

Code de Bonne Pratique Auxiliaire 2

Traitement en surface des gaz extraits du sol

Bruxelles Environnement



Contenu

1.	Introduction.....	4
2.	Description de la technique et des principes technologiques mis en œuvre	5
2.1.	Description générale.....	5
2.2.	Description des techniques de traitement les plus courantes.....	6
2.2.1.	Filtres biologiques.....	6
2.2.1.1.	Domaine d'application.....	6
2.2.1.2.	Description du dispositif.....	7
2.2.1.3.	Caractéristiques des filtres et de la biofiltration.....	7
2.2.1.4.	Efficacité du traitement et capacité d'élimination.....	8
2.2.1.5.	Paramètres du traitement.....	8
2.2.1.6.	Humidité du matériau filtrant	9
2.2.1.7.	Température des filtres.....	10
2.2.1.8.	PH.....	10
2.2.1.9.	Perte de charge	11
2.2.1.10.	Nutriments.....	11
2.2.1.11.	Types de microorganismes et inoculation.....	12
2.2.1.12.	Paramètres du gaz à traiter	12
2.2.2.	Traitement biologique après lavage du gaz (ou biolavage).....	12
2.2.3.	Biofiltres en milieu aqueux (bio-trickling filters).....	12
2.2.4.	Filtres à charbon actif	13
2.2.4.1.	Paramètres du traitement.....	13
2.2.4.2.	Caractéristiques des polluants à fixer	14
2.2.4.3.	Techniques associées	14
2.2.4.4.	Fiabilité.....	14
2.2.4.5.	Sensibilité	14
2.2.4.6.	Impact sur l'environnement	15
2.2.4.	Oxydation thermique	15
2.2.5.	Condensation	16
2.2.6.	Autres méthodes de traitement	16
3.	Description des variantes – agencement des différentes techniques.....	17
4.	Objectifs poursuivis : panache versus noyau	18
5.	Examen a priori de la faisabilité technique	19
6.	Examen spécifique de la faisabilité du traitement.....	20
6.1.	Paramètres à mesurer	20
6.2.	Nécessité d'essais préalables au laboratoire.....	21
6.3.	Nécessité d'un test pilote	21
7.	Description d'une installation type.....	22
8.	Descriptif de l'installation qui sera mise en place	23
9.	Limitation des incidences du projet sur l'environnement : odeurs, bruits, poussières	25
9.1.	Points à prendre en compte	25
9.2.	Nuisances pour la qualité de l'air	25
9.3.	Risques d'incendie et explosion	25
9.4.	Risques de dissémination des composés dangereux et toxiques.....	26
9.5.	Nuisances acoustiques.....	26
9.6.	Conformités aux cadres légaux existants.....	26
10.	Supervision du traitement.....	27
10.1.	Mesures de surveillance : dispositif type	27
10.2.	Mesures de supervision : paramètres de supervision du traitement et de fréquence....	27

11.	Rapportage, optimisation et mesures correctives.....	31
11.1.	Rapportage.....	31
11.2.	Mesures correctives et optimisation	32
12.	Santé, sécurité et organisation.....	33
12.1.	Check-list succincte pour les entrepreneurs.....	33
12.2.	Check-list succincte pour les experts en pollution du sol.....	35
13.	Sources bibliographiques.....	37

1. Introduction

Ce code de bonne pratique concerne une technique d'intervention qualifiée d'auxiliaire, en ce sens qu'elle n'est pas utilisée seule mais en complément d'autres techniques d'intervention visant, elles, à assainir une pollution du sol et/ou des eaux souterraines ou à gérer les risques qui découlent de cette pollution. La technique auxiliaire porte sur le traitement, à la surface du sol, des gaz extraits du sol, lors du traitement d'une tache de pollution.

Cette étape de traitement accompagne les interventions de traitement faisant appel aux techniques suivantes :

- Pompage des gaz dans la couche insaturée du sol ;
- Sparging et biosparging avec pompage des gaz dans la couche insaturée du sol ;
- Oxydation chimique in-situ accompagnée d'un pompage des gaz (en cas d'injection d'ozone) ;
- Bioventing avec pompage des gaz dans la couche insaturée du sol.

Les gaz pompés proviennent de la tâche de pollution ou de ses alentours immédiats et sont généralement chargés en polluants volatils de sorte qu'ils requièrent un traitement avant leur rejet dans l'atmosphère. Les polluants présents dans les gaz pompés sont soit la fraction volatile des polluants dont les teneurs justifient l'intervention, soit les produits de dégradation ou bien encore d'autres composés dont les teneurs mesurées dans les gaz pompés sont en dépassement par rapport aux normes en vigueur en Région de Bruxelles-Capitales pour un rejet dans l'atmosphère.

La collecte et le traitement en surface des gaz pompés dans le sol peuvent donner naissance à des liquides qui doivent être pris en charge, soit en dehors du site, soit sur le site même.

Remarque

L'ordonnance du 5 mars 2009 relative à la gestion et à l'assainissement des sols pollués et ses arrêtés d'exécutions stipulent dans plusieurs articles le respect des codes de bonnes pratiques. En ce qui concerne les codes de bonnes pratiques relatifs au traitement, l'expert en pollution du sol agréé peut, dans certains cas, par exemple sur proposition de l'entrepreneur en assainissement, déroger aux dispositions reprises dans les codes de bonnes pratiques, moyennant une argumentation dûment fondée. Dans ce cas, Bruxelles Environnement se réserve à tout moment le droit de demander des informations complémentaires ou de demander des investigations de terrains supplémentaires, sur base des dispositions reprises dans les codes de bonne pratique, s'il le juge nécessaire et pertinent.

Nous précisons que ce code est d'application pour tous travaux impliquant un traitement par assainissement ou par gestion de risque, y compris les traitements de minime importance, les traitements de durée limitée, les mesures de suivi et les mesures d'urgence .

2. Description de la technique et des principes technologiques mis en œuvre

2.1. Description générale

Cette technique auxiliaire d'intervention vise à traiter les gaz pompés dans le sol de manière à rencontrer les exigences en vigueur en Région de Bruxelles-capitale, tant pour les teneurs en poussières et fibres d'amiante que pour les teneurs en polluants, avant leur rejet dans l'atmosphère.

Pour rappel, la qualité des gaz libérés dans l'atmosphère dans le cadre d'un chantier de **traitement** du sol doit être conforme aux recommandations de Bruxelles Environnement (**code de bonne pratique 'Normes de rejet dans le cadre des travaux d'assainissement et des mesures de gestion du risque'**) concernant les normes d'émission à respecter pour différents polluants organiques et minéraux ainsi que pour les poussières (PM10) et les fibres d'amiante.

Le traitement des gaz pompés fait appel à différentes techniques utilisées seules (rarement) ou de manière modulaire formant ainsi une chaîne de modules de traitement successifs dont l'agencement et la complexité dépend de la composition des gaz à traiter. Compte tenu de l'évolution de la charge polluante des gaz au fur et à mesure du progrès du traitement du sol, cet agencement évolue généralement vers un dispositif de plus en plus simplifié.

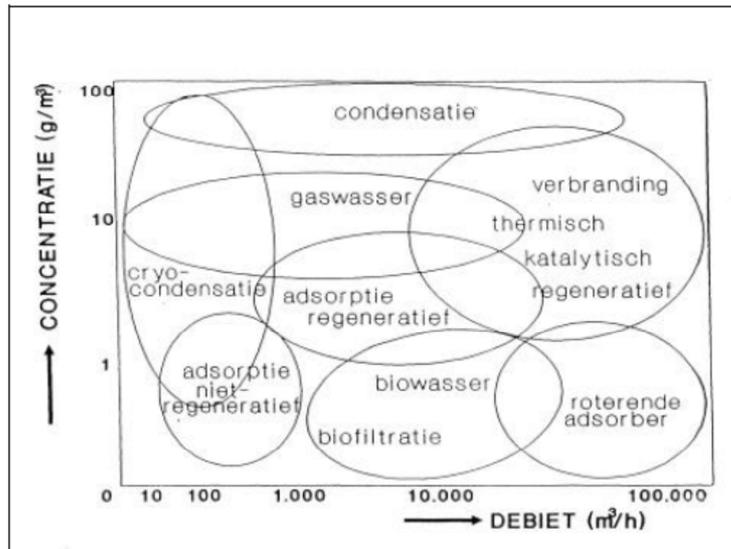
Les différentes techniques mises en œuvre pour le traitement en surface des gaz du sol sont reprises de manière synthétique dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : techniques de traitement des gaz extraits du sol (Extrait de « Soil Vapor Extraction and Bioventing » US Army Corps of Engineers, 3 June 2002, EM 1110-1-40001)

Table 5-4 Comparison of VOC Control Technologies						
Control Technology	Applicable Concentration Range ppm	Capacity Range L/s (cfm)	Removal Efficiency	Secondary Wastes	Advantages	Limitations
Thermal Oxidation	100-4,000	94-236,000 (200-500,000)	95-99%+	Combustion products	Up to 95% energy recovery is possible	Halogenated compounds may require additional control equipment downstream. Not recommended for batch operations.
Catalytic Oxidation	100-2,000	94-472,000 (200-100,000)	90-95%	Combustion products	Up to 70% energy recovery is possible	Thermal efficiency suffers with swings in operating conditions. Halogenated compounds may require additional control equipment downstream. Certain compounds can poison the catalyst (lead, arsenic, chlorine, sulfur, particulate matter).
Condensation	>5,000	47.2-9440 (100-20,000)	50-90%	Condensate	Product recovery can offset annual operating costs	Not recommended for material with boiling points <310°K. Condensers are subject to scale buildup, which can cause fouling.
Carbon Adsorption	0-5,000	47.2-28,300 (100-60,000)	90-98%	Spent carbon; collected organic	Product recovery can offset costs. Can be used as a concentrator in conjunction with another type of control device. Works well with cyclic processes.	Relative humidity must be adjusted to <50%. Ketones and aldehydes are not efficiently adsorbed.
Resins Adsorption	500-5,000	94.4-472,000 (200-100,000)	95-98%	Wastewater; captured particulate	Product recovery can offset annual operating costs	May require special scrubbing liquids. Equilibrium data needed for design. Packing is subject to fouling and plugging, if particulates are in the gas stream. Scale formation from adsorbent/adsorber interaction can occur.
Biofiltration	0-1,000	47.2-236,000 (100-500,000)	90-98%	Spent peat or compost or soil. For pelletized packed bed biofilters, periodic cleaning generates wastewater with biosolids	Direct conversion of VOCs to carbon dioxide. Operates at ambient temperature and pressure. Low relative cost.	Can only be applied for biodegradable VOCs. For peat or compost or soil biofilters, the contaminated air stream has to be humidified.
Internal Combustion Engine	>4,000	24-48 (50-100)	90-98%	Combustion products	Combines vacuum pump and offgas treatment.	Requires emissions monitoring; Little additional treatment possible
Flares	>4,000	24-47,200 (50-100,000)	90-98%	Combustion products	Can handle very high VOC concentrations and variations in feed rate/composition.	Substantial support equipment required; Little additional treatment possible

Le graphique reproduit dans la **figure 1** donne pour chacune des techniques envisagées, le domaine d'applicabilité en fonction de la charge en polluant du gaz et du débit à prendre en charge.

