



Avril 2012

ANCIENNE STATION SERVICE - BORDEAUX CAUDERAN (33)

PLAN DE GESTION

Présenté à:
ESSO SAF
Tour Manhattan, La Défense 2
5/6 Place de l'Iris
92400 Courbevoie

RAPPORT



A world of
capabilities
delivered locally

N° du Rapport: 11503160959-PG-V1

Distribution:

- 1 copie - ESSO SAF
- 1 copie - ANTEA Group
- 1 copie - Golder Associates





Limitations de l'étude

IMPORTANT: Il est important de lire la présente section avant de prendre connaissance des opinions, conseils, recommandations ou conclusions exprimés dans le présent document.

Le présent rapport a été préparé pour et à la demande de ESSO SAF ("le Client"), dans le cadre d'un Plan de gestion sur l'ancienne station-service ES « Caudéran » sise 147 avenue de la République à Bordeaux (33), devant être effectuée par Golder Associates (Golder) aux termes du mandat de Consultant qui lui a été donné par le Client.

Aucun engagement n'est pris vis-à-vis d'une partie autre que le Client et aucune garantie n'est concédée ni aucune déclaration faite à quelque partie que ce soit autre que le Client en ce qui concerne les opinions, conseils, recommandations ou conclusions exprimés dans les présentes.

Il doit être tenu compte, lors de l'examen du présent rapport, des conditions du contrat conclu entre Golder et le Client.

Golder a préparé le présent rapport en s'appuyant sur la connaissance que Golder avait, à la date de l'étude:

- des normes;
- de la technologie; et
- de la législation et des codes français et communautaires en vigueur et applicables.

Toute modification apportée à ces textes est susceptible d'affecter l'exactitude des opinions, conseils, recommandations ou conclusions contenus dans le présent rapport. Cependant, lors de la communication de ses opinions, conseils, recommandations et conclusions, Golder a tenu compte des changements dont la législation et les réglementations sur l'environnement font, à sa connaissance, actuellement l'objet. Après la remise du présent rapport, Golder ne pourra être tenu d'informer le Client de tels changements ou de leurs éventuelles répercussions.

Golder reconnaît avoir été mandaté en partie pour ses connaissances et son expérience en matière de questions liées à l'environnement. Golder s'engage à étudier et à analyser toutes les informations qui lui seront fournies à la lumière de ses connaissances et de son expérience et de toutes autres informations connues de Golder. Sous réserve de toute incompatibilité ou contradiction avec les informations déjà en sa possession, Golder est en droit de se fonder sur toutes les informations qui lui sont fournies et d'en assumer l'exactitude, sans vérification indépendante, et Golder n'est aucunement tenu de vérifier l'exactitude de ces informations.

Le contenu du présent rapport reflète l'opinion professionnelle de consultants expérimentés, spécialistes de l'environnement. Golder ne fournit pas de conseils juridiques spécifiques: il est donc recommandé de s'adresser à un juriste pour toute question d'ordre juridique.

Si les prestations ont inclus des forages et sondages ou l'interprétation de telles informations, une attention doit être portée sur le fait que des risques existent à chaque fois que de l'ingénierie et des disciplines affiliées sont mises en œuvre pour déterminer les conditions du sous-sol. Même un programme d'échantillonnage et de test précis et mis en place selon les règles de l'art peut échouer dans la détection de certaines conditions. Les conditions environnementales, géologiques, géotechniques, géochimiques et hydrologiques que Golder interprète entre les points d'échantillonnage peuvent différer des conditions réelles existantes. Le temps, les événements naturels et les activités sur et aux abords du Site peuvent modifier les conditions découvertes.

Dans la section Conclusions et Recommandations du présent rapport ainsi que dans la Synthèse Générale, Golder a exposé ses conclusions principales et a fourni un résumé et une vue d'ensemble de ses conseils, opinions et recommandations. Cependant, d'autres parties du présent rapport font état des limitations sur les informations obtenues par Golder. Aussi les conseils, opinions ou recommandations exprimés dans la section Conclusions et Recommandations ainsi que dans la Synthèse Générale ne devraient pas être pris en compte avant d'avoir été étudiés dans le contexte du rapport pris dans son ensemble.



Tables des matières

1.0 INTRODUCTION.....	4
2.0 SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DU SITE	5
2.1 Références utilisées	5
2.2 Données géologiques	5
2.3 Données hydrogéologiques	5
2.4 Synthèse des travaux de démantèlement et de réhabilitation	5
2.5 Synthèse des investigations complémentaires	6
2.6 Synthèse des concentrations détectées	6
2.7 Synthèse de l'EQRS	7
3.0 DONNÉES DE BASE AU PLAN DE GESTION.....	8
3.1.1 Définition du projet	8
3.1.2 Source.....	8
3.1.3 Vecteurs.....	8
3.1.4 Récepteurs.....	9
3.2 Schéma conceptuel	9
3.3 Seuils de dépollution.....	9
3.4 Bilan de masse	10
4.0 SÉLECTION DES TECHNIQUES APPLICABLES AU SITE.....	11
4.1 Evaluation des options.....	11
4.2 Approche recommandée	11
5.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	13



PLAN DE GESTION - ANCIENNE STATION SERVICE - BORDEAUX CAUDERAN (33)

TABLEAUX

Tableau 1: Synthèse des substances détectées sur le Site	6
Tableau 2: Présentation des enjeux, voies d'exposition et résultats de l'EQRS.....	7
Tableau 3: Seuils de dépollution associés à un risque acceptable pour un usage commercial– inhalation de substances issues des gaz du sol.....	10
Tableau 4: Concentrations des substances dans les gaz du sol retenues pour les calculs des risques	10

FIGURES

Figure 1: Plan de localisation	15
--------------------------------------	----

ANNEXES

ANNEXE A

Plan de localisation des points de prélèvement

ANNEXE B

Résultats d'échantillonnage sol, eau souterraine et gaz du sol

ANNEXE C

Présentation des différentes techniques et choix pour l'analyse finale



1.0 INTRODUCTION

Golder Associates (« Golder ») a été mandaté par ESSO SAF (« le Client ») pour réaliser un plan de gestion des sols contaminés résiduels sur l'ancienne station-service ES « Caudéran » sise 147 avenue de la République à Bordeaux (33) (« le Site »). Un plan de localisation est proposé en Figure 1.

Ce site est une ancienne station-service qu'ESSO a exploitée dans le passé. Les installations sont aujourd'hui démantelées et les terres impactées en hydrocarbures ont été excavées jusqu'aux limites techniques (confortement par palplanches). La superficie du site est de 450 m² environ.

Le projet de réaménagement de ce site comprend deux zones :

- une zone avec un bâtiment (avec ou sans sous-sol), « usage commercial » au rez-de-chaussée et « résidentiel » au niveau N+1, localisée sur la majeure partie du site ;
- une zone « espaces verts / parkings extérieurs », entourant la zone résidentielle.

Le présent document a pour objet de présenter le plan de gestion des sols contaminés sur la base des travaux de dépollution des sols et des investigations complémentaires menées par la société Serpol en 2010, et l'étude de risques (EQRS) réalisée par Golder en 2011.

Les hydrocarbures et les BTEX sont les principaux contaminants résiduels dans les sols, les gaz du sol et la nappe souterraine.

Cette étude a été réalisée en liaison avec le service environnement d'ESSO SAF et son assistant à maître d'ouvrage ANTEA.



2.0 SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DU SITE

2.1 Références utilisées

Ce plan de gestion est basé sur les travaux de dépollution des sols et des investigations complémentaires menées par la société SERPOL en 2010 et l'EQRS réalisée par Golder en 2011. Les références du document contenant les informations et les données nécessaires à la réalisation de ce plan de gestion sont les suivants :

- Serpol, février 2011. Rapport SERPOL n°6025-7– Réalisation des travaux de démantèlement et de dépollution des sols / diagnostic complémentaire des sols, des eaux souterraines et de l'air interstitiel des sols – Ancienne station-service E.S. Cauderan, Bordeaux (33).
- Golder, juin 2011. Rapport Golder n°11503160959 – Evaluation Quantitative des Risques sanitaires – Ancienne station-service E.S. Bordeaux Cauderan (33).

