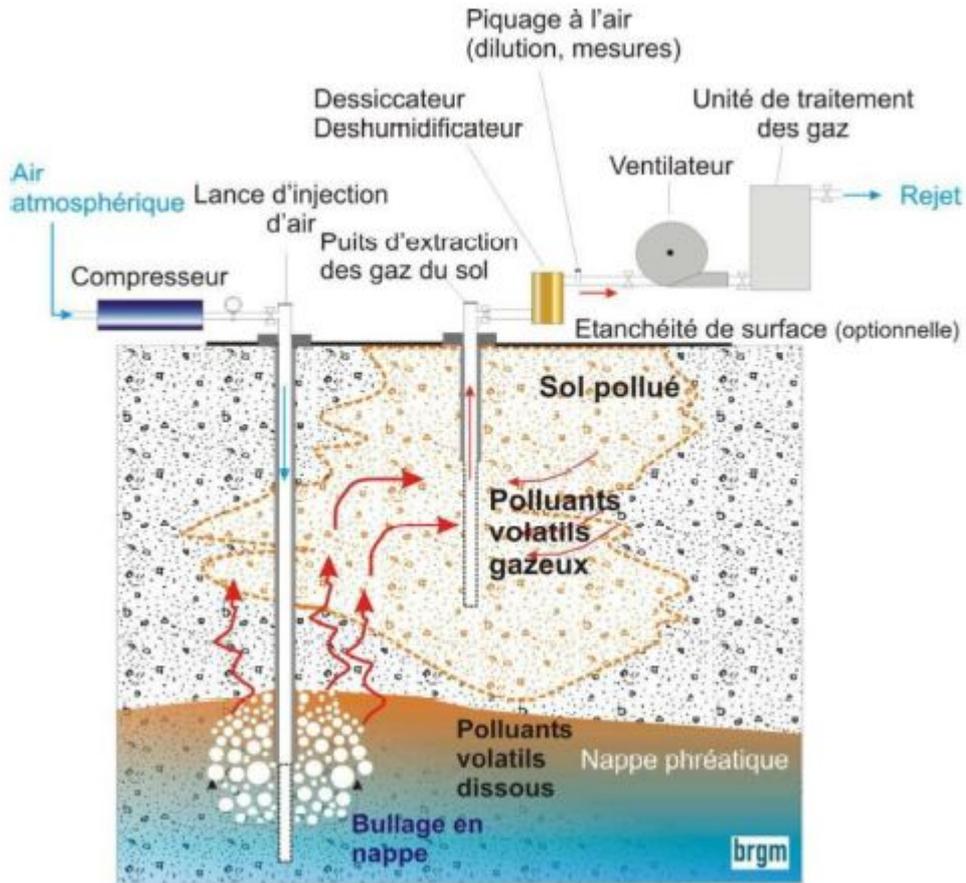


Figure 3 : Schéma du sparging venting (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	Charbon actif souillé (Incinération en UIOM)	-
Charbon actif		

5.1.3 Lavage à l'eau et extraction

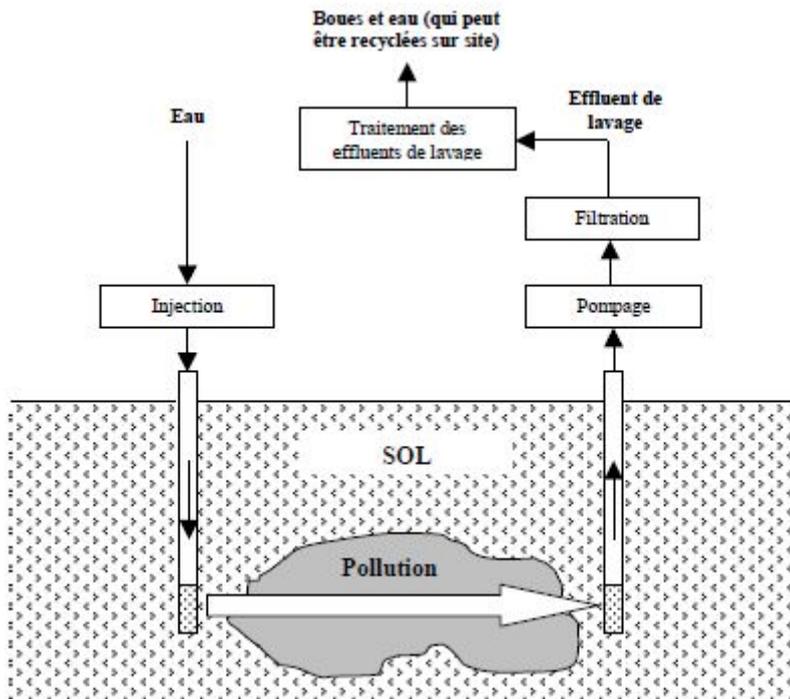


Figure 4 : Schéma du lavage à l'eau et extraction (Source : Viglianti, 2007)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité pour pompage	Concentrat d'ultrafiltration incinéré (Incinération en four dédié)	-
Surfactant		
Oxydant (Oxydation au permanganate de potassium)		