Figure 1 : domaines d'application des différentes techniques de traitement des gaz (Extrait du document « Code van goede praktijk, Het gebruik van bilofilters en actief koolfilters bij grondwatersanering »)



2.2. Description des techniques de traitement les plus courantes

2.2.1. Filtres biologiques

Selon cette technique, le gaz à traiter circule au travers d'un lit de support généralement composé de compost, écorces, tourbe, sable, ... et abritant les microorganismes responsables de la dégradation des composés polluants. Les organismes en charge de la biodégradation forment des biofilms à la périphérie des particules du support et entrent en contact avec les polluants lorsque ceux-ci sont adsorbés sur les particules du support et ensuite absorbés par la phase aqueuse hydratant les mêmes particules et occupant les micropores.

Idéalement, les microorganismes assurent la biodégradation des polluants jusqu'au stade ultime : formation de H₂O, CO₂, sels minéraux et formation de biomasse. Cette technique, lorsque applicable, est donc très avantageuse : faible coût de fonctionnement, faible dépense énergétique, peu de besoins en additifs et imputs et produits de dégradation non nocifs.

La biodégradation prenant place au sein des biofilms, la vitesse de disparition du polluant dans le gaz est contrôlée d'une part par la vitesse de transfert des polluants du gaz vers les biofilms et par la vitesse de la biodégradation au sein des biofilms.

Pour que s'établisse une situation d'équilibre, la vitesse de la biodégradation doit être équivalente à la vitesse des processus d'adsorption/absorption dans les biofilms.

2.2.1.1. Domaine d'application

Les biofiltres sont efficaces pour des débits de gaz allant de 1.000 à 50.000 m³/h. Les teneurs en polluants doivent rester limitées à 1- 5,0 g/m³. Dans ces conditions, même les polluants volatiles peu solubles peuvent être décomposés (constante de Henry allant jusqu'à 10). La prise en charge de gaz caractérisés par une charge plus importante exige la mise en œuvre de biofiltres de grande taille plus onéreux (en investissements et entretien) et requérant une surface importante.

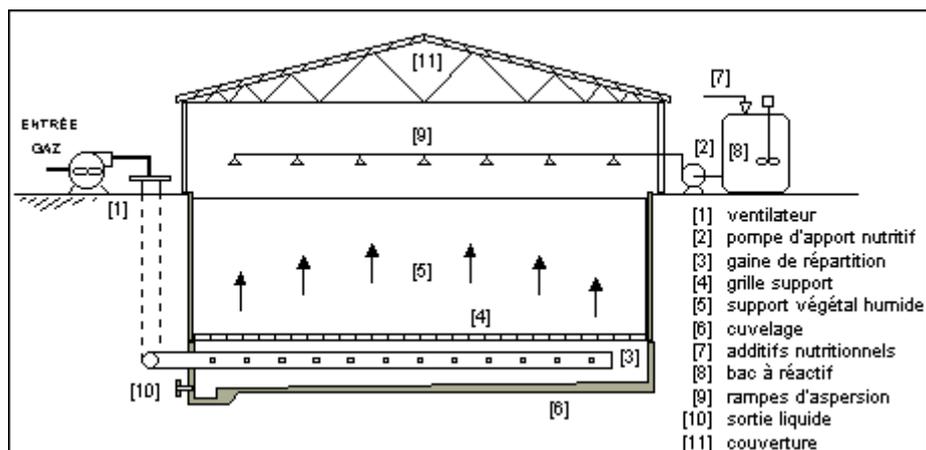
Les polluants à traiter doivent être biodégradables. Le gaz à traiter ne doit pas contenir des composés toxiques pour les microorganismes. Par ailleurs en cas de mélange de polluants dans les gaz, la biodégradation prend place de manière sélective de sorte que les composés moins prompts à se dégrader peuvent encore être présents en fin de passage au travers du filtre. En ce cas, le placement de biofiltres en série peut être requis.

2.2.1.2. Description du dispositif

Un biofiltre se compose typiquement des éléments suivants (voir la figure 2) :

- Un lit de support poreux dans lequel circule le gaz à traiter et abritant les microorganismes ;
- Un système d'adduction et de distribution du gaz (souvent à la base du filtre) ;
- Un dispositif d'humidification et d'apport d'éléments nutritifs ;
- Un système de rejet des gaz traités, avec point d'échantillonnage ;
- Un système de récupération et d'évacuation des liquides excédentaires ;
- Des parois revêtues d'une couche résistante aux acides.

Figure 2 : éléments constitutif d'un biofiltre classique (Extrait du site de Murgue-Seigle – TDG www.mstdg.com)



De nombreuses variantes existent : filtres à étage, filtres en plein air sujets aux précipitations et variations de température, filtres fermés, liquides de drainage évacuées ou réinjectés, injection des gaz par le haut ou par la base du filtre, ...

Une phase de prétraitement du gaz peut s'avérer nécessaire : filtration des poussières et aérosols, lavage ou humidification du gaz, ...

La hauteur des biofiltres varie généralement de 0,5 à 1,5 m. Une plus grande hauteur induit des pertes de charge trop élevée tandis qu'une plus faible hauteur augmente le risque de passages préférentiels.

2.2.1.3. Caractéristiques des filtres et de la biofiltration

Les paramètres d'importance sont les suivants :

- Le temps de résidence superficiel (Empty Bed Residence Time ou EBRT) donné par le ratio entre le volume du biofiltre et le débit du gaz traité. Ce paramètre surestime le temps de contact véritable puisqu'il tient compte du volume entier du filtre dans lequel le milieu support occupe une grande place ;

- Le temps de résidence véritable (True Bed Residence Time ou TBRT) qui équivaut au paramètre précédent multiplié par la porosité. Ce paramètre peut être augmenté soit en diminuant le débit, soit en augmentant le volume du filtre ou bien encore la porosité du support. Les temps de résidence varient typiquement de 25 secondes pour la prise en charge de faibles teneurs en composés organiques volatils à plus d'une minute en cas de fortes concentrations ;
- La charge de surface définie comme étant le débit horaire de gaz traité par unité de surface du filtre. On considère que la charge de surface maximale est de 600 m³/h.m² sans quoi le milieu support pourrait être entraîné ou les dépenses en énergie seraient exagérées en raison des pertes de charge trop élevées. En cas de charge polluante élevée du gaz à traiter, la charge de surface doit être maintenue à un bas niveau (une dizaine de m³/h.m²) pour assurer un rendement de destruction du polluant satisfaisant. Ce paramètre est parfois exprimé sous forme de vitesse de circulation du gaz (m/s) ;
- La charge en volume définie par le ratio entre le débit du gaz traité (m³/s) et le volume du matériau support (m³) ;
- La charge massale se définit comme la quantité de polluant entrant dans le filtre par unité de temps, divisée par le volume du matériau filtrant (g/h.m³).

2.2.1.4. Efficacité du traitement et capacité d'élimination

L'efficacité du traitement s'exprime en pourcentage du polluant présent dans le gaz disparu après passage dans le filtre. Ce paramètre donne une idée incomplète du fonctionnement du filtre vu qu'il dépend de la teneur en polluant du gaz, du débit et des dimensions du filtre. En général, on vise à atteindre un rendement de dégradation allant de 60 à 99 %. Les hydrocarbures volatils présentent en général de faibles rendements de dégradation.

La capacité d'élimination d'un filtre (EC) exprime la masse de polluant dégradé par volume de matériau filtrant et par unité de temps.

Lorsque la charge massale est faible, la capacité d'élimination lui est égale (100 % d'efficacité du traitement). Lorsque la charge massale augmente, il existe un point critique (charge critique ou EC critique) pour lequel la capacité d'élimination est plus petite que la charge massale (efficacité du traitement < 100 %). De manière empirique, on considère en général qu'une efficacité de traitement de 90 % peut être obtenue si la charge du filtre correspond à 70 % de la capacité d'élimination maximale du filtre. Le paramètre EC d'un filtre varie en fonction du composé à dégrader. Pour les composés organiques, l'EC est généralement de l'ordre de 1,5 à 2 kg/m³.j.

De manière à se prononcer sur l'efficacité d'un traitement, il convient de préciser, outre les paramètres EC et rendement, les teneurs en contaminants dans le gaz et le temps de résidence.

2.2.1.5. Paramètres du traitement

Type de matériau filtrant

Différents types de matériaux sont utilisés comme matériau support. Le **tableau 2** présente les avantages et inconvénients des principaux matériaux utilisés. Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- D'autres matériaux sont parfois utilisés mais de manière moins courante : écorces, sable, bruyère ou des mélanges de différents matériaux ;
- Selon certains auteurs, un volume poreux de plus de 80 % est souhaité, de même qu'une teneur en matériaux organiques de plus de 55 % ;

- Le filtre support se compose idéalement de particules de petit diamètre ($d < 10$ mm) développant une surface spécifique importante : de 300 à 1.000 m^2/m^3 ;
- Le charbon actif granulé (GAC) doit être enrichi en microorganismes et en nutriments. En outre, compte tenu de la basicité de ce matériau, une étape d'ajustement du pH doit être réalisée ;
- Les milieux synthétiques tels que les granulés de Styrofoam (mousse de polystyrène extrudé), nécessitent des apports continus en nutriments et en microorganismes résultant parfois dans des croissances incontrôlées de la biomasse ;
- Les mélanges les plus performants de matériaux sont réalisés en incorporant un matériau organique à grande surface spécifique (compost, tourbe) et une fraction grossière structurante telle que des billes de polystyrène, de l'argile poreuse, des granules de céramique ou de plastique, du charbon actif granulé, des éclats de lave, des morceaux d'écorce, de la sciure de bois, ... ;
- En cas d'utilisation de matériaux naturels, le matériau filtrant peut, en fin de traitement, être valorisé en agriculture en qualité d'amendement.