2.2 Données géologiques

Selon le rapport SERPOL de février 2011, les terrains suivants ont été rencontrés en dehors de la zone excavée et remblayée jusqu'à 5 m de profondeur lors des investigations sur site:

- Des sables graveleux plus ou moins argileux jusqu'à 5 m de profondeur,
- Des argiles graveleuses ou non de couleur beige, brune ou verdâtre jusqu'à 13 m,
- Et /ou des marno-calcaires plus ou moins argileux avec passage de calcaire dur jusqu'à 13 m au moins.

Les calcaires ont été recoupés entre 6 et 13 m de profondeur lors des investigations. Le niveau statique des eaux souterraines a été mesuré vers 8,5 m de profondeur sur l'ensemble des ouvrages. Il s'agit de la nappe des calcaires d'Oligocène.

2.3 Données hydrogéologiques

Les niveaux d'eau souterraine ont été relevés entre 7,37 m et 8,37 m par rapport au repère PVC, lors de la campagne réalisée par SERPOL du 01 et 02 décembre 2010.

Le rapport SERPOL conclut à un sens d'écoulement orienté vers le sud/sud-est avec un gradient hydraulique d'environ 1 %.

2.4 Synthèse des travaux de démantèlement et de réhabilitation

Des travaux de démantèlement des superstructures et des infrastructures, ainsi que l'excavation des sols impactés sur l'ancienne station-service ont été réalisés par l'entreprise SERPOL du 28 juillet 2009 au 5 novembre 2010.

En ce qui concerne les travaux de dépollution, des fouilles d'excavation ont été réalisées sur le site jusqu'en limites techniques (confortement par palplanches) :

- Fouille 1 : fouille du parc à cuves (3 cuves de 40 m³) d'une surface globale d'environ 165 m² et d'une profondeur de 5 m au droit des cuves;
- Fouille 2 : séparateur à la pointe du site, d'une surface d'environ 4 m² et d'une profondeur de 2 m.
- Fouille 3 : spot de pollution (ancienne cuve de 10 m³), d'une surface d'environ 25 m² et d'une profondeur de 3 m;

La localisation des fouilles est fournie en Figure 1.



Des échantillons de sol ont été prélevés pour caractériser la qualité des fronts et des fonds de fouille. Les analyses réalisées sur les fronts et fonds de fouille ont porté sur la recherche des hydrocarbures totaux adsorbés, fractions C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀, quelques analyses de spéciation (4 TPH), des BTEX et du plomb.

2.5 Synthèse des investigations complémentaires

Par la suite, afin de caractériser les sols laissés en place et d'obtenir des informations complémentaires sur la qualité des eaux souterraines et de l'air interstitiel des sols, des investigations complémentaires ont été réalisées du 8 au 25 novembre 2010, à la suite des travaux de réhabilitation. Les investigations complémentaires sont présentées ci-dessous :

- 2 sondages dans les sols entre 4,5 et 8 m de profondeur, notés PG6 et PZ8,
- 11 nouveaux piézomètres à 12 m de profondeur, dont 7 à l'intérieur du site notés Pz1 Bis, Pz3 Bis, Pz5 Bis, Pz6 Bis, Pz7 Bis, Pz8 et Pz9 et 4.
- 8 piézomètres-airs entre 2 et 6 m de profondeur, notés PG4 à PG11.

Les analyses réalisées lors des investigations complémentaires ont porté sur la recherche des hydrocarbures totaux adsorbés, fractions C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀ et des BTEX pour les sols, des hydrocarbures fractions C₅-C₁₀, des BTEX et des TPH WGC¹ pour les gaz du sol, des hydrocarbures totaux, fractions C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀, des BTEX et du MtBE pour les eaux souterraines.

2.6 Synthèse des concentrations détectées

La localisation des points de prélèvement est présentée en Figure 1.

Les résultats des analyses réalisées dans les différents milieux sont synthétisés en ANNEXE B.

Une synthèse des substances détectées sur site est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1: Synthèse des substances détectées sur le Site

Média analysé	Substances détectées	
	Contrôle des travaux d'excavation	Investigations complémentaires en fin de travaux (décembre 2010)
Eaux souterraines	Aucune analyse réalisée	<ul style="list-style-type: none">• Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes• HCT C₅-C₆, C₆-C₈, C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆• MTBE• Fer• Nitrate, Sulfate, Nitrites, Sulfure
Sols	<ul style="list-style-type: none">• Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes• HCT C₅-C₆, C₆-C₈, C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆, C₁₆-C₂₁, C₂₁-C₃₅ et C₃₅-C₄₀• Aliphatiques : C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆ C₁₆-C₂₁ et C₂₁-C₃₅• Aromatiques : C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆ et C₁₆-C₂₁• Plomb	<ul style="list-style-type: none">• Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes• HCT C₅-C₆, C₆-C₈, C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆, C₁₆-C₂₁, C₂₁-C₃₅ et C₃₅-C₄₀
Gaz du sol	<ul style="list-style-type: none">• Aucune analyse réalisée	<ul style="list-style-type: none">• Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes• Alcane volatils : C₅-C₆, C₆-C₈, C₈-C₁₀• Aliphatiques : C₅-C₆, C₆-C₈, C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆• Aromatiques : C₆-C₈, C₈-C₁₀, C₁₀-C₁₂, C₁₂-C₁₆

¹ Analyse indiquent la répartition des hydrocarbures totaux entre les différents fractions aliphatiques et aromatiques (Total Petroleum Hydrocarbons Working Group Criteria, TPH WGC 1997).



Il faut aussi noter que 4 piézomètres ont été installés à l'extérieur du site : Pz10, Pz11, Pz12 et Pz13. L'absence d'impact en hydrocarbures, BTEX (teneurs inférieures aux seuils de quantification) et MTBE a été constatée sur les trois piézomètres avals. Seul Pz11 présente une teneur en MTBE (22 µg/l), restant cependant inférieure à la valeur de référence citée dans le rapport SERPOL de février 2011.

2.7 Synthèse de l'EQRS

Dans une démarche conservatrice, l'EQRS a été réalisée en considérant la zone la plus impactée du site, à savoir la fouille 1 (fouille du parc à cuve/dépotage).

Pour toutes les voies d'expositions concernées, les calculs d'exposition et la caractérisation des risques ont été réalisés à l'aide du logiciel RISC développé par BP Oil International (2001). Les enjeux et voies d'exposition identifiés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

Tableau 2: Présentation des enjeux, voies d'exposition et résultats de l'EQRS

Enjeux	Voies d'exposition évaluées	Résultats
Futurs travailleurs en intérieur dans un bâtiment hypothétique qui pourrait être construit sur la zone impactée, avec sous-sol	Inhalation d'air intérieur (d'après le modèle utilisant les vapeurs issues des sols et de la nappe)	Risque supérieur aux seuils définis par le Ministère en charge de l'Environnement pour les travailleurs pour les substances suivantes dans les sols : <ul style="list-style-type: none">▪ Benzène, Xylènes, Ethylbenzène▪ Aliphatiques C₈-C₁₀▪ Aromatique C₈-C₁₀
	Inhalation d'air intérieur (d'après le modèle utilisant les vapeurs issues des gaz du sol)	Risque supérieur aux seuils définis par le Ministère en charge de l'Environnement pour les travailleurs pour les substances suivantes dans les gaz du sol : <ul style="list-style-type: none">▪ Benzène
Futurs travailleurs en intérieur dans un bâtiment hypothétique qui pourrait être construit sur la zone impactée, sans sous-sol	Inhalation d'air intérieur (d'après le modèle utilisant les vapeurs issues des sols et de la nappe)	Risque supérieur aux seuils définis par le Ministère en charge de l'Environnement pour les travailleurs pour les substances suivantes dans les sols : <ul style="list-style-type: none">▪ Benzène, Xylènes, Ethylbenzène▪ Aliphatiques C₈-C₁₀
	Inhalation d'air intérieur (d'après le modèle utilisant les vapeurs issues des gaz du sol)	Risque supérieur aux seuils définis par le Ministère en charge de l'Environnement pour les travailleurs pour les substances suivantes dans les gaz du sol : <ul style="list-style-type: none">▪ Benzène

L'EQRS a donc conclu sur la nécessité d'un plan de gestion des sols contaminés, selon les préceptes de la politique de gestion des sites et sols pollués (MEDD, 2007a).