5.1.4 Stabilisation physico-chimique : oxydation à l'aides de liants et réactifs

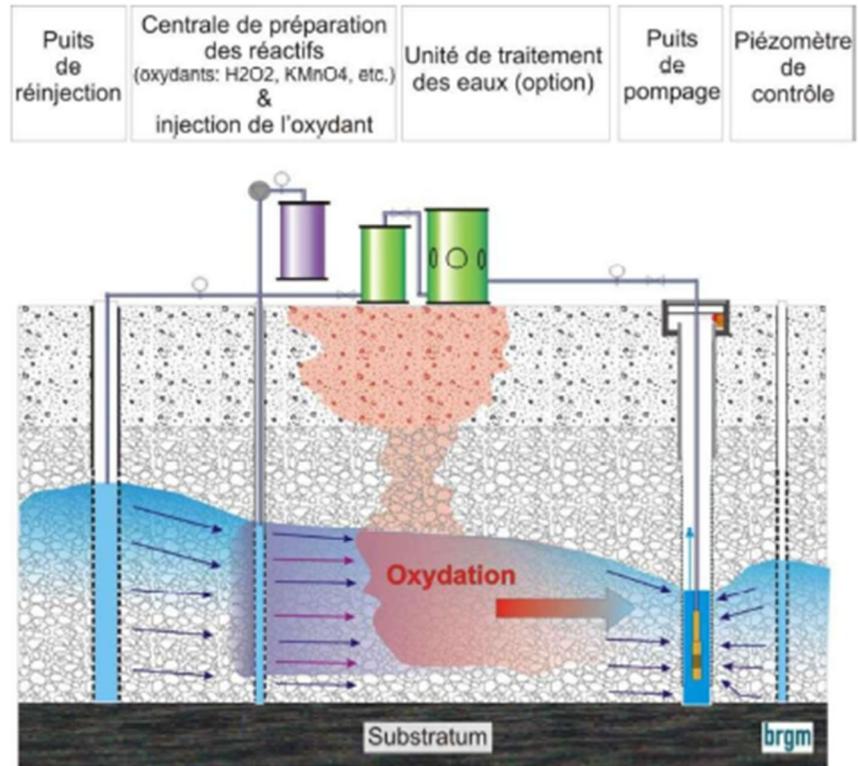


Figure 5 : Schéma de la stabilisation physico-chimique (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	-
Permanganate de potassium		
Eau		