Tableau 2 : avantages et inconvénients des différents types de matériaux filtrants gaz (Extrait et traduit du document « Code van goede praktijk, Het gebruik van bilofilters en actief koolfilters bij grondwatersanering »)

Type de matériau	Compost	Tourbe	Sol	Charbon actif, perlite et autres matériaux inertes	Matériaux synthétiques
Densité des microorganismes présents à l'origine	Haute	Moyenne à basse	Haute	Nulle	Nulle
Surface spécifique	Moyenne	Haute	Moyenne à basse	Moyenne à Haute	Très haute
Perméabilité à l'air	Moyenne	Haute	Basse	Moyenne à haute	Très haute
Quantité de nutriments assimilables naturellement présents	Haute	Moyenne à haute	Haute	Nulle	Nulle
Capacité d'adsorption du polluant	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne à haute (C.A.)	Nulle à haute (matériaux avec coating de C.A.) à très haute (C.A.)
Durée de vie	2 à 4 ans	2 à 4 ans	>30 ans	>5 ans	>15 ans
Coûts	Bas	Bas	Très bas	Moyens à hauts	Très hauts
Faisabilité générale	Aisée, bon marché	Moyenne, problème de contrôle de la teneur en eau	Aisée, biofiltres faiblement actifs	Besoins en nutriments, risques de coûts élevés	Réservés aux prototypes et aux bio-trickling filters

C.A. = charbon actif

2.2.1.6. Humidité du matériau filtrant

L'humidité optimale du matériau filtrant dépend du type de matériau constitutif du filtre et des propriétés physiques des polluants à dégrader. En général, une teneur en eau de 40 à 60 % (sur base du poids humide) est considérée comme optimale.

La disponibilité en eau pour les microorganismes biodégradeurs n'est pas idéalement mesurée par la teneur en eau du substrat filtrant étant donné qu'une bonne partie de l'eau y est liée aux particules constitutives sans être disponible pour le métabolisme microbien.

Une mesure plus adéquate est l'activité de l'eau dans la phase gazeuse du filtre, telle que donnée par la relation :

$$a_w = P_s/P_w = RV/100 \text{ où}$$

a_w = activité de l'eau

P_s = pression partielle de la vapeur d'eau dans le filtre

P_w = pression de vapeur saturée de l'eau pure

RV = l'humidité relative de la fraction gazeuse

Les bactéries peuvent se développer dans des conditions d'humidité avec $a_w > 0,94$, les levures dans des conditions d'humidité avec a_w allant de 0,88 à 0,95 et les moisissures avec a_w allant de 0,7 à 0,85. Il en résulte qu'en cas de conditions de faible humidité relative, les moisissures seront prépondérantes sur le milieu filtrant au détriment des bactéries. L'assèchement du milieu filtrant se produit lorsque le gaz entrant n'est pas saturé en eau à 100 %, en résultats des réactions d'oxydation exothermes, de la dégradation exotherme du matériau support (compost), des échanges thermiques du filtre avec le milieu ambiant.

La déshydratation des filtres peut être évitée par les moyens suivants :

- Humidification des gaz entrants : brumisation, tours d'humification, ... ;
- Apport d'eau au matériel filtrant en surface (aspersion) ou entre les différentes couches ;
- Une combinaison des deux méthodes précédentes ;
- Injection de vapeur avec également pour objectif le réchauffement du gaz entrant.

Un contenu en eau trop élevé du matériau filtrant peut résulter de l'apport de gaz à traiter saturé en eau à une température supérieure à celle du filtre, de l'apport des précipitations sur les filtres ouverts, ...

2.2.1.7. Température des filtres

Les populations microbiennes actives dans les biofiltres sont essentiellement des microorganismes mésophiles opérant de manière optimale entre 10 °C et 40 °C. Des températures supérieures à 40 °C peuvent accélérer le compostage des matériaux filtrant organiques (risques de compaction).

Les variations brusques de températures peuvent se révéler problématiques. Au contraire, les populations microbiennes peuvent s'adapter à des variations progressives de température.

2.2.1.8. PH

Le pH optimal pour la croissance des microorganismes se situe entre 7 et 8. En présence de valeurs plus faibles, les moisissures prennent l'avantage sur les bactéries (avec des conséquences positives ou négatives sur l'efficacité du traitement).

En cours de fonctionnement, le pH du filtre peut diminuer suite à la production d'acides organiques ou suite à l'oxydation de composés contenant du soufre, du chlore ou de l'azote.

Pour porter remède à l'acidification des filtres, différentes solutions techniques peuvent être mises en œuvre :

- Incorporation de graviers de calcaire ou de dolomie, ou d'autres matériaux neutralisants (coquilles d'huitres, ...) au matériau filtrant ;
- Lessivage périodique du filtre ;
- Apport de solutions basiques (soude, chaux, bicarbonate, phosphates, ...) avec un risque de salinisation du milieu filtrant.

2.2.1.9. Perte de charge

La perte de charge enregistrée lors de la circulation du gaz au travers du filtre est donnée par la relation :

$$\Delta P = a \cdot u^b \cdot h \quad \text{où}$$

ΔP est la perte de charge en Pa

u est la vitesse (superficielle) du gaz en m/s

a et b sont des constantes dépendantes du type de matériau filtrant mis en œuvre

h est la hauteur du filtre en m

A titre d'exemple, la constante **a** prend des valeurs variant de 200 (bruyère pure) à 6.000 pour un mélange tourbe-bruyère. La constante **b** varie de 1,2 (fibres de cocos) à 1,69 (éclats d'écorces).

La perte de charge dépend également de l'importance de la biomasse développée dans le filtre et de la compaction des matériaux. Une faible perte de charge est révélatrice de la circulation du gaz au travers de chemins préférentiels au sein du filtre.

2.2.1.10. Nutriments

Le développement des populations microbiennes exige une charge minimale en composés organiques volatils du gaz à traiter. On considère qu'en dessous de 14 g/m³.j de composés organiques, le développement bactérien n'est pas optimal. Le matériau organique constituant le filtre peut alors constituer une source de C alternative avec les risques de minéralisation et compaction que cette situation peut engendrer.

Les autres nutriments nécessaires sont l'azote, le phosphore et le soufre généralement présents en quantités suffisantes dans les matériaux filtrants de type organiques (composte et tourbe). Pour ces types de matériaux, la disponibilité de ces nutriments risque d'être limitante lorsque la charge polluante du gaz est supérieure à 40-50g/m³.h.

Selon les auteurs, la teneur minimale en azote disponible (NH₄-N et NO₃-N) du matériau filtrant varie de 200 mg à 1g/kg de matériau filtrant sec.

L'apport de nutriments en quantités suffisante peut être effectué soit :

- Par incorporation au matériau filtrant avant le lancement du traitement. L'apport de N : P : K sur la base de 4 : 1,5 : 1,5 g/kg de matériau filtrant sec est généralement jugé suffisant ;
- Par apports périodiques de solutions nutritives de composition C : N : P : équivalente à 100 : 5 : 1 ou 100 : 5 : 0,5.

Pour les matériaux filtrants synthétiques, l'apport de nutriments est systématiquement requis, souvent par apport de solutions contenant du NH₄NO₃ et K₂HPO₄.

Les inconvénients liés à l'apport de nutriments sont l'augmentation de la salinité et l'occlusion du filtre due à la croissance exagérée de la biomasse bactérienne.

2.2.1.11. Types de microorganismes et inoculation

Les organismes actifs dans les biofiltres sont les bactéries et les moisissures. Ces dernières se développent en conditions de bas pH et basse humidité.

Les biofiltres composés de matériau support de type organiques peuvent dégrader les composés facilement biodégradables (alcools, cétones, ...) sans la nécessité d'inoculation. Dans les autres cas, l'inoculation à l'aide de boues de station d'épuration ou d'extrait de sol peut se révéler suffisante. Pour la décomposition de composés plus résistants (composés chlorés et composés aromatiques, ...), il peut être utile d'inoculer à l'aide de souches spécifiques de manière à augmenter l'efficacité du traitement ou diminuer la période d'acclimatation. Cette inoculation peut faire appel à des souches de collection, des échantillons de sols pollués par ces mêmes composés, à du matériau filtrant extraits de biofiltres ayant traité ces mêmes composés.

2.2.1.12. Paramètres du gaz à traiter

La charge en polluants amenée au filtre doit être aussi régulière que possible et ne pas dépasser certaines limites. Une charge trop importante peut être toxique pour les microorganismes et une charge trop faible n'apporte pas suffisamment de nourritures aux organismes, ce qui diminue la vitesse de la dégradation et peut entraîner un risque de libération des polluants temporairement adsorbés sur le matériau filtrant.

Les microorganismes opérant en aérobie utilisent l'O₂ du gaz comme accepteur d'électron. Leur survie est assurée si la teneur en O₂ est au minimum de 5 à 15 %. Le manque d'O₂ peut constituer une limite à l'efficacité du filtre pour les gaz pauvres en O₂ et fortement chargés en composés dégradables (teneurs de l'ordre de 100g C/m³.h). Dans ce cas, des produits intermédiaires peuvent être formés.

La charge en poussières et particules solides du gaz à traiter ne peut pas dépasser 20 à 50 mg/m² sans quoi des risques d'occlusion du filtre peuvent exister.

2.2.2. Traitement biologique après lavage du gaz (ou biolavage)

Ce type de traitement s'adresse aux gaz chargés en polluants biodégradables et solubles dans l'eau (Constante de Henry $H < 1$).

Cette technique fait appel, d'une part, à un laveur de gaz (dispositif en colonne ou autre) et, d'autre part, à un bioréacteur. Cette technique repose donc sur la dégradation par les microorganismes des contaminants organiques dissous dans l'eau et aboutissant à la production de CO₂, d'eau et de composés minéraux.

Différents systèmes sont utilisés :

- Biorotor où la biomasse est alternativement en contact avec l'air ambiant et l'eau à traiter ;
- Les filtres statiques : de type sec ou de type immergé, isolés ou en compartiments successifs ;
- Les lits de filtration dynamique, perpétuellement en mouvement.