La partie est du site doit être investiguée par l'installation de piézaires pour valider la présence ou non de fractions volatiles dans les gaz du sol. Sur la base des résultats des analyses réalisées sur les sols en fond de fouille, la concentration en fractions volatiles en présence devrait être faible mais doit être vérifiée.

Dans cette étude, la zone en pointe à l'est n'est pas considérée dans la zone à traiter.



3.0 DONNEES DE BASE AU PLAN DE GESTION

3.1.1 Définition du projet

Le projet de réaménagement du site comprend deux zones complémentaires :

- une zone avec un bâtiment (avec ou sans sous-sol), « usage commercial » au rez-de-chaussée et « résidentiel » au niveau N+1, localisée sur la majeure partie du site ;
- une zone « espaces verts / parkings extérieurs », entourant la zone résidentielle.

Seuls les travailleurs au rez-de-chaussée du bâtiment sur site ont été considérés dans le cadre de ce plan de gestion.

3.1.2 Source

Sur la base des résultats des investigations réalisées sur site, la source de pollution dans les sols est localisée dans la zone non saturée au niveau de la fouille 1. L'extension verticale de cette source de pollution n'a pu être atteinte lors des travaux d'excavation.

Les terrains en place sont présents à partir de 4,5 m de profondeur et la contamination est supposée jusqu'au toit de la nappe.

Les autres sources de pollution identifiées ont été complètement excavées (voir fouilles 2 et 3).

Les types de contaminants rencontrés dans les sols et dans les gaz du sol sont des hydrocarbures et des BTEX.

Il faut noter, en ce qui concerne les gaz du sol, que 8 piézomètres-airs ont été installés entre 2 et 6 m de profondeur (PG4 à PG11). Les ouvrages installés à 2 m de profondeur (6 ouvrages) sont crépinés de 1 à 2 m et ceux installés 6 m de profondeur (2 ouvrages PG5 et PG6) sont crépinés respectivement à 4.5 m et 4 m jusqu'à 6 m. Une contamination a été identifiée seulement sur ces 2 derniers ouvrages, qui ont servi de base pour le calcul de l'EQRS. Il n'est pas exclu que la même contamination aurait été retrouvée sur les autres ouvrages s'ils avaient été crépinés sur la même hauteur. L'ensemble de la surface de la fouille 1 est donc considérés comme source de pollution, comme confirmé par les résultats des analyses sur les échantillons de fond de fouille prélevés lors de travaux de terrassement.

En ce qui concerne les sols, les analyses réalisées lors des investigations complémentaires ont portées sur deux (2) sondages PG6 et PZ8 pour cerner les impacts en profondeur. Seuls les sols prélevés en PZ8 ont montré la présence d'une contamination.

Les eaux souterraines sont également contaminées par des hydrocarbures et des BTEX au droit des piézomètres implantés dans la zone des anciennes installations pétrolières démantelées et aux abords immédiats de celles-ci (ouvrages Pz1 Bis, Pz3 Bis, Pz4, Pz5 Bis, Pz6 Bis, Pz7 Bis, Pz8 et Pz9). Un impact en BTEX, est également détecté en Pz1 Bis, localisé en aval/lateral hydraulique, à l'est du site.

La localisation des piézomètres est présentée en Figure 1.

3.1.3 Vecteurs

Selon l'étude quantitative des risques sanitaires développée par Golder, le principal vecteur qui est source de risque est l'inhalation d'air intérieur dans un bâtiment construit au droit de la fouille 1.

Il faut noter que l'EQRS a permis de conclure que le risque lié à l'inhalation de vapeurs dans un bâtiment sur le site était issu de la contamination des sols dans la zone insaturée. Le risque lié à la volatilisation de la contamination depuis les eaux souterraines est négligeable.

Enfin, rappelons que si les eaux souterraines sont contaminées au droit du site, la contamination n'est pas présente dans les piézomètres situés en amont et en aval hydraulique, hors du site (seules des traces en MTBE et en ETBE ont été mesurées au droit de ces ouvrages).



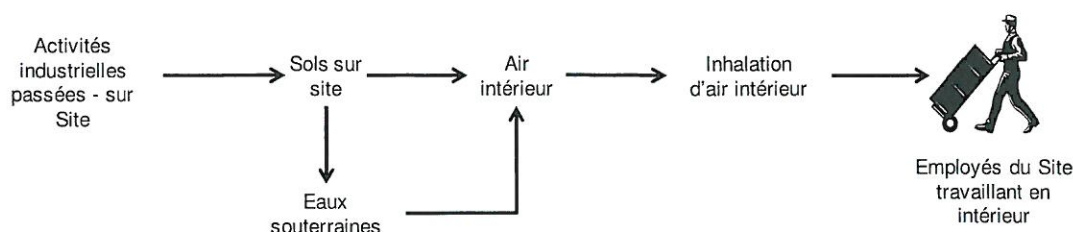
3.1.4 Récepteurs

Les récepteurs considérés dans le cadre de ce plan de gestion sont des travailleurs au rez-de-chaussée du bâtiment du site.

Deux scénarii sont alors développés dans le cadre de ce plan de gestion : le bâtiment considéré peut être avec ou sans sous-sol.

3.2 Schéma conceptuel

A partir de la revue des enjeux, des voies d'exposition et des substances chimiques concernées et sur la base de l'usage futur pour le site, un schéma conceptuel d'exposition a été établi.



3.3 Seuils de dépollution

A l'issue de l'EQRS réalisée par Golder sur le site, les risques prédits associés à l'inhalation d'air intérieur pour des travailleurs potentiels du Site ont été considérés comme inacceptables selon les critères définis par le Ministère en charge de l'Environnement.

Par conséquent, des seuils de dépollution ont été calculés selon les principes de l'EQRS dans le cadre d'un usage commercial du site, sur la base des scénarios suivants :

- Scenario 1 : Inhalation de substances dans l'air intérieur du bâtiment avec sous-sol ; et
- Scenario 2 : Inhalation de substances issues dans l'air intérieur du bâtiment sans sous-sol.

Les seuils de dépollution considérés dans ce plan de gestion, sont basés sur les résultats des analyses sur les gaz du sol. En effet, le calcul de risques basé sur les concentrations dans les gaz du sol permet une estimation plus précise des concentrations des substances dans l'air intérieur des bâtiments par rapport aux modèles basés sur les teneurs détectées dans les sols et les eaux souterraines.

Le Tableau 3 présente donc les seuils de dépollution pour les substances pour lesquelles l'EQRS conclut à un risque inacceptable, dans le cas d'inhalation de substances issues des gaz du sol.

Les concentrations de toutes les autres substances retenues dans les calculs des risques sont présentées dans le Tableau 4.



Tableau 3: Seuils de dépollution associés à un risque acceptable pour un usage commercial – inhalation de substances issues des gaz du sol

Substances	Gaz du Sol			Sondage sur lequel la valeur seuil est dépassée
	Valeur maximale mesurée (mg/m ³)	Valeur seuil (mg/m ³)		
		Bâtiment avec sous-sol	Bâtiment sans sous-sol	
Benzène	202,3	200	130	PG6 (6)

Tableau 4: Concentrations des substances dans les gaz du sol retenues pour les calculs des risques

Substances	Gaz du sol (mg/m ³)
Benzène	202,3
Ethylbenzène	19,3
Toluène	79,0
Xylènes	31,9
Aliphatiques C5 - C6	2418,2*
Aliphatiques C6 - C8	2385,2*
Aromatiques C6 - C8	167,8

Note :

*: couche de mesure saturée pour les résultats des échantillons de gaz du sol prélevés dans les sondages PG5 et PG6

3.4 Bilan de masse

Les informations développées en section 3.1.2, notamment pour les résultats dans les gaz du sol obtenues lors des investigations complémentaires, ne sont pas suffisantes pour délimiter une zone de pollution au droit du site. Dans cette étude, la surface considérée à traiter correspond à la surface de la fouille 1. L'épaisseur de terres polluées est supposée, à titre préliminaire entre 4 et 8 mètres de profondeur environ. En effet, aucun impact n'a été relevé dans les gaz du sol au droit des piézaires crépinés entre 1 et 2 m, les impacts ont été relevés entre 4 et 6 m, ce qui correspond à la profondeur d'excavation atteinte lors de travaux de réhabilitation (profondeur de dépollution limitée par des contraintes techniques). La profondeur maximale retenue pour la source de contamination (8 m), correspond à la profondeur maximale de l'impact détecté dans les sols au droit de la fouille 1 lors des investigations complémentaires (au droit du sondage Pz8 entre 6 et 8 m de profondeur).