5.1.5 Désorption thermique en zone saturée ou non saturée

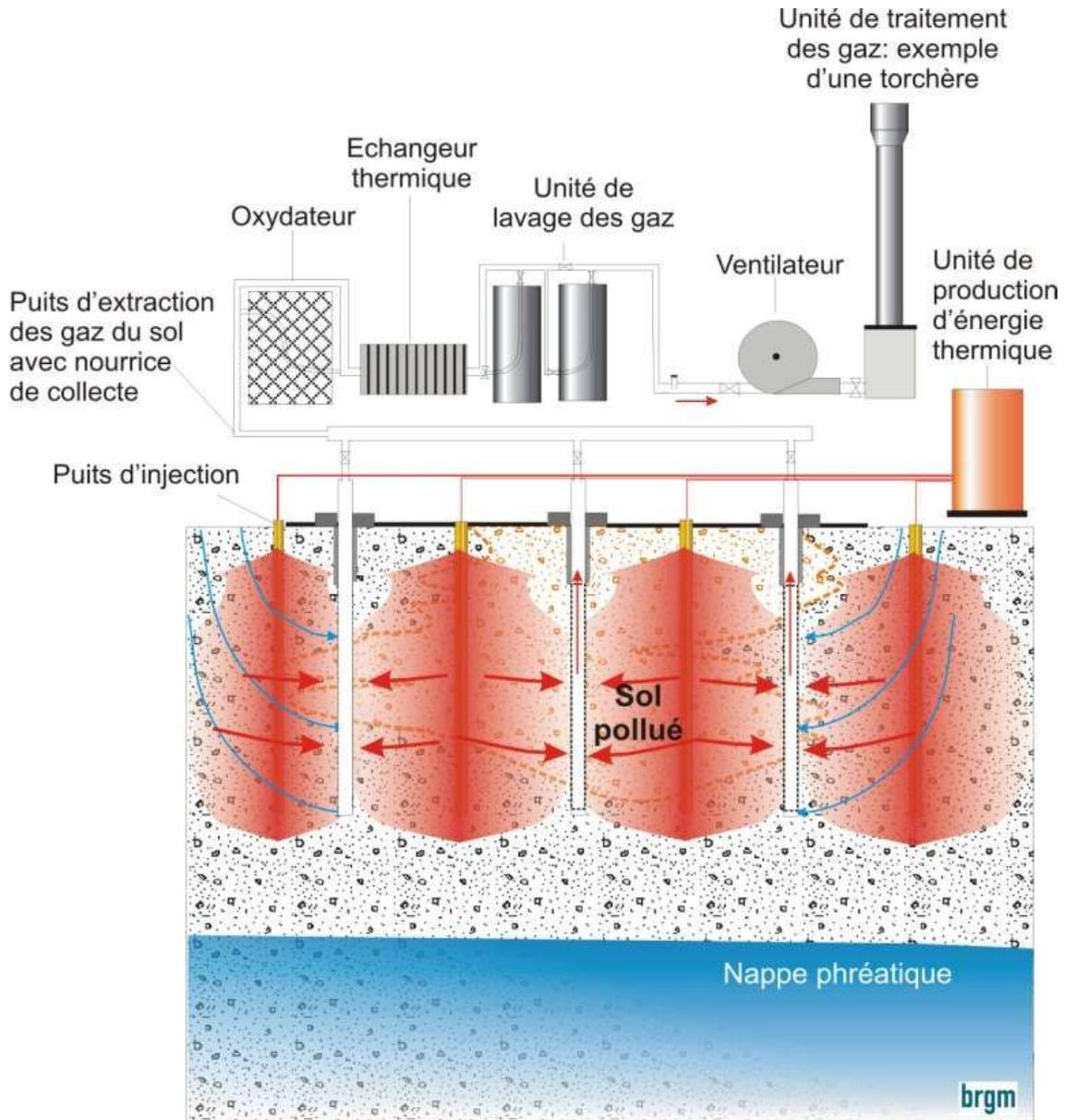


Figure 6 : Schéma de la désorption thermique (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité pour chauffage du sol	Charbon actif (Incinération en UIOM)	-
Électricité pour utilités		
Charbon actif		