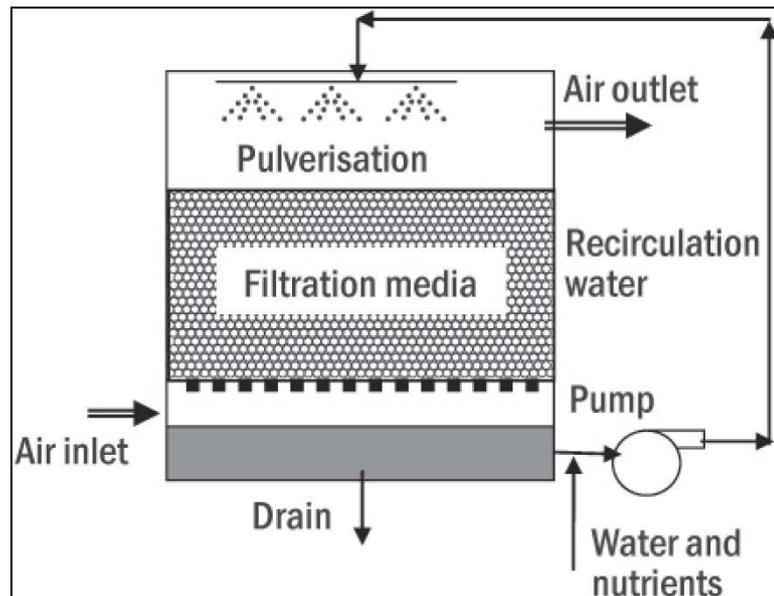
Les paramètres régissant le fonctionnement des bioréacteurs en milieu aqueux sont décrits dans le Code de Bonne Pratique Auxiliaire n°1 consacré au traitement des eaux pompées.

2.2.3. Biofiltres en milieu aqueux (bio-trickling filters)

Ces dispositifs sont efficaces pour la prise en charge de polluants solubles (constante de Henry < 1).

La **Figure 2** montre le schéma d'un bio-trickling filter, tel que couramment utilisé pour réduire les odeurs émanant d'installations agricoles ou agro-industrielles.

Figure 2 : schéma de fonctionnement d'un bio-trickling filter) (extrait du site internet www.intechopen.com)



Ce dispositif se compose d'un lit support abritant une couche de microorganismes au travers de laquelle la phase liquide circule par gravité. Le gaz à traiter circule à contre-courant et se libère progressivement des polluants suite à leur passage vers la phase liquide.

2.2.4. Filtres à charbon actif

Cette technique s'appuie sur le grand pouvoir adsorbant du charbon actif en raison de sa surface spécifique élevée (de l'ordre de 500 à 2000 m²/g). Elle est applicable à un grand nombre de composés organiques. Deux caractéristiques physiques du charbon actif, variant selon le type et l'origine, sont : la cohérence des particules et leur répartition granulométrique.

Une installation de filtration comporte toujours au minimum deux filtres de charbon actif disposés en série, de sorte que le deuxième puisse assurer la filtration en cas de saturation du premier. Après usage, le charbon actif peut être régénéré par oxydation des composés adsorbés au four. Cette opération entraîne la perte de 5 à 10 % du charbon actif et une baisse d'efficacité.

2.2.4.1. Paramètres du traitement

Charge en polluant du gaz à traiter

La filtration sur charbon actif s'adresse au traitement des gaz à faible charge polluante. Les teneurs maximales à prendre en charge sont de l'ordre de 10.000 ppm.

L'adsorption des composés polluants dans les capillaires du charbon prend place après condensation et adsorption, réactions exothermiques libérant de la chaleur. En conséquence, il est recommandé que les teneurs en composants à fixer soient inférieures à 1/3 de la LEL (Lowest Explosive Limit). Par ailleurs, les colonnes d'adsorption doivent être équipées d'un système de surveillance de la température et d'un système de sécurité consistant en l'injection d'un gaz inerte (N₂). Cette précaution est surtout nécessaire en cas de traitement de gaz chargés en gaz facilement oxydables tels que les alcools, les cétones et aldéhydes, ... pouvant libérer de grandes quantités de chaleurs lors de leur oxydation.

Température du gaz

La température du gaz à traiter doit rester $< 40^{\circ}\text{C}$.

Humidité du gaz à traiter

L'humidité relative du gaz est idéalement $< 50\%$, sans quoi l'efficacité de l'adsorption diminue.

Débit des gaz

La filtration sur charbon actif est adaptée à des débits importants.

Présence de poussières et aérosols

La présence de poussières et particules solides dans le gaz doit être contrôlée, sous peine d'occlusion du filtre.

2.2.4.2. Caractéristiques des polluants à fixer

Les composés avec une masse moléculaire élevée sont plus facilement adsorbés que les composés légers.

Les composés caractérisés par une température d'ébullition $> 40^{\circ}\text{C}$ sont plus facilement adsorbés.

Les composés apolaires sont bien adsorbés par le charbon actif. Pour les composés polaires, d'autres matrices d'adsorption sont disponibles : oxydes d'Al, gel de silice, zéolithes et tamis moléculaires.

La possibilité d'adsorption d'un composé particulier sur le charbon actif peut être documentée à l'aide des isothermes d'adsorption donnant pour un composé particulier, à une température donnée, la relation entre la teneur du composé dans la phase gazeuse (g/m^3) et la teneur adsorbée à l'équilibre sur la phase filtrante ($\text{g}/100\text{g}$).

Par exemple : Les rendements couramment obtenus pour les composés volatils BTEX sont les suivants :

- Benzène : 92-97 % ;
- Ethylbenzène : 97-99 % ;
- Xylène : 97-98 % ;
- Toluène : 91-98 %.

2.2.4.3. Techniques associées

La filtration sur charbon actif est principalement utilisée en phase de finition.

2.2.4.4. Fiabilité

Le filtre à charbon actif est une technique largement éprouvée et fiable, réclamant peu d'entretien.

2.2.4.5. Sensibilité

Les filtres à charbon actif sont sensibles au colmatage (matières en suspensions, dépôts, ...). La croissance de micro-organismes est bénéfique au résultat du traitement mais cette biomasse empêche l'adsorption des composés non dégradés.

2.2.4.6. Impact sur l'environnement

Déchets à prendre en charge : le charbon utilisé peut être soit régénéré par désorption à haute température, soit détruit par incinération. Cette dernière solution s'avère souvent être la plus économique.

2.2.4. Oxydation thermique

Ce traitement s'opère en élevant la température du gaz jusqu'à un niveau suffisant pour induire l'oxydation (combustion) des composés polluants conduisant à la production de CO₂ et H₂O. La chaleur nécessaire pour élever la température vient de l'énergie dégagée par la réaction d'oxydation et par l'apport d'énergie complémentaire (électrique, combustion d'un combustible d'apport, ...).

L'oxydation thermique est à même de traiter n'importe quelle charge en polluant organique volatil pourvu que l'O₂ soit présent en quantité suffisante (quantités stœchiométrique ou en excès).

L'oxydation thermique peut faire appel à différentes techniques :

- Bruleurs à flamme ;
- Oxydation thermique sans flamme ;
- Oxydation thermique régénérative ;
- Oxydation catalytique.

L'oxydation catalytique est la technique la plus communément utilisée. La présence du catalyseur permet de diminuer la température du traitement jusqu'à 150-480 ° C. Les catalyseurs utilisés sont soit des métaux précieux (palladium, platine) sur support de céramique, soit des pièces en acier inoxydable monolithique (peigne de miel), soit encore des oxydes métalliques (chrome, aluminium, cuivre, manganèse) utilisés pour le traitement des composés chlorés.

Différents contaminants sont connus pour désactiver les catalyseurs ou en raccourcir la durée de vie : le plomb, le mercure, le zinc, l'arsenic, l'antimoine, le cuivre, l'étain, le fer, le nickel, le chrome, le soufre, le phosphore, le silicone. Les oxydants à catalyseurs peuvent surchauffer si le gaz est trop riche en combustible. Ce risque est à prendre en compte lorsque les vapeurs extraites dépassent 10 % de la LEL.

Opérant dans de bonnes conditions, les catalyseurs sont à remplacer tous les 3 ans.

Le traitement par oxydation catalytique de gaz contenant des composés chlorés pourrait donner naissance à des produits de dégradation incomplète tels que les dioxines (CDD) ou les chlorodibenzofuranes (CDF), si l'apport en O₂ ou la température ne sont pas suffisants, ou si le gaz contient des particules solides.

Ce risque n'a pas été établi pour le traitement de vapeurs extraites du sol.

Les autres méthodes d'oxydation thermiques requièrent des températures allant de 650 à 1.100 °C. Ces méthodes ne sont économiquement intéressantes qu'en début de traitement lorsque les gaz extraits sont riches en composés combustibles. Par la suite, ce type de traitement requiert une addition importante de combustibles d'apport.

En cas de formation de gaz trop acides en résultat de l'oxydation, un lavage des effluents gazeux peut être nécessaire avant leur libération dans l'atmosphère.

2.2.5. Condensation

Cette méthode de traitement est utilisée pour la récupération des hydrocarbures à haute température d'ébullition. Elle est utilisée lorsque le chauffage du sol, donnant naissance à des vapeurs à température élevée, est mis en œuvre.

2.2.6. Autres méthodes de traitement

La mise en place de torchères est rarement utilisée compte tenu des coûts élevés de mise en place de ces installations. Par ailleurs, les teneurs en combustibles du gaz à traiter sont rarement insuffisantes pour compenser le coût des installations.

L'utilisation de moteurs à combustion interne n'est également pas fréquemment mise en œuvre, compte tenu de la sensibilité des moteurs (diesel) aux variations des teneurs dans les gaz à traiter (surtout l'humidité des gaz).

3. Description des variantes – agencement des différentes techniques

En fonction des caractéristiques des gaz à traiter, les différentes techniques peuvent être mises en œuvre de manière séquentielle, formant ainsi une chaîne de traitement adaptée.

En pratique, les modules les plus souvent utilisés sont : le séparateur gaz/condensat, le filtre biologique (avec en préalable une étape éventuelle d'humidification), le filtre à charbon actif (avec en préalable une étape éventuelle de dissécatation). Les autres modules sont utilisés de manière plus ciblée pour des cas spécifiques (oxydation catalytique pour les vapeurs contenant des composés chlorés).

4. Objectifs poursuivis : panache versus noyau

Les gaz pompés pour le traitement du sol par SVE proviennent généralement du noyau de pollution. Dans les zones moins polluées du panache, le traitement par bioventing sera préféré. Dans ce cas, les gaz extraits du sol seront très faiblement si pas du tout chargés en polluants volatils. La station de traitement doit être en mesure de traiter les gaz issus de l'une ou l'autre des zones traitées, soit selon des séquences différentes de la chaîne de traitement, soit après mélange dans un réservoir tampon.