Le volume de terre à traiter est donc :

$$V = S \cdot p = 165 \cdot 4 = 660 \text{ m}^3,$$

avec V= le volume de sol à traiter, S = la surface de sol=165 m² et p = la profondeur de sol à considérer évaluée à 4 mètres

Ce qui correspond à :

$$M = V \cdot d,$$

en considérant une densité des sols de 2.

A titre préliminaire, il y a donc 1 320 tonnes de terres à traiter.



4.0 SÉLECTION DES TECHNIQUES APPLICABLES AU SITE

4.1 Evaluation des options

Le tableau en ANNEXE C présente les différentes options techniques de dépollution de la source-sol pour atteindre les objectifs de dépollution présentés en section 3.2.

Certaines de ces techniques ont été retenues pour l'analyse Bilan Coût –Avantage. La justification du choix de ces techniques est également présentée dans l'ANNEXE C.

4.2 Approche recommandée

Sur la base des informations en possession, l'approche recommandée est décrite ci-dessous.

- Un suivi trimestriel des eaux souterraines doit être mis en place. L'ensemble des 13 piézomètres installés sur et hors site sera suivi avec analyse des paramètres HCT C5-C40, BTEX et MtBE sur l'ensemble des ouvrages.
- De façon à mieux appréhender quelles techniques sont effectivement applicables sur ce site, Golder propose de réaliser les investigations suivantes :
 - a) Analyser les paramètres d'atténuation naturelle (analyse des paramètres nitrates, nitrites, sulfure et fer) sur les eaux souterraines prélevées au droit des piézomètres PZ3bis, PZ8, PZ11 et PZ13.
 - b) Evaluation de l'atténuation naturelle des gaz du sol : un impact a été relevé entre 4 et 6 mètres et des traces d'hydrocarbures seulement ont été observées entre 1 et 2 m de profondeur. Des piézaires supplémentaires pourraient être installés de façon à obtenir des piézaires multi-niveaux, et d'évaluer ainsi si une biodégradation est actuellement en cours à un niveau suffisant pour garantir la démonstration d'une atténuation naturelle.

Il est proposé de renforcer le réseau de piézaires et d'installer :

 - Dans le secteur de PG6, 2 piézaires dont un sera crépiné entre 2.5 et 3.5 mètres et l'autre entre 6 et 7 mètres ;
 - Entre PG5 et PG8, 1 piézair crépiné entre 2.5 et 3.5 mètres ;
 - A proximité de PG2, 1 piézair à 6 mètres de profondeur ;
 - Dans la zone de la pointe est du site, 2 piézaires à 3 mètres de profondeur et 1 à 6 mètres.
 - c) Réaliser deux campagnes de prélèvement des gaz du sol sur l'ensemble des piézaires présents sur site.
 - d) Réaliser des tests d'extraction pour mieux évaluer la possible efficacité d'un SVE/MPE. Il s'agit de mettre les ouvrages en dépression avec des essais par palier et de mesurer la dépression induite et le flux d'air.

En fonction des résultats obtenus suite à la réalisation des éléments précédents, les étapes présentées ci-dessous pourront être envisagées :

- La réalisation d'essai de venting. La méthode du venting pourrait permettre le traitement des gaz du sol et de la pollution adsorbée. L'essai proposé se ferait sur une première phase de 6 mois suivie d'un arrêt pour pouvoir évaluer l'effet rebond. Une nouvelle campagne de prélèvement des gaz du sol sur l'ensemble des piézaires présents sur site pourrait être réalisée suite à cette étape.
- En parallèle à cet essai, une étude de faisabilité pour l'application de la méthode de désorption thermique in situ serait réalisée. Cette méthode pourrait éventuellement compléter le traitement des sols par venting.



PLAN DE GESTION - ANCIENNE STATION SERVICE - BORDEAUX CAUDERAN (33)

- La méthode d'extraction multiphase sera également étudiée. La perméabilité à l'air obtenue par l'essai de venting permettra de conclure sur l'intérêt d'utiliser cette technique ou non pour le site, l'EMP étant une technique plus lourde à mettre en œuvre par rapport aux autres techniques retenues.



5.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La problématique de réduction des impacts dans les gaz du sol peut être traitée de différentes façons.

La faisabilité de certaines techniques n'est pas assurée selon les informations disponibles à ce jour et c'est pourquoi Golder propose de procéder par étapes.

Les mesures de gestion complémentaires retenues suite à une première analyse sont :

- l'atténuation naturelle,
- le venting/bioventing,
- l'extraction multi-phase : L'installation d'un SVE à vide par l'intermédiaire d'un système MPE (Extraction Multi-Phase) permettrait de contrôler la remontée du niveau des eaux souterraines dans les puits d'extraction et d'éviter la circulation de l'air dans les sols profonds. Selon notre retour d'expérience (l'analyse coût-bénéfice n'a pas été réalisée dans le cadre de cette étude), les coûts pourraient être élevés, à cause de la faible perméabilité des sols. Ceci doit être confirmé par des tests supplémentaires sur site. Des tests de faisabilité devront être menés pour s'assurer de la perméabilité des sols dans la zone vadose.
- et/ou le chauffage des sols : Le chauffage In Situ (à travers des techniques à évaluer: soit par désorption thermique, soit par résistivité) impliquerait certainement des coûts très élevés. Cependant, il faut noter que c'est la seule technique efficace dans les sols argileux (toujours selon notre retour d'expérience). Dans ce cas, les potentiels effets secondaires préjudiciables devront être évalués.

Pour les eaux souterraines, Golder rappelle qu'aucune action n'est nécessaire selon les résultats de l'EQRS. Cependant, des actions de réhabilitation pourront éventuellement se rendre nécessaires en fonction de l'évolution des teneurs détectées.

Il est proposé de procéder par étapes pour évaluer la possible mise en place de l'une ou l'autre de ces techniques. La démarche proposée consiste en :

- a) la mise en place d'un suivi trimestriel des eaux souterraines
- b) l'analyse des paramètres d'atténuation naturelle dans les eaux sur 4 piézomètres
- c) l'installation de piézaires supplémentaires
- d) deux campagnes d'échantillonnage des gaz du sol
- e) un essai d'extraction pour mieux évaluer la possible efficacité d'un SVE/MPE

Selon les résultats obtenus précédemment, les étapes suivantes pourraient être envisagées :

- f) la réalisation d'essai de venting
- g) en parallèle, une étude de faisabilité pour l'application de la méthode de désorption thermique in situ
- h) une étude de la méthode d'extraction multiphase



Page de signatures du Rapport

GOLDER ASSOCIATES SARL

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'A. Boulot', written over a faint horizontal line.

Aurélie Boulot
Ingénieur environnement

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Corre', written over a faint horizontal line.