5.2 Ex situ

5.2.1 Excavation

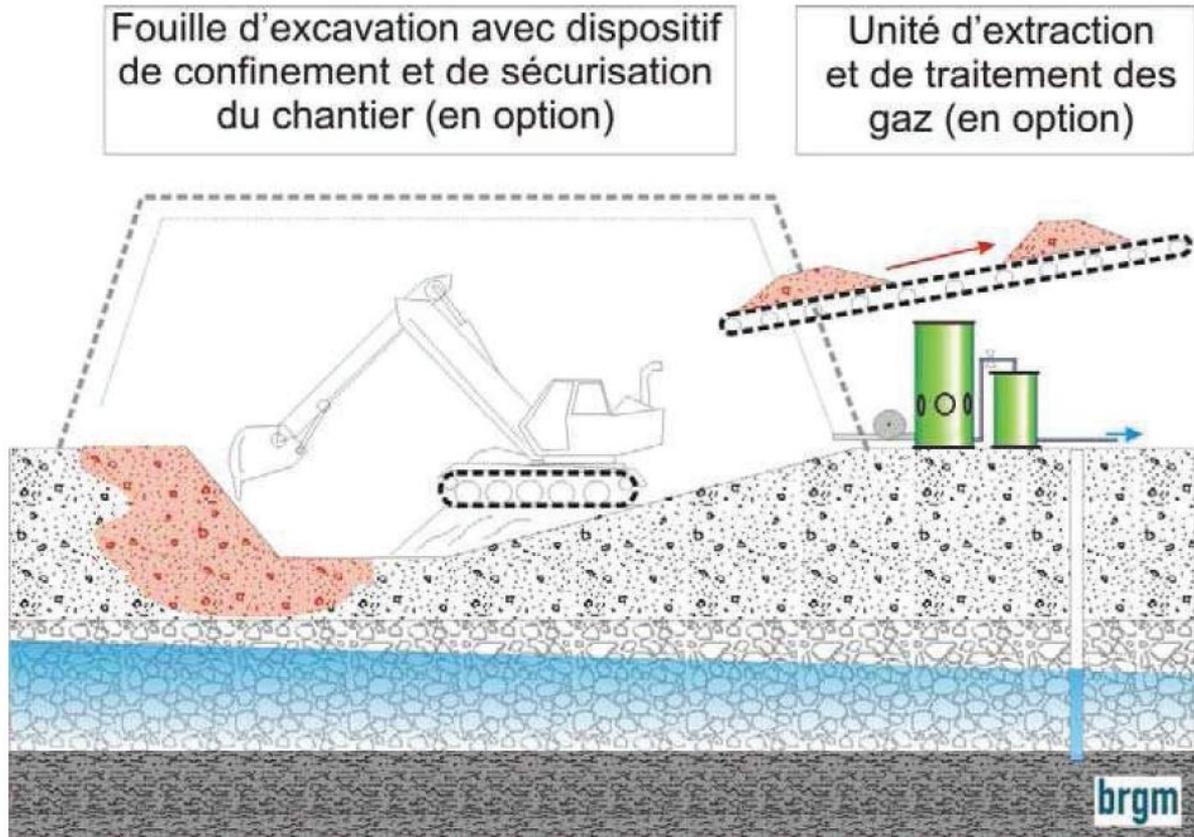


Figure 7 : Schéma de l'excavation (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Diesel	-	-

5.2.2 Lavage à l'eau

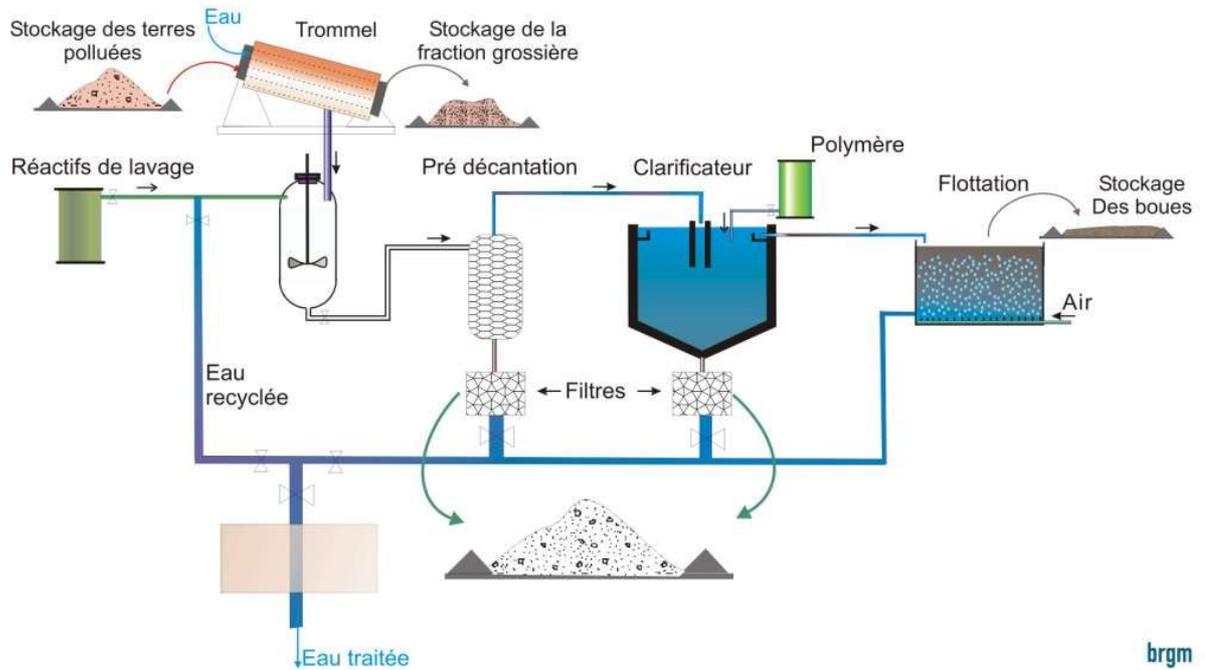


Figure 8 : Schéma du lavage à l'eau (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	Gâteau avec fines (Mise en décharge de type D ou E)	-
Surfactant		
Eau		