5. Examen à priori de la faisabilité technique

Le choix des techniques à mettre en œuvre doit prendre en compte les éléments suivants :

- La durée prévue du traitement et la possibilité d'amortir les coûts d'installation de dispositifs plus ou moins élaborés. La mise en œuvre des filtres biologiques demande des délais importants pour l'acclimatation des microorganismes et la constitution des biomasses nécessaires au traitement. La mise en œuvre de biofiltres n'est donc pas adaptée aux traitements de courte durée ;
- La biodégradabilité des polluants volatils à traiter, de manière à envisager à priori la faisabilité d'un traitement par voie biologique ;
- La nature des polluants présents dans le gaz à traiter : présence de composés chlorés, composés aromatiques-aliphatiques, nature polaire ou apolaire, ... ;
- La charge polluante du gaz à traiter, dans les étapes initiales du traitement et les étapes suivantes ;
- La surface disponible pour la mise en place des installations de traitement. Certaines installations telles que les filtres biologiques peuvent être volumineuses. Le stockage des matériaux usés (charbon actif), des condensats ou des intrants doit être possible ;
- La présence de cibles sensibles à proximité du lieu de traitement : zones d'habitat, écoles, susceptibles d'être impactées par les nuisances : bruit des pompes, odeurs, rejets gazeux, ...

6. Examen spécifique de la faisabilité du traitement

6.1. Paramètres à mesurer

Le **tableau 3** ci-après présente les paramètres qui doivent être mesurés et/ou quantifiés avant le lancement **du traitement** impliquant une étape de traitement des gaz extraits du sol. Ce tableau représente une check liste des données devant être acquises, soit au cours des phases d'études successives (étude de reconnaissance, étude détaillée, étude de risques) soit lors de la rédaction du projet d'assainissement ou de gestion du risques, **soit avant l'exécution de travaux ne nécessitant pas de projet spécifique**. Ce tableau présente, d'une part, les paramètres devant être connus quelle que soit la chaîne des technologies mises en œuvre lors du traitement et, d'autre part, les paramètres plus spécifiquement requis pour l'application de l'une ou l'autre des techniques.

Tableau 3 : paramètres des gaz à extraire à mesurer en fonction des types de techniques de traitement envisagées

Paramètres	Moyen de mesure	Commentaire
Paramètres nécessaires quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser		
Débits prévus des gaz à traiter		Evaluation des variations attendues
Paramètres physico-chimiques : T°, teneur en O ₂ , en CO ₂	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	Données disponibles au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques
Teneurs en polluants justifiant l'intervention	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	Teneurs initiales connues au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques. Estimation de l'évolution des teneurs lors du traitement.
Teneurs en polluants dépassant les NA et qui devront être traités avant rejet	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	Teneurs initiales connues au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques. Estimation de l'évolution des teneurs lors du traitement.
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	
Humidité des gaz extraits (Humidité relative)	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	
Paramètres spécifiques pour les filtres à charbon actif		
Présence de polluants polaires et apolaires	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	En cas de présence de composés polaires, choix d'un autre milieu d'adsorption : oxyde d'Al, zéolithes, gels de silice, ...
Paramètres spécifiques pour le traitement par filtre biologique		
Biodégradabilité des polluants présents	Données de la littérature	
Paramètres spécifiques pour l'oxydation thermique		
Contenu énergétique des gaz à traiter	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	Facultatif, si nécessaire au design de l'installation et à la quantification des besoins en combustible d'appoint
Paramètres spécifiques pour l'oxydation catalytique		

Teneurs en éléments ou composés limitant l'efficacité ou la durée de vie du catalyseur : Pb, Hg, Zn, As, Sb, Cu, Sn, Ni, Cr, S ²⁻ , Silicose, P	Prélèvement dans les puits de pompage et analyse	
--	--	--

6.2. Nécessité d'essais préalables au laboratoire

Les différentes techniques exposées ci-dessus sont des techniques éprouvées dont l'efficacité peut être estimée sur la base des informations reprises dans le **tableau 3**.

6.3. Nécessité d'un test pilote

L'AGRBC du 29/03/2018 fixant le contenu type du projet de gestion du risque, du projet d'assainissement, de la déclaration préalable au traitement de durée limitée et des modalités d'affichage du traitement de durée limitée prévoit la définition, la nécessité et le contenu type d'une étude pilote.

Dans la mesure où les données recueillies apparaissent suffisantes, il n'y a pas lieu de mettre en œuvre une étape de test pilote sur le terrain. L'expert formulera et justifiera ses recommandations à cet égard.

Pour le traitement par voie biologique, compte tenu du temps nécessaire pour la mise en place et l'adaptation de la biomasse, la calibration et la fixation des conditions optimales pourront intervenir lors de la phase de lancement. Durant cette phase d'adaptation, une option alternative de traitement devra être opérationnelle.

7. Description d'une installation type

Compte tenu de la diversité des séquences techniques pouvant être mises en œuvre, il est malaisé de donner une description type d'une installation de traitement. Les stations peuvent opérer en continu ou de manière intermittente.

Les différents éléments présents peuvent être regroupés en :

- Le système de collecte et de transport gaz à traiter : conduites (de préférences enterrées) et collecteurs comportant des dispositifs de contrôle (débitmètres, sondes de température, manomètres, explosimètres) et des points d'échantillonnage du gaz pompé ;
- Un réservoir tampon éventuel (en cas de variations de débits et de teneurs) ;
- Les modules techniques de prétraitement : unité de séparation gaz/condensat, filtre, colonne d'humidification, filtre de séchage, ... Ces modules sont également équipés d'instruments de contrôle, de points d'échantillonnage et de systèmes de régulation ;
- Les modules techniques du traitement proprement dit : filtre à charbon actif, bio-filtres, four d'oxydation thermique, unité d'oxydation thermique, torchère, ... également équipés d'instruments de contrôle, de points d'échantillonnage et de systèmes de régulation ;
- Le point de rejet.

Le point de rejet doit déboucher à l'air libre, en dehors de la projection verticale d'un bâtiment, à au moins à 3 mètres au-dessus du sol et au moins de 3 mètres de toute ouverture d'un quelconque bâtiment.

A la sortie du traitement, un point d'échantillonnage sera impérativement placé.

Les déchets solides produits tels que le charbon usé, ... sont stockés avec les précautions nécessaires compte tenu de leur caractère polluant ou dangereux.

Les déchets liquides (condensats ou liquide de drainage des filtres biologiques) seront pris en charge : réinjection dans le filtre biologique, stockage et envoi vers un centre de traitement en dehors du site, traitement sur site et ensuite rejet dans le réseau d'égouttage public.

Si nécessaire, un dispositif de traitement des effluents liquides sera présent de manière à les prendre en charge sur site. On rappellera que le traitement des effluents liquides fait l'objet d'un code de bonne pratique auxiliaire distinct.

8. Descriptif de l'installation qui sera mise en place

Le dispositif qui sera mis en place dans le cadre du traitement sera décrit en fournissant, au minimum, les indications suivantes reprises dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : données à fournir concernant le système de traitement des gaz extraits du sol

Partie du dispositif	Élément	Données du descriptif
Paramètres nécessaires quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser		
Dispositif de collecte et d'amenée des gaz	Conduites et collecteurs	Diamètres, type (matériaux), localisation, débits attendus
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, explosimètres, sondes de températures, point d'échantillonnage
	Séparateur	Séparateur gaz/fraction liquide (condensats)
	réservoir tampon éventuel	Volume, localisation,
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
	Point de rejet	Localisation, point d'échantillonnage
Dispositifs annexes	Ajustement de la teneur en eau (humidification, dessiccation, aération, ...)	Volume, descriptif technique, ...
Paramètres spécifiques pour le traitement par biofiltre		
Filtre biologique	Biofiltre ou filtre à bio-trinckling, Biorotor avec lavage du gaz, ...	Type, dimension, matériau filtrant, débits, temps de résidence superficiel et réel, charge de surface et charge massale attendue, filière de prise en charge du matériau filtrant et de la biomasse
	Dispositif d'apport des nutriments	Teneurs en N, P, K initiales, dispositifs d'apports en N et P (apports en aérosol dans le gaz entrant, aspersion du filtre par des solutions nutritives, lessivage intermittents, ...)
	Dispositif d'humidification	Apport d'eau par humidification des gaz, aspersion du filtre, rinçage intermittent)
	Dispositif de contrôle de l'acidification	Incorporation de matériau neutralisant (calcaire, dolomie, ...), lessivage périodique, apport de solutions neutralisante, ...
	Dispositif d'inoculation	Apport au démarrage de boues de station d'épuration, de matériau filtrant issu d'un filtre traitant le même type de composé, de souches bactériennes adaptées, ...
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt (gel), débitmètre et manomètres à l'entrée et la sortie du filtre (mesure de la perte de charge), sondes de température, dispositif de prélèvement dans le massif filtrant,

Paramètres spécifiques pour la filtration sur charbon actif

Filtres à charbon actif	Batterie de filtres	Type, capacité d'adsorption, dimensions, débits, vitesse de passage et temps de contact, fréquence de remplacement, quantités estimées de charbon nécessaires
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, sondes de températures, points d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt et éventuellement d'injection de gaz inerte (N ₂)

Paramètres spécifiques pour l'oxydation thermique

	Type de four	Dimensions du four, type (avec flamme-sans flamme), quantités et type de combustible d'apport /m ³ de gaz traité, débits, fréquence de nettoyage, produits intermédiaires possibles
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, point d'échantillonnage, sondes de T°
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt

Paramètres spécifiques pour l'oxydation catalytique

	Type de four à oxydation	Dimensions (surface), type de catalyseur, débits traités, fréquence de nettoyage et remplacement des catalyseurs, produits intermédiaires possibles
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres - point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt

La figure 3 présente un schéma conceptuel d'une unité de traitement des gaz.