Sébastien Corre
Chef de Projet

ABo/SCo




Figures

Figure 1: Plan de localisation



Source : Géoportail

 Golder Associates	N° projet :	011503160959	Client :	ESSO
	Date :	Avril 2012	Projet :	PLAN DE GESTION – ANCIENNE STATION ES CAUDERAN - BORDEAUX
	Echelle :	Graphique	FIGURE 1 LOCALISATION DU SITE	
	Dessiné par :	EDE		
Revu par :	SCO			



ANNEXE A

Plan de localisation des points de prélèvement

Annexe A
Plan de localisation des fouilles et points de prélèvement

Figure 1 : Plan de localisation des fouilles en fin de travaux (Rapport SERPOL n° 6025 – 7, février 2011)

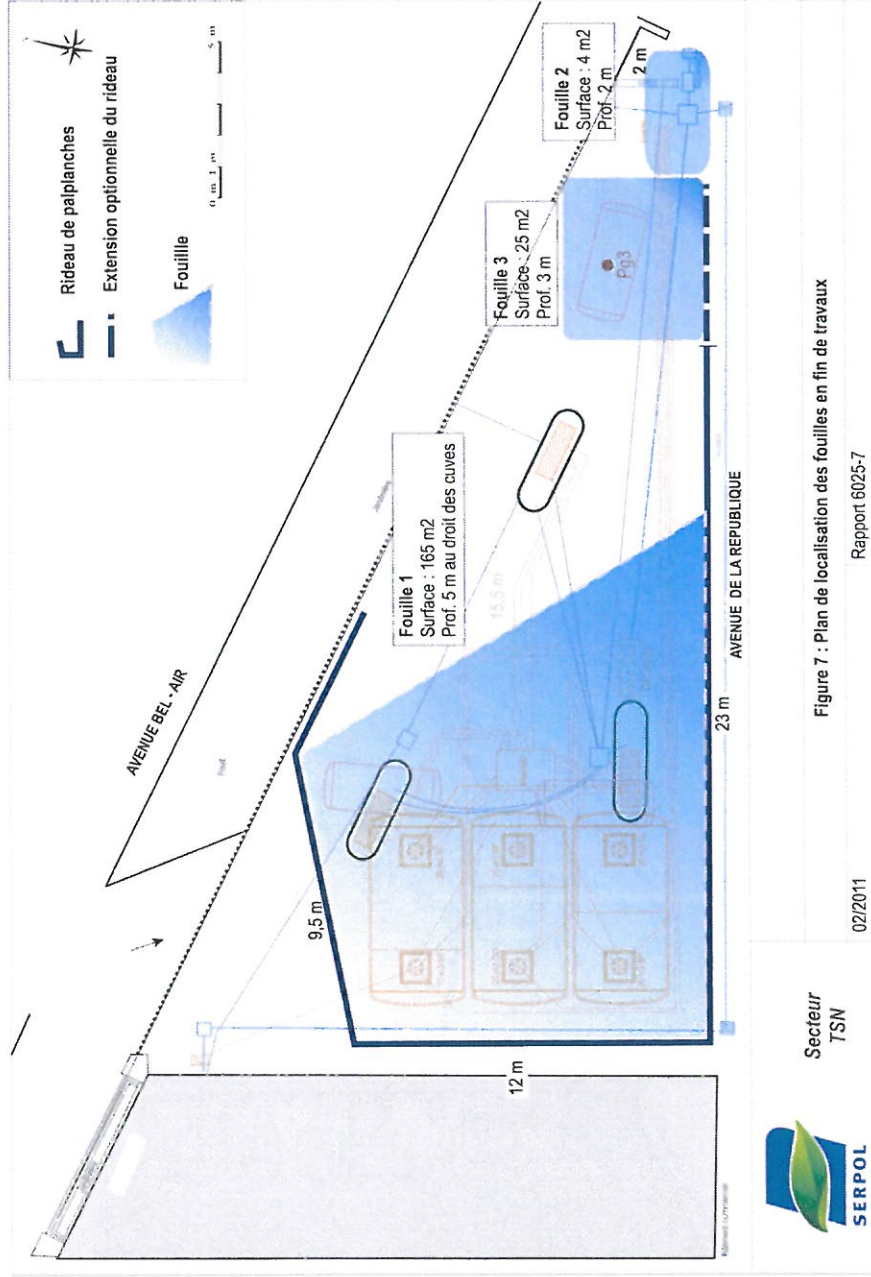


Figure 7 : Plan de localisation des fouilles en fin de travaux

Rapport 6025-7

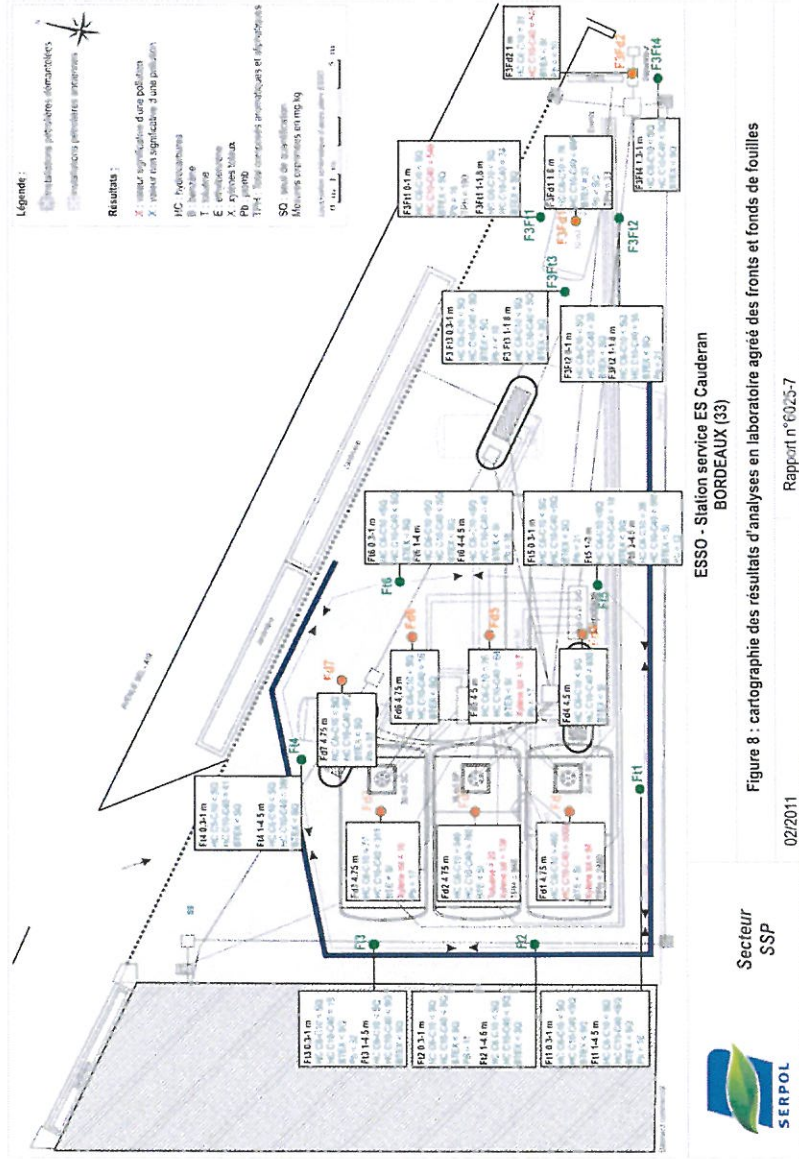
02/2011

Secteur
TSN



Annexe A
Plan de localisation des fouilles et points de prélèvement

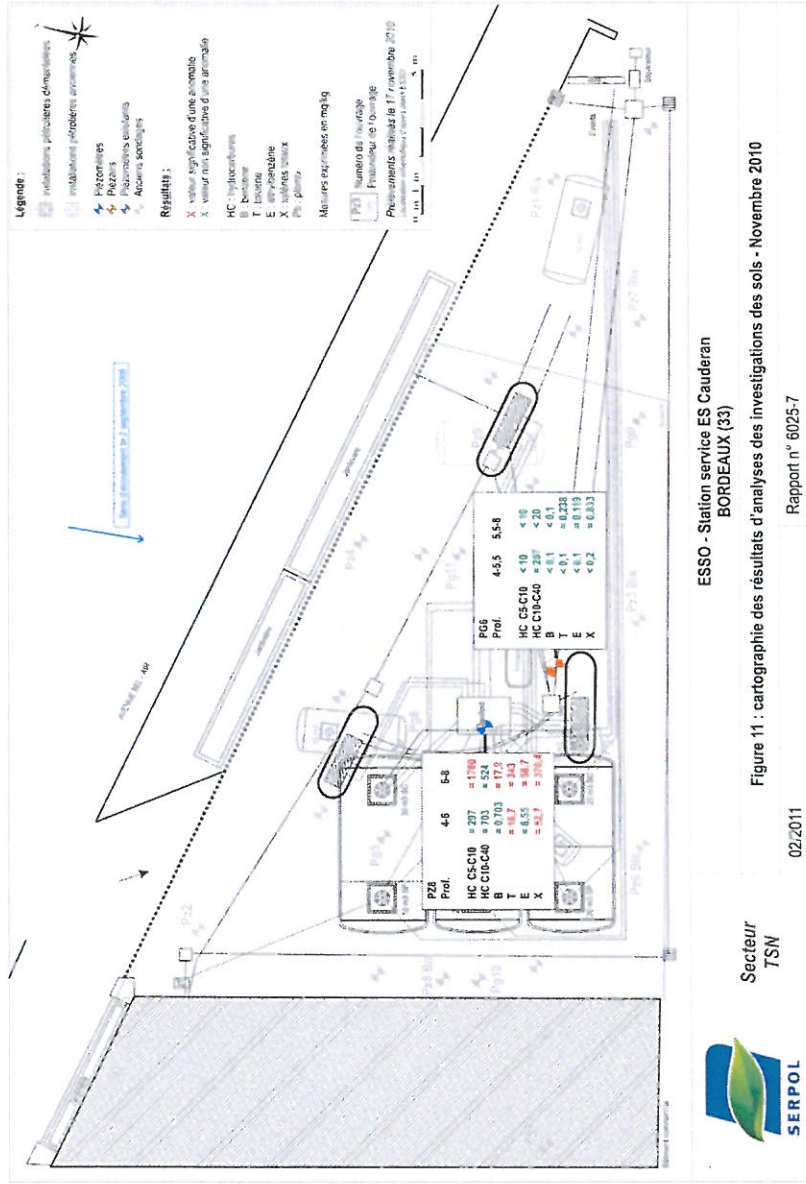
Figure 2 : Plan de localisation des points de prélèvement (+ résultats d'analyses en laboratoire agréé) des fronts et fonds de fouilles (Rapport SERPOL n° 6025 - 7, février 2011)



Note : Les résultats d'analyses utilisés pour le calcul des risques ne sont pas ceux présentés sur cette figure. Ils sont disponibles dans le tableau ci-dessous (extrait du même rapport).

Annexe A
Plan de localisation des fouilles et points de prélèvement

Figure 3 : Plan de localisation des points de prélèvement de sol, eau et gaz du sol lors des investigations complémentaires (Rapport SERPOL n° 6025 - 7, février 2011)



Annexe A Plan de localisation des fouilles et points de prélèvement

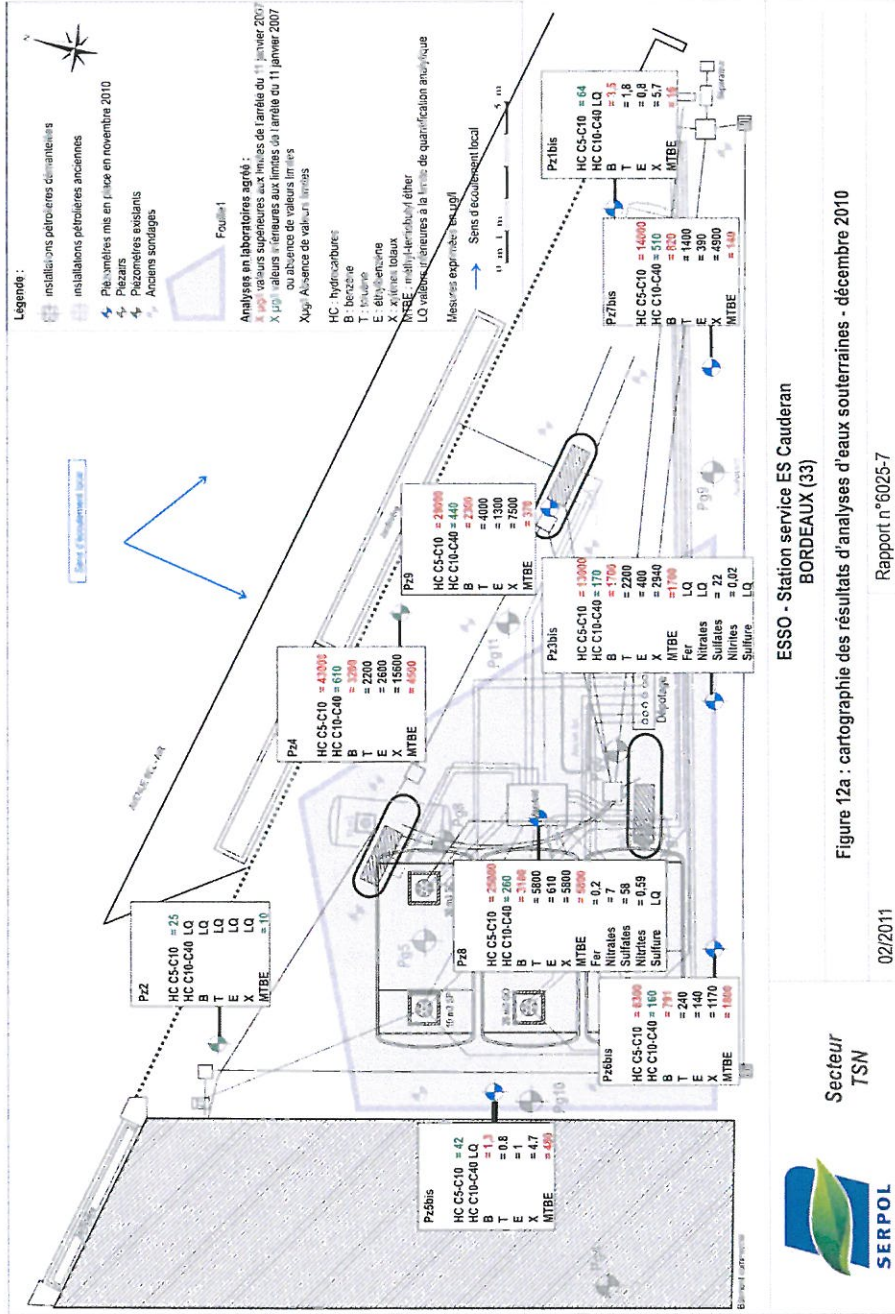


Figure 12a : cartographie des résultats d'analyses d'eaux souterraines - décembre 2010

Rapport n° 6025-7

02/2011

Secteur
TSN





ANNEXE B

Résultats d'échantillonnage sol, eau souterraine et gaz du sol



Tableau 2: Synthèse des résultats d'analyses en laboratoire pour les sols
Fouille 2 et 3

Hydrocarbures (mg/kg)	Fronts 0.3-1m				Fronts 1-1.1m			Fond 1m	Fond 1.8m	Seuil d'intervention pour les sols
	F3 F1	F3 F2	F3 F3	F3 F4	F3 F5	F3 F6	F3 F7	F3 F8	F3 F9	
	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	
Somme des C6	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C7	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<500 mg/kg jusqu'à 1 m
Somme des C8	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C9	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C10	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1000 mg/kg à partir de 1 m
TOTAL HC C6-C10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C11-C12	24.2	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C13-C16	147	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C17-C21	240	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C21-C35	126	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Somme des C35-C40	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<1000 mg/kg à partir de 1 m
TOTAL HC C11-C40	548	19.5	<10	<10	34.4	34.9	<10	548	685	<1000 mg/kg à partir de 1 m
Hydrocarbures aliphatiques C6-C11	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C8-C11	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C12-C14	22.10	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C14-C16	41.10	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C16-C21	126.00	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C21-C35	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aliphatiques C35-C40	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
TOTAL des aliphatiques	180.0	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C12-C14	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C14-C16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C16-C21	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C21-C35	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Hydrocarbures aromatiques C35-C40	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOTAL des aromatiques	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOTAL des composés aromatiques et des aliphatiques	190	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
BTEX (mg/kg)	190	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ben	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tolu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Eth	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Xyl	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
BTEX TOTAL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Meaux (mg/kg)	18	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Chlor	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nick	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cadm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Chrom	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