5.2.3 Tri selon les fractions

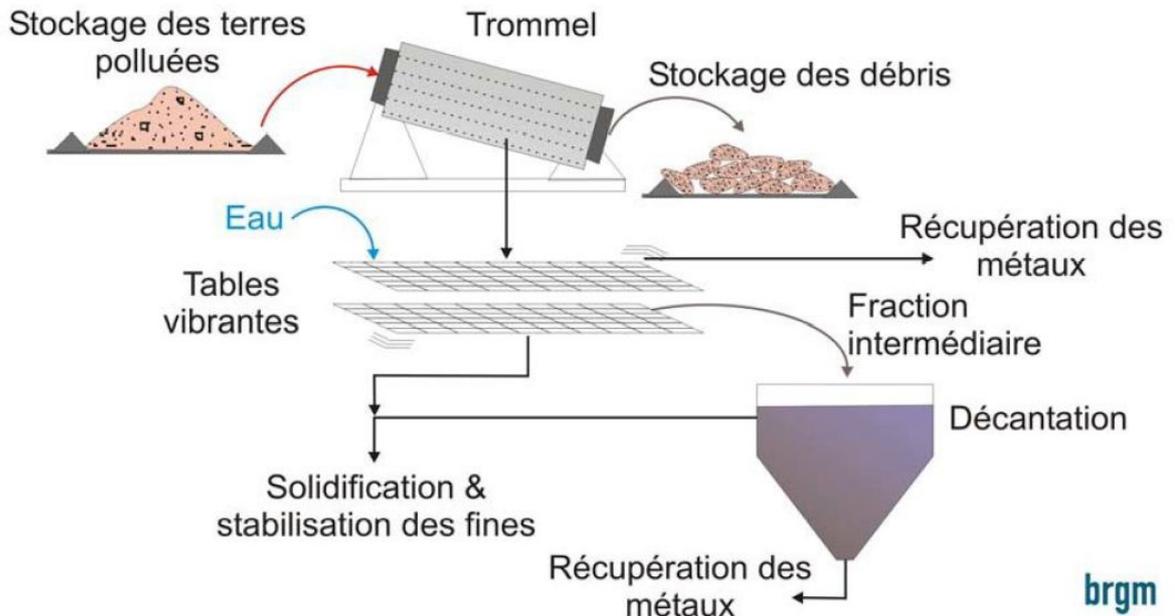


Figure 9 : Schéma du tri selon les fractions (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	Fractions à traiter	-
Diesel		

5.2.4 Mise en décharge de type A

Les déchets listés de manière exhaustive à l'annexe 5, ch. 1, de l'ordonnance sur les déchets (OLED ; RS 814.600), comme les matériaux d'excavation et de percement, et pour lesquels aucune pollution n'est soupçonnée peuvent être stockés définitivement dans les décharges de type A.

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	-
Diesel		

5.2.5 Mise en décharge de type B ou C

Les déchets énumérés à l'annexe 5, ch. 2, OLED ainsi que d'autres déchets minéraux peuvent être stockés dans les décharges de type B, dans la mesure où il peut être démontré qu'ils remplissent les exigences fixées, notamment le respect des valeurs limites et des valeurs de lixiviation.

Les déchets métallifères, inorganiques et difficilement solubles peuvent, eux, être stockés dans les décharges de type C. Pour ce faire, il est souvent nécessaire de les traiter au préalable (p. ex. traitement thermique) dans le but d'éliminer toute pollution organique (cf. annexe 5, ch. 3, OLED).

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	-
Diesel		

5.2.6 Mise en décharge de type D ou E

Les résidus de l'incinération, tels les mâchefers provenant des usines d'incinération des ordures ménagères, comptent parmi les déchets pouvant être stockés dans les décharges de type D (cf. annexe 5, ch. 4, OLED).

L'annexe 5, ch. 5, OLED dresse un éventail plus large des déchets pouvant être stockés dans les décharges de type E. La teneur totale maximale en substances organiques étant déterminante, il est donc possible d'y stocker d'autres déchets que ceux mentionnés, à condition que ces derniers respectent les valeurs limites fixées (cf. annexe 5, ch. 5, OLED).

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	-
Diesel		

5.2.7 Réutilisation de matériaux en remblayage

Les fractions propres peuvent être valorisées en remblais sur des chantiers. Cette valorisation permet d'éviter l'utilisation de granulats concassés.