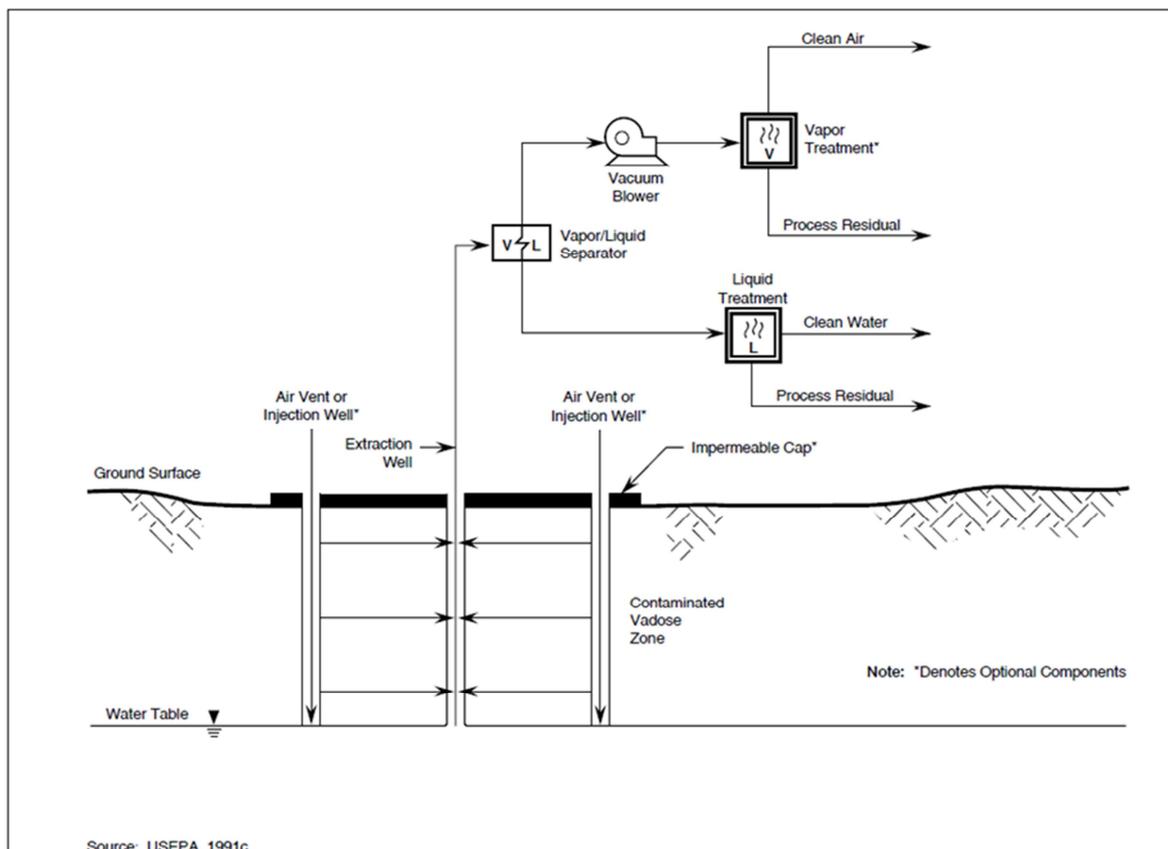


Figure 3 : installation type (extrait de *Soil Vapor Extraction and Bioventing, Us Army Corps of Engineers, 2002*)

9. Limitation des incidences du projet sur l'environnement : odeurs, bruits, poussières

9.1. Points à prendre en compte

En fonction de l'occupation actuelle et future du site et de ses alentours immédiats, les points suivants sont à prendre en compte :

- Nuisances pour la qualité de l'air au niveau de la station de traitement et de ses alentours immédiats : teneurs en gaz nocifs et odeurs ;
- Risques d'incendies et d'explosion ;
- Nuisances acoustiques.

9.2. Nuisances pour la qualité de l'air

L'air en contact direct avec les installations de traitement peut être contaminé de différentes façons selon les techniques mises en œuvre :

- Dégagement de vapeurs de polluants volatils présents dans les gaz à traiter ;
- Polluants encore présents dans les effluents gazeux issus du traitement.

De manière à prévenir le risque de dissémination de vapeurs nocives ou odorantes vers les cibles sensibles susceptibles d'être présentes sur le site et ses abords immédiats, l'étanchéité des installations fera l'objet d'un soin particulier.

La qualité des effluents gazeux fera également l'objet d'un suivi continu.

Comme précisé dans la section traitant de la supervision du traitement, lors du lancement des opérations, et deux semaines après, un examen de la qualité de l'air à proximité des installations de traitement des gaz extraits sera effectué si des cibles sensibles sont présentes à proximité immédiate du chantier (zones d'habitat, écoles, ...). En cas de plaintes répétées des riverains concernant la présence d'odeurs résultant du traitement, une campagne de mesures de la qualité de l'air devra également intervenir.

Le point de rejet doit déboucher à l'air libre, en dehors de la projection verticale d'un bâtiment, à au moins à 3 mètres au-dessus du sol et au moins de 3 mètres de toute ouverture d'un quelconque bâtiment.

L'émission de poussières n'est pas susceptible de résulter de la mise en opération d'une installation de traitement des gaz extraits du sol.

9.3. Risques d'incendie et explosion

Les réactions d'oxydation, surtout en présence de catalyseurs, d'adsorption sur filtre à charbon actif, génèrent des quantités de chaleur appréciables. La présence d'oxygène dans les gaz traités peut être responsable de conditions propices à l'apparition d'incendies.

L'extraction des gaz du sol riches en composés volatils peut amener à la création de conditions explosives dans les conduites et les réservoirs. Des explosimètres doivent donc être mis en place à différents endroits du dispositif : au niveau des canalisations de collecte des gaz extraits, au niveau des installations de traitement,... Ces explosimètres doivent être reliés à un système d'alerte,

ouverture automatique et entrée d'air et, si nécessaire arrêt du fonctionnement en cas de dépassement de la valeur de 10 % de la LEL (Lower Explosive Limit).

9.4. Risques de dissémination des composés dangereux et toxiques

Les risques de dispersion non contrôlée des produits liquides (condensats) résultant du traitement et temporairement stockés sur site sont à prendre en compte.

9.5. Nuisances acoustiques

Des nuisances acoustiques pour les personnes résidant aux alentours du chantier peuvent résulter du fonctionnement des pompes et d'un générateur d'électricité dans les zones non raccordées à un réseau.

Les mesures aptes à minimiser ces nuisances doivent être prises :

- Mise en place des installations à une distance raisonnable des zones d'habitat ;
- Mise en place des installations bruyantes dans des caissons ou conteneurs acoustiquement bien isolés ;
- Régulation des horaires de fonctionnement afin d'éviter les nuisances nocturnes en cas de fonctionnement intermittent.

9.6. Conformités aux cadres légaux existants

Pour les nuisances atmosphériques, les normes à l'émission pour les gaz rejetés dans l'atmosphère sont données dans le code de bonne pratique 'Normes de rejet dans le cadre des travaux d'assainissement et des mesures de gestion du risque'. Les impositions renseignées au permis d'environnement prédélimitées doivent également être respectées.

Les normes de qualité de l'air à l'immission dans l'air extérieur pour mesurer l'importance de la contamination résultant de la mise en service d'un dispositif de pompage des gaz du sol ne sont pas disponibles en Région de Bruxelles-Capitale. Dans une première approche, les teneurs mesurées en polluants volatils sont comparées aux valeurs disponibles sur la plateforme S-Risk © (Substance data sheets, <https://s-risk.be/documents>). En cas de dépassement de celles-ci, une vérification de l'étanchéité des installations s'impose. Dans les zones sujettes à un niveau élevé de pollution atmosphérique ambiante (voies à trafic intenses, zones industrielles, ...) une opération de vérification sera déclenchée si le niveau de contamination de l'air à proximité des installations dépasse le niveau de contamination ambiant mesuré sur une période de 24 h.

En matière de perception d'odeurs, il n'existe pas de seuil légal en vigueur pour les différents composés en Région de Bruxelles-Capitale. Une vérification de l'étanchéité des installations sera nécessaire en cas de plaintes répétées des riverains.

En matière de nuisances acoustiques, le niveau de bruit tolérable généré par les chantiers de traitement de la nappe aquifère par pompage est réglementé par l'Ordonnance du 17.07.1997 et son arrêté d'exécution du 24 novembre 2002 relatif à la lutte contre les bruits et les vibrations par les installations classées. Dans les zones à niveau de bruit ambiant élevé (voies, zones industrielles actives, ...) il convient de comparer le niveau mesuré de l'impact des installations au niveau de bruit ambiant.

10. Supervision du traitement

10.1. Mesures de surveillance : dispositif type

Compte tenu de la diversité des séquences techniques qui peuvent être mises en œuvre, la description d'un dispositif type est malaisée. Tout au plus peut-on mentionner :

- Dispositif type commun à tous les types d'installation :
 - o Au niveau du système de collecte (conduite, collecteur ou bassin tampon) des gaz à traiter : débitmètres, sonde de température, manomètres, points d'échantillonnage, explosimètres ;
 - o Au niveau du point de rejet des effluents gazeux : débitmètres, sonde de température, point d'échantillonnage ;
- Dispositifs propres à chaque module ou groupe de modules techniques de la séquence de traitement : débitmètre d'entrée, manomètre et sonde de température éventuels, points d'échantillonnage à l'entrée et à la sortie.

10.2. Mesures de supervision : paramètres de supervision du traitement et de fréquence

Les paramètres de supervision du traitement et la fréquence des mesures sont donnés dans le **tableau 5** suivant :

Tableau 5: fréquences et paramètres des opérations de supervision du traitement

Paramètres	Moyen de mesure	Paramètre	Fréquence minimale *	Commentaires
Paramètre nécessaire quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser				
Débits des gaz à traiter	Débitmètres dans le système de collecte	Débits (m ³ /s) et volumes cumulés	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Pressions et température des gaz entrant (et sortant) dans la station de traitement	Manomètres et sondes de température au niveau des puits	Dépression (Pa) et Température (°C)	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Pour le calcul des volumes extrait en unités normalisées (T° et Pressions standards)
Teneurs en polluants volatils dans le gaz à traiter	Prélèvement dans le(s) point(s) d'échantillonnage situés dans le réseau de collecte	Teneurs en polluants justifiant l'intervention. Teneurs en polluants présents > normes d'émission et qui devront être traités avant rejet	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un dispositif d'homogénéisation ou de différentes filières du traitement si variations des teneurs entre les différentes zones de la tache de pollution
Teneurs en polluants dans le gaz traité	Prélèvement dans le point d'échantillonnage situé avant le point de rejet	Teneurs en polluants justifiant l'intervention. Teneurs en polluants initialement présents à des teneurs > normes d'émission	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	