546 : Valeur dépassant le seuil d'intervention



4: Synthèse des résultats d'analyses en laboratoire des sols des sondages PG6 et Pz8

	Pz8			Pg6		
	4,5-6m	6-8m	4-5,5m	5,5-8m		
Hydrocarbures (mg/kg)	Somme des C5	2,34	11,5	<2	<1,5	<1,5
	Somme des C6	17,6	74,1	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C7	32,8	230	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C8	18,7	153	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C9	15,2	166	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C10	211	1150	<1,5	<1,5	3,57
	TOTAL HC C5-C10	297	1780	<10	<10	<10
	Somme des C10-C12	60,9	95,8	<20	<20	<20
	Somme des C12-C16	31,6	49,8	57,5	<20	<20
	Somme des C16-C21	42,2	56,2	74,8	<20	<20
	Somme des C21-C35	527	268	50,6	<20	<20
	Somme des C35-C40	42,2	57,5	<20	<20	<20
	TOTAL HC C10-C40	703	524	207	<20	<20
BTEX (mg/kg)	Benzène	0,703	17,9	<0,1	<0,1	<0,1
	Toluène	18,7	243	<0,1	0,238	0,238
	Ethylbenzène	8,55	58,7	<0,1	0,119	0,119
	Xylenes totaux	52,7	370,4	<0,2	0,833	0,833
BTEX TOTAUX	120	880	<0,5	3,33	3,33	

1780 : anomalie significative



Tableau 5: Synthèse des résultats d'analyses en laboratoire des sols des sondages PG3

		S3		S4			S5	S6	
		0,5-0,9m	0,9-2m	0,5-0,8m	0,8-1,9m	1,9-2,8m	0,5-1,5m	0,5-1,2m	2-2,8m
Hydrocarbures (mg/kg)	Somme des C5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C6	6,3	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C7	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C8	21	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C9	147	2,16	9,37	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	Somme des C10	483	10,8	61,4	4,23	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
	TOTAL HC C5-C10	657	13	70,8	<10	<10	<10	<10	<10
	Somme des C10-C12	1260	88,7	437	<20	<20	<20	<20	<20
	Somme des C12-C16	2200	238	957	94,1	<20	<20	<20	<20
	Somme des C16-C21	2100	238	853	137	<20	<20	<20	<20
	Somme des C21-C35	640	96,3	260	57,1	<20	<20	<20	<20
	Somme des C35-C40	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
	TOTAL HC C10-C40	6090	703	2500	338	30,6	<20	<20	<20
TPH (mg/kg)	hydrocarbures aliphatiques C6-C8								
	hydrocarbures aliphatiques C8-C10								
	hydrocarbures aliphatiques C10-C12								
	hydrocarbures aliphatiques C12-C14								
	hydrocarbures aliphatiques C14-C16								
	hydrocarbures aliphatiques C16-C21								
	hydrocarbures aliphatiques C21-C35								
	hydrocarbures aliphatiques C35-C40								
	TOTAL des aliphatiques								
	hydrocarbures aromatiques C6-C8								
	hydrocarbures aromatiques C8-C10								
	hydrocarbures aromatiques C10-C12								
	hydrocarbures aromatiques C12-C14								
hydrocarbures aromatiques C14-C16									
hydrocarbures aromatiques C16-C21									
hydrocarbures aromatiques C21-C35									
hydrocarbures aromatiques C35-C40									
TOTAL des aromatiques									
TOTAL des composés aromatiques et des aliphatiques									
BTEX (mg/kg)	Benzène	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Toluène	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Ethylbenzène	1,57	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Xylènes totaux	7,66	<0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	BTEX TOTAUX	78,6	1,95	2,08	-	-	-	-	-
Métaux (mg/kg)	COT								
	Chrome total								
	Nickel								
	Cuivre								
	Zinc								
	Arsenic								
	Cadmium								
	Mercur								
	Plomb								
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (mg/kg)	naphtalène								
	acénaphylène								
	acénaphène								
	fluorène								
	phénanthrène								
	anthracène								
	fluoranthène								
	pyrène								
	benzo(a)anthracène								
	chrysène								
	benzo(b)fluoranthène								
	benzo(k)fluoranthène								
	benzo(a)pyrène								
	di benzo(a,h)anthracène								
	benzo(ghi)perylene								
	indeno(1,2,3-cd)pyrène								
HAP TOTAUX (16)									



TABLEAU IX : RESULTATS DES ANALYSES D'EAUX SOUTERRAINES EN LABORATOIRE AGREE (MTBE, BTEX, HC, TPH) - suivi du 01 et 02 décembre 2010

Composés aromatiques volatils CAV (µg/l)	Nom de l'ouvrage	PZ1bis	PZZ	PZ3bis	PZ4	PZ4bis	PZ7bis	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11	PZ12	PZ13	Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine [1]	Limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine [2]																
																amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval								
Composés aromatiques volatils CAV (µg/l)	BTEX	11,8	<0,5	1700	3200	1,3	791	820	2300	<1,3	<0,7	<0,6	<0,5	1	-																
																Toluène	1,8	2200	0,8	240	1400	<2,1	<1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
																Ethylbenzène	0,8	400	1	140	390	<0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
																m, p-Xylène	3	2100	3,7	870	3500	<2,3	<1	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	
																o-Xylène	2,7	840	1	300	1400	<0,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
																Somme des CAV	11,8	7240	7,8	2340	7510	15300	15100	-	-	-	-	-	-	-	-
																Fe	-	<0,1	-	0,2	-	-	-	-	-	-	<0,1	-	<0,1	0,2 (per total) *	-
																Calcium	-	<10	-	7	-	-	-	-	-	-	21	-	3	50	-
																Sulfates	-	22	-	56	-	-	-	-	-	42	-	-	140	250 *	250
																Eléments (mg/l)	-	0,02	-	0,99	-	-	-	-	-	0,39	-	-	0,17	0,5	-
Hydrocarbures (µg/l)	Hydrocarbures totaux (C10-C16)	<50	<50	170	610	<50	180	510	440	<50	<50	<50	<50	-	-																
																Hydrocarbures C10-C12	<50	80	<50	70	370	150	310	<50	<50	<50	<50	<50	<50		
																Hydrocarbures C12-C16	<50	<50	<50	90	90	<50	<50	70	<50	<50	<50	<50	<50	<50	
																Hydrocarbures C16-C21	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	
																Hydrocarbures C21-C35	<50	<50	<50	50	50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	
																Hydrocarbures C35-C40	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
																Hydrocarbures totaux (C5-C10)	64	25	13000	43000	42	6300	14000	25000	25000	<50	<50	<50	<50	<50	<50
																Somme des C5	11	<8	290	<800	16	260	390	<800	630	<8	<8	<8	<8	<8	<8
																Somme des C6	29	17	670	1300	14	640	160	1600	1200	<8	<8	<8	<8	<8	<8
																Somme des C7	9	<8	3000	4600	<52	1800	150	4400	4600	<20	<8	<8	<8	<8	<8
Somme des C8	<8	<8	820	1400	<8	500	460	2300	1300	<8	<8	<8	<8	<8	<8																
Somme des C9	<8	<8	1100	<800	<8	160	650	2900	1900	<8	<8	<8	<8	<8	<8																
Somme des C10	15	8	6900	36000	12	2900	12000	14000	19000	<8	<8	<8	<8	<8	<8																
Somme hydrocarbures C5-C10	64	25	13170	43510	42	6480	14510	25280	25440	<100	<100	<100	<100	<100	<100																
MTBE - méthyl-tertio-butyl éther (µg/l)	16	10	1700	4500	480	1800	140	5600	370	<0,7	<100	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5																
1700	(European Chemical Bureau - Juin 2001)																														