Intrant	Sortant	Substitution
-	-	Granulat (remblayage) concassé

5.2.8 Incinération en four dédié

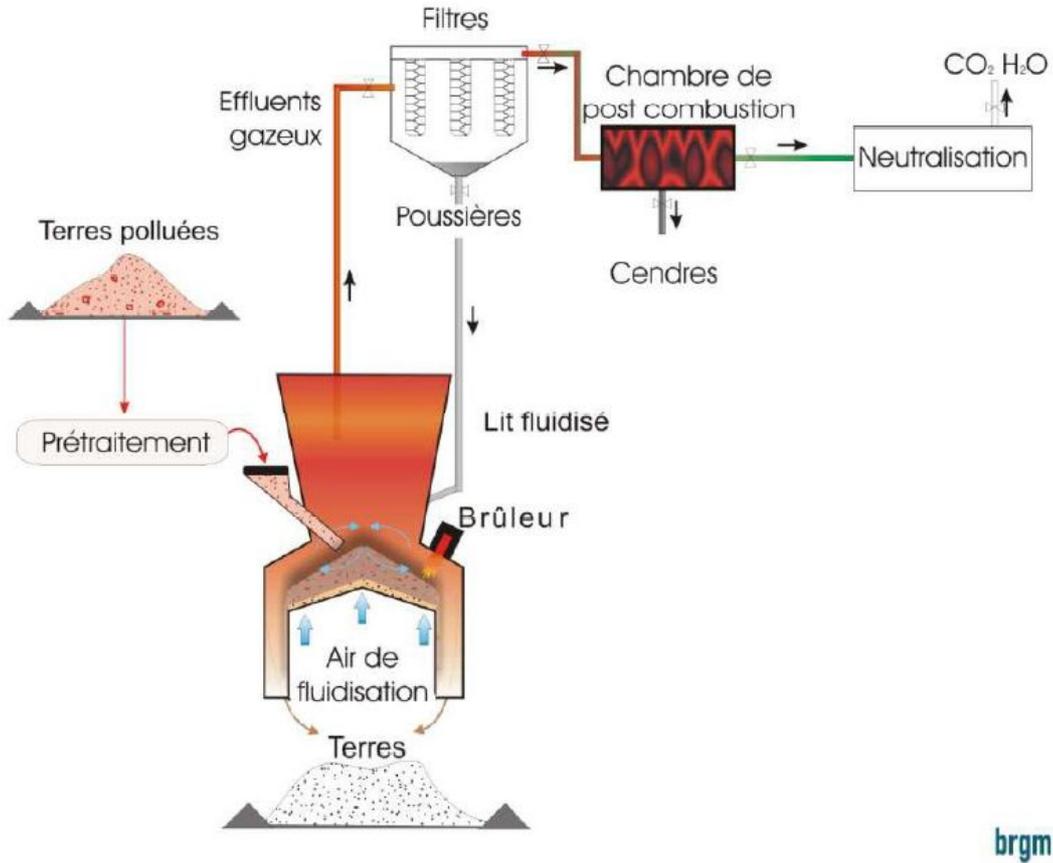
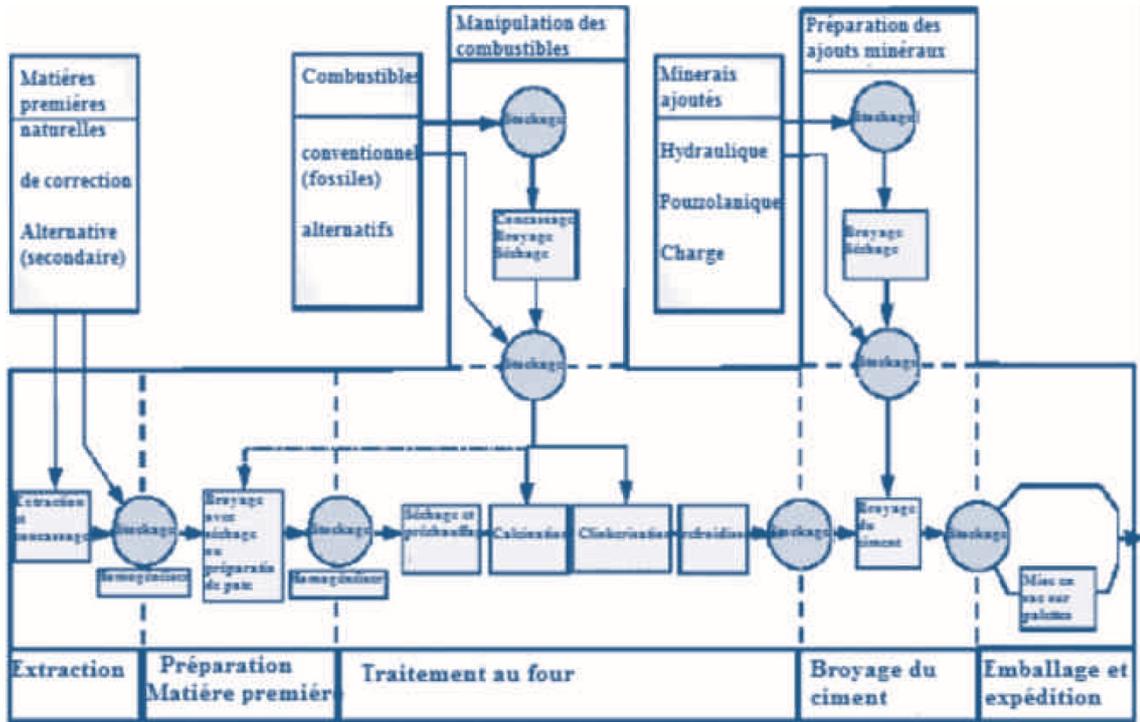