Quantités de matières en suspension et teneur en eau	Prélèvement dans le point d'échantillonnage après le séparateur et le filtre éventuel	Teneurs en matières solides et humidité relative	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Quantités et teneurs en polluants des condensats	Prélèvement dans le point d'échantillonnage au niveau du séparateur	Teneurs en polluants justifiant l'intervention. Teneurs en polluants présents > NA et qui devront être traités avant rejet	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Choix d'une filière de prise en charge
Paramètres spécifiques pour l'oxydation thermique				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, Teneur en O ₂ à l'entrée du brûleur, Débitmètre pour le gaz, Sonde de T° au niveau du brûleur	T° du gaz à l'entrée, T° du traitement, débit du gaz, Teneur en O ₂ à l'entrée du brûleur, temps dans le brûleur	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Pouvoir calorifique du gaz à traiter	Point de prélèvement à l'entrée du traitement	Mesure du pouvoir calorifique	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Adaptation des paramètres du traitement : apport en combustible
Paramètres spécifiques à la combustion	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'air à la sortie de l'installation	Teneurs en CO ₂ , HCl, HF, CO, NO + NO ₂ , NO _x , SO ₂ , H ₂ S	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un traitement du gaz avant rejet dans l'atmosphère
Paramètres spécifiques pour l'oxydation catalytique				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, Teneur en O ₂ à l'entrée du brûleur, Débitmètre pour le gaz, Sonde de T° au niveau de l'installation	T° du gaz à l'entrée, T° du traitement, débit du gaz, Teneur en O ₂ à l'entrée de l'installation, temps de passage	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Pouvoir calorifique du gaz à traiter	Point de prélèvement à l'entrée du traitement	Mesure du pouvoir calorifique	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Adaptation des paramètres du traitement : risque d'échauffement
Teneurs en composés/éléments désactivant les catalyseurs	Point de prélèvement à l'entrée du traitement	Teneurs en Pb, Hg, Zn, As, Sb, Cu, Sn, Fe, Ni, Cr, S, P, Silicium.	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Si ces éléments/composés ont été détectés en quantités délétères lors de l'étude de faisabilité
Paramètres spécifiques à l'oxydation	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'air à la sortie de l'installation	Teneurs en CO ₂ , HCl, HF, CO, NO + NO ₂ , NO _x , SO ₂ , H ₂ S	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un traitement du gaz avant rejet dans l'atmosphère
Paramètres spécifiques pour le traitement sur bio-filtre				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, Débitmètre, Pression entrée et sortie du filtre (perte de charge). Echantillonnage du	T° du gaz et Humidité relative, débit et temps de séjour. Teneurs en O ₂ et CO ₂ à l'entrée et à la sortie. Perte de	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Risque de colmatation ou de voies de circulation préférentielles

	gaz à l'entrée et à la sortie.	charge lors du passage dans le filtre. Teneurs en acides humiques à la sortie du filtre.		
Conditions du traitement	Inspection visuelle, Manomètres à l'entrée et à la sortie du filtre	Perte de charge lors du passage du gaz. Absence de plantes adventices, de fissures, de fuites, d'odeurs, ...	Hebdomadaire	
Conditions du filtre	Prélèvement d'échantillons dans le matériau filtrant et sonde de T°.	Teneur en eau, teneurs en N (NH ₄ -N et NO), en P assimilable, K, pH, COT. T° du filtre, salinité (conductivité électrique)	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	C/N, ration C:N:P
Paramètres spécifiques pour la filtration sur charbon actif				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée et à la sortie du gaz, manomètres à l'entrée et à la sortie du filtre, débitmètre	T° du gaz, perte de charge lors du passage du gaz, temps de séjour,	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Signes de colmatage du filtre, signe d'échauffement du filtre et fréquence des entretiens

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

- L'analyse des teneurs en polluants dans les gaz à traiter et les effluents gazeux sera réalisée au laboratoire après prise d'échantillons sur des cartouches à charbon actif ou dans des ballons. L'expert pourra cependant proposer de réaliser des mesures directes de teneurs à l'aide d'appareil FID, PID ou de cartouches Dräger s'il démontre qu'il existe une bonne correspondance entre les mesures directes et les analyses de laboratoire. Pour les polluants présents sous forme de mélanges tels que les hydrocarbures, compte tenu de l'évolution de la composition des mélanges lors de l'avancement du traitement, la correspondance entre mesures directes et analyses de laboratoire devra faire l'objet de réajustements périodiques selon une fréquence proposée par l'expert. Les mesures de teneurs en O₂, CO₂ dans les gaz pourront faire l'objet de mesures directes ;
- La périodicité des campagnes de prélèvements et d'analyses des échantillons de gaz pourra être modifiée sur proposition motivée de l'expert.

Pour l'analyse des échantillons, il convient de se conformer au code de bonne pratique n° 4 « Code de bonne pratique pour les méthodes d'analyse ... », de Bruxelles Environnement .

Les paramètres de supervision du traitement ayant trait aux nuisances font l'objet du **tableau 6** suivant.

Tableau 6: fréquences et paramètres de supervision du traitement ayant trait aux nuisances

Paramètres de suivi	Moyen	Paramètre	Fréquence minimale
Teneurs en polluants dans l'air ambiant	Prélèvement de l'air à proximité de la station de traitement ou des zones sensibles et analyse des échantillons, cartouches à charbon actif, PID, FID, autre	Teneurs des polluants requérant une intervention (kg/m ³)	Lors du lancement, ensuite après 2 semaines et ensuite tous les 3 mois
Mesure de bruit	Mise en place d'un réseau de mesures	Niveau de bruit	En cas de plainte des riverains
Mesure des odeurs	Mise en place d'un réseau de mesures	Niveau des odeurs	En cas de plainte des riverains

11. Rapportage, optimisation et mesures correctives

11.1. Rapportage

Conformément au prescrit de l'AGRBC du 29/03/2018 fixant le contenu type du projet de gestion du risque, du projet d'assainissement, de la déclaration préalable au traitement de durée limitée et des modalités d'affichage du traitement de durée limitée, la mise en œuvre d'une intervention par oxydation in-situ implique la remise à Bruxelles Environnement de un ou plusieurs rapports intermédiaires :

- Rapport intermédiaire clôturant la phase de démarrage. On estime à deux mois un délai normal d'exécution d'une phase de démarrage. Sur proposition justifiée de l'expert, ce délai peut être modifié ;
- Autres rapports intermédiaires si le traitement s'étend sur plusieurs années. La fréquence de ces rapports intermédiaires n'est pas précisée dans l'Arrêté. Cette fréquence sera déterminée sur proposition justifiée de l'expert. Un rapport intermédiaire sera produit et présenté à Bruxelles Environnement lorsque, sur la base des données collectées lors des différentes campagnes de supervision, des modifications significatives dans le dispositif d'intervention sont nécessaires et soumises à l'approbation de Bruxelles Environnement : implantation de nouveaux puits d'extraction ou d'infiltration, abandon de puits, extension du réseau de piézomètres d'observation en résultat de l'extension du panache, mise en œuvre d'autres techniques de traitement, modifications majeures dans les options techniques retenues pour le traitement de l'eau pompée ...

Le contenu du premier rapport intermédiaire comprendra au minimum les informations reprises dans le **tableau 7** suivant.

Tableau 7 : informations à présenter dans le premier rapport intermédiaire

Rubrique	Paramètres et quantité à mesurer	Commentaires
Description du dispositif mis en œuvre (as built) pour la première phase	Description des éléments du système de collecte des gaz extraits (conduites, collecteurs et réservoirs d'homogénéisation éventuels) . Description des différents modules techniques du traitement. Description des dispositifs de supervision : manomètres, débitmètres, sonde de température, des points de prélèvement. Description du point de rejet	
Débits et caractéristiques des gaz à traiter	Débits mesurés. Caractéristiques physico-chimiques (O ₂ , CO ₂ , T°, Pressions, teneurs en poussières solides, humidité) et teneurs en polluants à traiter. Pouvoir calorifique (si oxydation thermique et catalytique). Teneurs en éléments/composés désactivant les catalyseurs (si oxydation catalytique).	Variations. Evolution. Nécessité réservoir tampon
Description des paramètres du traitement	Débits et temps de séjour dans les différents modules, conditions de T°, pression, pertes de charge. Pour les biofiltres : pH, quantités de nutriments réactifs ajoutés, C:N:P, salinité du matériau filtrant. Pour les filtres à Charbon actif : consommation en charbon et prévisions de consommation.	Propositions d'optimisation
Résultats obtenus	Paramètres physiques : pertes de charge dans les modules, quantités de condensats produites, quantités de charbon usé, quantités de nutriments ajoutés, ... Paramètres chimiques : Teneurs en polluants à la sortie des différents modules et au point de rejet, teneurs dans les effluents gazeux, teneurs dans les condensats.	Propositions d'optimisation

11.2. Mesures correctives et optimisation

Les principales difficultés rencontrées lors de la supervision d'une installation de traitement des gaz extraits du sol résultent d'un mauvais entretien, des problèmes de colmatage, de fuites et du gel (présence de condensats dans les conduites).

Les principaux problèmes techniques rencontrés dans les modules techniques de traitement sont les suivants :

- Biofiltres : pertes de charge élevées suite à un colmatage (placement d'un filtre pour empêcher les particules solides de colmater le filtre ; apport en composés biodégradables dans les gaz limitant la décomposition des matériaux organiques du filtre) ; pertes d'efficacité du traitement (vérification de la teneur en eau, en nutriments, du pH, et de la salinité et apport d'eau, de solutions nutritives et d'agents neutralisant par aspersion, lessivage du filtre, modification des dimensions du filtre ou addition d'un étage, modification des débits, inoculation de souches bactériennes adaptées, ...) ;
- Filtres à charbon actif : pertes de charge élevées suite à un colmatage (placement d'un filtre pour empêcher les particules solides de colmater le filtre), efficacité peu élevée du traitement (vérification de la teneur en eau et placement d'une unité de dessiccation des gaz, filtre saturé et remplacement par un filtre neuf) ;
- Oxydation thermique : performance insuffisante du système (temps de résidence, ou T° du traitement insuffisante par manque de combustible) ;
- Oxydation catalytique : performance insuffisante du système (temps de résidence, ou T° du traitement insuffisante par manque de combustible), durée de vie trop courte des catalyseurs (neutralisation des éléments/composés responsables de la désactivation des catalyseurs).

12. Santé, sécurité et organisation

12.1. Check-list succincte pour les entrepreneurs

La check-list à destination des entrepreneurs fait l'objet du **tableau 8**. Cette liste vise à aider les entrepreneurs dans la rédaction de leurs offres en réponse aux cahiers de charge rédigés par les experts. Compte tenu de la grande diversité des situations rencontrées, cette liste ne saurait être exhaustive.