[1] Annexe I : Arrêté du 11 janvier 2007
 [2] Annexe II : Arrêté du 11 janvier 2007
 * Référence de qualité

5648-2 - ESSO SAF - E.S. CAUDERAN (33) - Diagnostic complémentaire des sols et des eaux souterraines

Teneur significative d'un impact
 Date de prélèvement : 01 et 02 décembre 2010



TABLEAU VI : RESULTATS DES ANALYSES DES GAZ DU SOL EN LABORATOIRE AGREE (BTEX, HC, TPH)

Nom de l'analyte	Unité	PG4 (mm)		PG5 (mm)		PG6 (mm)		PG7 (mm)		PG8 (mm)		PG9 (mm)		PG10 (mm)		PG11 (mm)	
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
BTEX	Toluène	<0,5	25,02	2100*	242,3*	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Benzène	<0,5	0,38	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	p-Xylène	<0,5	0,48	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	m-Xylène	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	o-Xylène	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Styrolène	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Sum C6V	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Alcane volatils	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Alcane C5	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Alcane C6	<0,5	0,45	800	19,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
TPH	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159
	Hydrocarbures aromatiques	<0,159	398,52*	13800*	441,16*	116	3,584	4,757	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159	<0,159

* : couche de mesure saturée
 X : Tenue indiquant un impact significatif dans les gaz du sol
 Date de prélèvement : 19 décembre 2010

PIEZOMÈS	mémo	diamètre de forage	paramètres analysés	débit pompe (l/min)	temps de pompage (min)	volume d'eau (m³)
PG4			BTEX	0,523	20	10,46
			HC	0,523	20	10,46
			TPH	0,523	20	10,46
PG5			BTEX	0,523	20	10,46
			HC	0,523	20	10,46
			TPH	0,523	20	10,46
PG6			BTEX	0,519	20	10,38
			HC	0,519	20	10,38
			TPH	0,519	20	10,38
PG7			BTEX	0,5395	20	10,79
			HC	0,5395	20	10,79
			TPH	0,5395	20	10,79
PG8	52,60 mm		BTEX	0,523	20	10,46
			HC	0,523	20	10,46
			TPH	0,523	20	10,46
PG9			BTEX	0,5395	20	10,79
			HC	0,5395	20	10,79
			TPH	0,5395	20	10,79
PG10			BTEX	0,519	20	10,38
			HC	0,519	20	10,38
			TPH	0,519	20	10,38
PG11			BTEX	0,523	20	10,46
			HC	0,523	20	10,46
			TPH	0,523	20	10,46



ANNEXE C

Présentation des différentes techniques et choix pour l'analyse finale

Technique	Description	Avantages	Limitations	Opération et entretien	Coûts relatifs	Durée relative	Impacts sur l'environnement	Contraintes physiques	Hygiène et sécurité	Acceptation sociale	Commentaire / Applicabilité au site	Budget estimé pour le site	Sélection pour le rapport final
Chauffage des sols	Cette technique consiste à chauffer les sols de manière à augmenter la biodegradation en situ. La volatilisation des polluants adsorbés sur les particules de sol (particules fines, carbone) et ainsi en favorisant l'extraction. Les fins techniques de chauffage les plus courantes sont l'injection de vapeur d'eau, d'air chaud ou de solvant organique. Cette technique vient souvent en complément ou en amélioration d'autres techniques comme le bioventing afin d'accélérer le processus.	Cette technique est facile d'implantation sous un bâtiment ou en présence d'infrastructures existantes. Le seul de contamination résiduelle est faible.	Cette technique peut être très énergivore selon les températures des sols à traiter. Les coûts sont élevés.	Le sol en place est chauffé par différents moyens (vapeur, air chaud, électrodes, suivant les variantes).	Les coûts sont généralement compris entre 100 et 150 €/m ² de sols traités.	Les durées de traitement varient entre 3 et 6 mois en fonction du type de sols et du polluant.	Forte consommation d'énergie et donc émissions de gaz à effet de serre.	La description thermique in situ est applicable. Les polluants les plus volatils et semi-volatils (hydrocarbures aromatiques polycycliques, PCB, etc.) sont les plus concernés. Les polluants les moins volatils, tels que les PCB mais aussi le mercure.	Les règles d'hygiène et de sécurité sont en lien avec la présence de systèmes électriques.	Les interventions restent assez limitées et acceptabilité sociale est plutôt bonne.	Le chauffage des sols permet d'obtenir de bons résultats sur le type de sols rencontrés au droit du site. Il faut noter que celle-ci est surtout en zone saluée. Elle n'est pas retenue dans le cadre de ce rapport car elle n'est pas retenue pour la faible retenir d'efficacité.	90 K€ à 200 K€	oui
Autres Electrocoagulation	Cette technique consiste à appliquer un courant électrique entre deux électrodes (anode et cathode). Le courant électrique crée des radicaux hydroxyles qui oxydent les polluants. L'électro-migration implique le déplacement des polluants polaires ou chargés vers les électrodes. L'électro-ozonose implique la production d'ozon qui oxyde les polluants. Les électrodes utilisées pour mobiliser les polluants, les détruire ou favoriser leur biodegradation.	Les métaux et les espèces polaires sont facilement adsorbés sur les électrodes. Les horizons peu perméables (silt, argile) peuvent être traités.	Cette technique est toujours à l'état de démonstration. Elle est relativement coûteuse. Elle nécessite d'être associée à d'autres techniques. Elle nécessite d'importantes mesures de sécurité.	Il faut installer des électrodes (encores, cathodes) liées à un système de maintien et alimentées par un courant direct. Des mesures de suivi de l'évolution de la pollution sont nécessaires pour toute la durée du traitement.	Les coûts dépendent fortement des sols à traiter, de la configuration des électrodes, de l'espacement des électrodes, et du type de polluant. Les coûts sont estimés à 100 à 140 €/m ² de sols traités. Les coûts de l'énergie électrique sont de l'ordre de 500 kWh/m ² pour des électrodes espacées de 1 à 1,5 m.	Les délais sont de plusieurs mois à quelques années.	Consommation électrique importante, impact sur le mode de production de l'électricité.	Les polluants cibles sont les composés polaires comme les métaux (plomb, mercure, cadmium, chrome, sélénium, etc.), certains radionucléides (C137, Sr90, Césium), les radionucléides organiques, les pesticides, les produits pharmaceutiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les hydrocarbures halogénés.	Les règles d'hygiène et de sécurité sont en lien avec la présence de systèmes électriques.	Les interventions restent assez limitées et acceptabilité sociale est plutôt bonne.	L'électrocoagulation est une technique encore peu éprouvée, quoiqu'elle ne soit pas une technique nouvelle. Elle est efficace surtout en zone saluée. Elle n'est pas retenue dans le cadre de ce rapport car elle n'est pas retenue pour la faible retenir d'efficacité.	-	non

Golder Associates a pour ambition de constituer la société d'experts-conseils spécialisés en sciences de la terre et en environnement la plus respectée au monde. Propriété de ses employés depuis sa création en 1960, notre entreprise se distingue par le caractère unique de sa culture d'actionnaire qui favorise un climat de stabilité à long terme. Nos professionnels prennent le temps de comprendre les besoins des clients et les contraintes spécifiques rattachées à leurs activités. Nous cherchons en permanence à étendre notre expertise technique à travers nos nombreux bureaux aujourd'hui localisés en Afrique, Asie, Océanie, Europe, Amérique du Nord et Amérique du Sud.

Afrique	+ 27 11 254 4800
Asie	+ 852 2562 3658
Océanie	+ 61 3 8862 3500
Europe	+ 356 21 42 30 20
Amérique du Nord	+ 1 800 275 3281
Amérique du Sud	+ 55 21 3095 9500

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates sarl
31 rue Gorge de Loup
69 009 Lyon
France
T: +33 4 72 53 73 10



SARL au Capital de 352000 €
RCS Lyon 440 602 282
N° TVA Intracommunautaire FR80440602282