Figure 10 : Schéma de l'incinération en four dédié (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	-
Diesel		

5.2.9 Co-incinération en cimenterie



(European Commission 2001)

Figure 11 : Schéma de la co-incinération en cimenterie (Source : European Commission, 2001)

Intrant	Sortant	Substitution
Électricité	-	Marne
Diesel		Calcaire

5.2.10 Bioterre

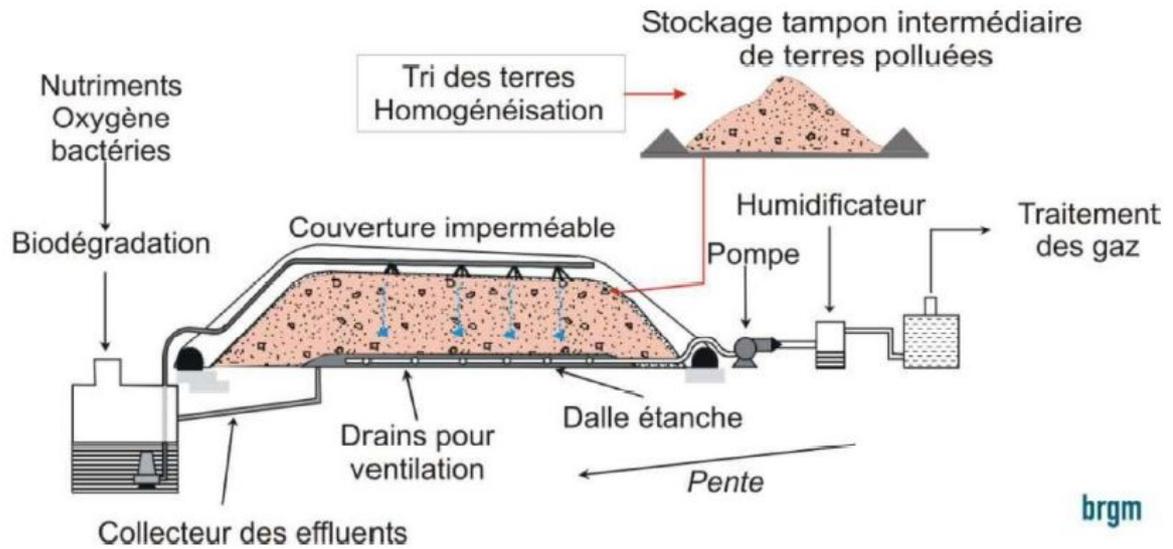


Figure 12 : Schéma du biotierre (Source : ADEME, 2011)

Intrant	Sortant	Substitution
Diesel pour pelle mécanique	Charbon actif (Incinération en UIOM)	-
Phosphate de sodium		
Agent structurant (Compost)		
Électricité pour pompe de circulation des lixiviats		
Charbon actif		
Eau		



6. Sources utilisées

ADEME, Évaluation environnementale des technologies de traitement de sols et des eaux souterraines pollués, Octobre 2011

ASR (Association suisse de déconstruction, triage et recyclage), Élimination des déchets de chantier pollués dans des installations (ex situ), Descriptif des procédés de traitement et de leur efficacité en matière de valorisation, avril 2015

ASTEE, Guide des facteurs d'émissions, Version 05 2010.2

EPA, Life Cycle Inventory (LCI) Data-Treatment Chemicals, Construction Materials, Transportation, On-site Equipment, and Other Processes for Use in Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis (SEFA), Revised Addition, 2017

Etat de Vaud, Ecobilan de filières de traitement lors de l'assainissement d'un site contaminé : Application au cas de la décharge de Bioley-Orjulaz, 2004

Fatin Rouge N., Feasibility of specific soil washing with recycled solutions (SSWRS) for the removal of selected metals and organic compounds from contaminated soil and mathematical model to assess pollutant transfer by SSWRS, 2013

Houillon G., Jolliet O., Projet Ecoboues : Ecobilan de différentes filières de traitement des boues résiduaires urbaines, rapport final, décembre 2001, 123 p + annexes

KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

Meuser H., Soil remediation and rehabilitation : treatment of contaminated and disturbed land, Springer

NIRAS, Remediation Strategy for Soil and Groundwater Pollution - RemS, 2011

OFEFP/BUWAL, Inventaires écologiques relatifs aux emballages, volume 1, Cahier de l'environnement, Déchets, n° 250/1, Berne, 1998, 326 p.