Tableau 8 : check-list à destination des entrepreneurs

Rubrique	Vérification
Informations préalables complètes et suffisantes (cahier de charges, descriptif des travaux,...)	
Cibles sensibles	Cibles sensibles présentes sur et aux alentours du chantier bien identifiées
Aspects techniques des cahiers des charges ou du descriptif des travaux	Descriptif du dispositif de collecte, prétraitement et finition (dimension, caractéristiques, localisation ...) Définition des quantités physiques: débits, pressions, dépressions, types de pompes.
Identification des autorisations nécessaires et des cadres normatifs à respecter	Vérifier que les autorisations nécessaires ont été demandées par le donneur d'ordre. Vérifier la cohérence des performances demandées avec les cadres normatifs en vigueur.
Identification des procédures particulières à respecter	Identifier les procédures particulières et vérifier que leur respect est bien pris en compte dans le cahier des charges ou le descriptif des travaux : rejets gazeux,
Points de rejets	Points de rejet des gaz traités issus du traitement identifiés et compatibles avec les caractéristiques du site. Autorisations demandées et obtenues
Les lignes de communication sont définies	Identité et coordonnées du maître d'œuvre, du donneur d'ordre, de l'agent de Bruxelles Environnement, des autorités compétentes sont connues
Informations devant être présentes dans le plan de sécurité - Hygiène et prévention de l'entrepreneur	
Identification et nature des risques	FDS (fiche de données de sécurité) et phrase de risque et de sécurité des substances utilisées. Risques lors du stockage, de la manipulation et de la mise en œuvre des différentes substances : risques pour le personnel (inhalation, contact dermique), risques d'incendie, risque de dispersion, ...
	Risque d'explosion dans les canalisations de collecte compte tenu de la présence de composés volatils
	Risques d'incendie en raison de l'augmentation de T°
	Risque pour le personnel du fait de risques de fuites et de débordements
	Risques pour la santé du personnel du fait de la présence de produits volatils, dangereux/toxiques sur le site en général, risque de présence de composés volatils dangereux dans l'atmosphère
	Risques d'accidents en général : chutes, incendie, électrocution
	Risques liés à l'intrusion sur le site de personnes non autorisées : vols, vandalisme et risque pour la santé

	Risques climatiques : gel des installations
	Risques liés à la circulation si infrastructures présentes sur la voie publique
Mesures préventives	Pour chacun des risques identifiés, identification et mise en place des mesures préventives (matériel électrique anti-déflagrant, équipement de protection individuel), y inclus la formation du personnel
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacun des risques identifiés, préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Personnes et services à contacter en cas de problème	Pour chacun de risques identifiés, identité et coordonnées des personnes et/ou service à contacter : service incendie, commune, protection civile, exploitant des réseaux
Identification des nuisances possibles	Odeur et vapeurs dangereuses pour le voisinage en cas de fuites et pertes à partir des installations
	Bruit des équipements : pompes, groupes électrogènes,
	Encombrement des voiries
Mesures préventives	Pour chacune des nuisances identifiées, identification et description des mesures préventives. Par exemple, mise en place d'explosimètres, de systèmes d'alarme et de mise à l'arrêt et de sauvegarde (entrée d'air ou de N ₂ dans les canalisations)
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacune des nuisances identifiées, préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Planning des interventions	
Plan de monitoring et d'entretien	Planning des visites de contrôle : fréquence bimensuelle minimum
	Planning des visites d'entretien
Identification des pannes et des problèmes techniques susceptibles de se produire	Défectuosité des équipements et de l'installation : défauts d'étanchéité
	Risque de colmatage des conduites et des filtres : chute des débits, des pressions et dépressions
	Epuisement prématuré des matériaux utilisés pour le traitement des gaz (charbon actif, catalyseur)
Mise en place de systèmes d'alarme, de mise en sauvegarde, et de mise à l'arrêt	
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacun des problèmes susceptibles de se produire : préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Rapports de surveillance de l'expert	Prise en compte des rapports de suivi de l'expert et mise en place concertée des mesures correctives ou d'optimisation.

Les remarques suivantes peuvent être faites :

- Pour les entrepreneurs certifiés VCA ou de manière équivalente, les mesures énumérées dans le **tableau 8** et ayant trait à la sécurité sont systématiquement d'application ;
- La check liste du **tableau 8** est valable pour les entrepreneurs et leurs sous-traitants dans leurs domaines d'intervention respectifs ;
- En règle générale, les visites d'inspection à mener sur le chantier sont à exécuter au minimum sur une base bimensuelle. Pour les filtres biologiques, une inspection hebdomadaire est requise ;

- Pour les conduites de collecte et d'amenée des liquides pompés, on privilégiera de manière systématique les conduites enterrées de manière à éviter les accidents, l'incidence du gel (condensats) et les actes de vandalisme ;
- Lorsque les installations de traitement sont proches de bâtiments, des analyses de l'air seront effectuées au sein de ces bâtiments de manière à mesurer l'importance des teneurs en composés volatils. Ces mesures seront effectuées lors du lancement du chantier, 1 fois après 2 semaines de traitement et ensuite à une fréquence de 3 mois ;
- Lorsqu'un risque d'explosion est avéré au niveau des conduites ou de la station de traitement, le risque d'explosion (LEL) sera mesuré en continu et le système sera mis en sauvegarde dès observation de dépassements de 10 % de la LEL (entrée d'air et alarme).

12.2. Check-list succincte pour les experts en pollution du sol

La check-list à destination des experts est présentée dans le **tableau 9**. Cette liste vise à aider les experts dans la rédaction des descriptifs des travaux, les estimations de coût et l'élaboration des cahiers de charge à destination des entrepreneurs.

Tableau 9 : check-list à l'intention des experts

Rubrique	Vérification
Informations préalables complètes et suffisantes (études préalables, cahier de charge, descriptif des travaux, ..)	
Polluants présents et/ou à traiter dans les gaz à extraire	Nature des polluants présents à traiter, teneurs et variations possibles des teneurs, évolution attendue des teneurs (évolution mesurée, potentiel d'atténuation naturelle)
Cibles sensibles	Cibles sensibles présentes sur et aux alentours du chantier bien identifiées
Aspects techniques de l'installation de traitement	Descriptif du dispositif de traitement (localisation, dimension, capacités ...) Définition des quantités physiques : débits, pressions, dépressions, T° ... Définition du mode d'opération : débits, temps de résidence, ... Les prescriptions techniques sont-elles adaptées à la qualité et aux débits des gaz à traiter
	Mode de fonctionnement du dispositif : continu vs intermittent. Risques de colmatage, de passages préférentiels dans les filtres, ... Actions correctives et d'optimisation possibles.
	Vérification a priori de la performance du dispositif : sur base des données disponibles
Points de rejets	Points de rejet des gaz traités issus du traitement identifiés et compatibles avec les caractéristiques du site. Autorisations demandées et obtenues
Identification des autorisations nécessaires et des cadres normatifs à respecter	Vérifier que les autorisations nécessaires ont été demandées par le donneur d'ordre. Vérifier la cohérence des performances demandées avec les cadres normatifs en vigueur. Les procédures prévues sont-elles en conformité avec les codes de bonne pratique et les autres recommandations de Bruxelles Environnement
Identification des procédures particulières à respecter	Identifier les procédures particulières et vérifier que leur respect est bien pris en compte dans le cahier des charges ou le descriptif des travaux : transport des déchets dangereux (condensats), rejets gazeux,
Les lignes de communication sont définies	Identité et coordonnées du maître d'œuvre, du donneur d'ordre, de l'agent de Bruxelles Environnement, des autorités compétentes sont connues

Identification et nature des risques	Risque d'explosion dans les canalisations de collecte et la station de traitement du fait de la présence de composés volatiles
	Risques de pollution du sol et des eaux souterraines du fait du stockage de produits dangereux et/ou polluants (condensats)
	Risques climatiques : gel des conduites et des installations
	Risques liés à la circulation si infrastructures présentes sur la voie publique
Mesures préventives	Pour chacun des risques identifiés, identification et mise en place des mesures préventives y inclus la formation du personnel
Personnes et services à contacter en cas de problème	Pour chacun de risques identifiés, identité et coordonnée des personnes et/ou service à contacter : service incendie, commune, protection civile, exploitant des réseaux
Identification des nuisances possibles	Odeur et vapeurs dangereuses pour le voisinage en cas de fuites et pertes à partir des installations
	Bruit des équipements : pompes, groupes électrogènes,
	Encombrement des voiries
Mesures préventives	Pour chacune des nuisances identifiées, identification et description des mesures préventives
	Mise en place d'explosimètres, de systèmes d'alarme et de mise à l'arrêt et de sauvegarde (entrée d'air ou d'azote dans les canalisations)
Planning et contenu des opérations de suivi, de validation et de suivi à long terme (post-gestion)	
Dispositif de suivi	Descriptif du dispositif de suivi : Débitmètres, manomètre et sondes de t° au niveau des installations et points d'échantillonnage des gaz lors des différentes étapes du traitement , échantillonnage de l'air ambiant ... Prise en compte des cibles sensibles à protéger.
Paramètres du suivi	Mesures des débits des gaz à traiter, teneurs dans les gaz à traiter (variations et évolution), paramètres du traitement (T°, débits, pressions et pertes de charge, consommations de réactifs, de charbon, teneurs en O ₂ et CO ₂ ...). Teneurs dans les effluents gazeux.
Paramètres d'optimisation	Agencement des différents modules, modification des prétraitements, calibration des additifs, débits et temps de passage, fréquence des entretiens. Adaptation du dispositif à l'évolution de la qualité des eaux traitées.
Rapportage	Planning pour la soumission du premier rapport intermédiaire et des rapports intermédiaires suivants.
	Les données recueillies sont-elles suffisantes pour la rédaction de ces rapports ?

13. Sources bibliographiques

Les sources bibliographiques utilisées lors de la rédaction de ce document sont les suivantes :

- Code van goede praktijk : Pump & Treat, Deele 2, Bovengrondse grondwaternabehandeling , OVAM, 2002;
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001;
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazorg-versie oktober 2011, OVAM ;
- Code van goede praktijk : Het gebruik van biofilters en actief Koolfilters by groundwater sanering, OVAM, 2004 ;
- Code van goede praktijk voor bodemluchtexttractie en perslucht injectie, OVAM, 2002 ;
- Air Sparging, A Project Manager's Guide, Keith Fields et al., Battelle Press, 2002 ;
- Innovative Site Remediation Technology Vol. 8, Paul C. Johnson et al., Springer 1994 ;
- Soil Vapor Extraction and Bioventing, US Army Corps of Engineers, June 2002 ;
- Engineering and Design IN-SITU AIR SPARGING, US Army Corps of Engineers, January 2008.