OFEFP/BUWAL, Inventaires écologiques relatifs aux emballages, volume 2, Cahier de l'environnement, Déchets, n° 250/2, Berne, 1998, 238 p.

Stegmann R. et al., Treatment of contaminated soil, Fundamentals, Analysis, Applications, Springer

Suez, Outil Life Carbon Tool

Suter P., Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Hischier R., Martin A., Dones R., Gantner U., Ökoinventare von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und des Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, 3 Auflage, Eidg. Technische Hochschule, Institut für Energietechnik, Gruppe Energie Stoffe und Umwelt, Zürich, Schweiz, 1996

Suter P., Principes d'économie d'énergie, Notes de cours, Cycle postgrade en énergie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1995

Toffoletto L., Analyse de Cycle de Vie d'un site pollué au diesel, novembre 2002



US Air Force, Sustainable Remediation Tool v. 2.2, september 2011

7. Lexique

ACV – Analyse de Cycle de Vie

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) ou « Ecobilan » est une évaluation environnementale multicritères d'un service, produit ou procédé pendant toute sa durée de vie (de sa conception à sa destruction, « du berceau à la tombe »). Ainsi, pour chaque phase du cycle de vie (fabrication, transformation, utilisation et destruction) sont calculés les impacts sur (liste non exhaustive) :

- § le réchauffement climatique (les émissions de gaz à effet de serre),
- § l'épuisement des ressources,
- § la toxicité humaine,
- § la toxicité terrestre et vis à vis des milieux d'eau douce,
- § la photooxydation,
- § l'acidification,
- § l'eutrophisation,
- § etc.

L'ACV est un outil d'aide à la décision normalisé (série de Normes ISO 14040). Selon l'ISO, il s'agit de la "Compilation et évaluation des consommations d'énergie, des utilisations de matières premières, et des rejets dans l'environnement, ainsi que de l'évaluation de l'impact potentiel sur l'environnement associé à un produit, ou un procédé, ou un service, sur la totalité de son cycle de vie".

Déchets ultimes

Un déchet ultime est un déchet ne pouvant pas être valorisé selon les conditions techniques et économiques du moment. La réduction de la production de déchets ultimes traduit la performance de la filière de traitement.

Effet de serre

L'effet de serre est, à la base, un phénomène totalement naturel reposant sur le principe que des gaz (H₂O, CO₂, CH₄, N₂O, ...) piègent l'énergie émise par la terre (sous forme d'infrarouge) et la renvoient une seconde fois vers la surface de la terre. Sans le phénomène naturel de l'effet de serre la température moyenne de la terre ne serait pas de 15°C mais de -18°C. Aujourd'hui, l'Homme, par son mode de vie, augmente la quantité de gaz à effet de serre présente dans l'atmosphère (CO₂, CH₄, N₂O ...) d'où l'augmentation du piégeage d'énergie (par les GES) et l'augmentation de l'énergie renvoyée vers la surface de la terre (expliquant ainsi l'augmentation de la température).



Energie primaire non renouvelable

L'énergie primaire est l'énergie contenue dans les vecteurs énergétique à leur extraction de l'environnement. L'énergie primaire non renouvelable représente la part non renouvelable de cette énergie. Elle traduit notre consommation de ressources fossiles.

Gaz à Effet de Serre (GES)

Les GES (gaz à effet de serre) sont des gaz présents dans l'atmosphère naturellement mais également générés par l'activité humaine. Ils captent le rayonnement infrarouge émis la terre et le renvoie une seconde fois à la surface de la planète. Parmi les gaz présents naturellement dans l'atmosphère, le premier gaz est de loin la vapeur d'eau (55% et aussi sous forme de nuages 28%) et le second est le CO₂ (environ 14%). Les 3% restants se répartissent entre le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃).

Substitution

On appelle substitution les émissions évitées liées à une valorisation d'un sous-produit lié à un traitement. Par exemple, la co-incinération en cimenterie de terres polluées va éviter l'utilisation de marne et de calcaire, engendrant ainsi une économie de consommation de ressources, d'émissions de gaz à effet de serre et de production de déchets ultimes.