

The logo for Fondasol, featuring the word "fondasol" in a bold, orange, sans-serif font. The letter "o" is stylized with a white and grey circular graphic element.

Port-de-Bouc (13) Plan de gestion

Rapport n° PR.69EN.22.0018 – 004 – 1ère diffusion – 03/10/2022

Ville de Port-de-Bouc

VILLE DE
PORT DE BOUC
www.portdebouc.fr



Terrain de la Lèque
Rue de la République
Port-de-Bouc (13)

AGENCE FONDASOL ENVIRONNEMENT CENTRE SUD



106 avenue Franklin Roosevelt
69120 – VAULX-EN-VELIN

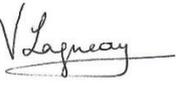
☎ 04.74.37.68.88

✉ environnement.lyon@fondasol.fr

RT 261-302-A

SUIVI DES MODIFICATIONS ET MISES A JOUR

Le chef de projet de cette étude est : Véronique LAGNEAU

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Vérificateur	Superviseur
-	03/10/2022	74 + Annexes	1ère diffusion	H. BRACCHI  A. NOWACKI 	V. LAGNEAU 	C. DELCAMBRE 
A						
B						
C						

RESUME NON TECHNIQUE

A la suite d'un diagnostic complémentaire des sols et des gaz des sols (étude référencée PR.69EN.22.0018-003) au droit du site localisé sur la rue de la République dans la commune de Port-de-Bouc (13), la ville a missionné FONDASOL pour la réalisation d'un Plan de Gestion au sens de la NF X 31 620.

Le plan de gestion a permis de délimiter 2 zones de pollution concentrée (I au nord-est et I au sud-est). Les seuils de dépollution à atteindre sont les suivants :

- 0,7 mg/kg MS pour le cadmium,
- 25 mg/kg MS pour le cuivre,
- 0,5 mg/kg MS pour le mercure,
- 100 mg/kg MS pour le plomb,
- 120 mg/kg MS pour le zinc,
- 200 mg/kg MS pour le HC C10-C40,
- 14,7 mg/kg MS pour le HAP.

Compte tenu de la nature des composés et des volumes mis en jeu, une seule solution de gestion a été retenue, à savoir l'excavation des terres. Il a été estimé un coût de traitement à environ 29 k€ avec un délai de réalisation de moins de 2 mois. FONDASOL Environnement recommande également le recouvrement des espaces verts par 30 cm de terres végétales au minimum.

L'analyse des risques résiduels montre que les risques d'inhalation induits sur le site, une fois les zones de pollution concentrée gérées, sont conformes aux exigences formulées dans la Politique de gestion des sites et sols pollués, et notamment à la circulaire de février 2007 avec des valeurs seuils dans les gaz du sol.

Rappelons que préalablement aux évacuations hors site, il conviendra de réaliser un certificat d'acceptation préalable (CAP) auprès du centre repreneur des terres en amont des travaux. Ceux-ci devront être réalisés selon la réglementation en vigueur.

Rappelons également que les conclusions de cette étude ne sont valables que pour le projet fourni (cf.B.2). Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses d'aménagement retenues ou les données analytiques complémentaires sur l'état de pollution du milieu souterrain entraînera une révision de ces conclusions.

FONDASOL Environnement recommande le suivi environnemental des travaux de dépollution avec la réalisation de prélèvements de contrôle en cours de travaux, en fond et bords de fouille dans les sols.

Ce plan de gestion devra être complété par un plan de conception des travaux (PCT) qui regroupera toutes les études nécessaires à la rédaction du cahier des charges pour la consultation des entreprises de travaux. C'est une étape clé du processus de gestion pour valider les scénarios de gestion. Le plan de conception des travaux a vocation à constituer un document spécifique réalisé après le plan de gestion qui aura défini les essais de faisabilité et de traitabilité à réaliser, les données de dimensionnement du projet, ainsi que les objectifs associés à ces essais. Dans ce cas, le plan de gestion n'est pas conclusif.

Enfin, les anomalies restantes devront être consignées au sein des documents d'urbanisme.

RESUME TECHNIQUE

Client	Ville de Port-de-Bouc	
Périmètre d'étude	Désignation usuelle du site	Site du terrain de la Lèque - rue de la République
	Adresse	rue de la République à Port-de-Bouc (13)
	Parcelles cadastrales	Non répertorié
	Surface approximative	1 600 m ²
	Altitude moyenne du site	+ 2 m NGF
Contexte de l'étude	Cette étude est réalisée dans le cadre d'un changement d'usage (projet d'aménagement d'un terrain de sport avec espaces verts).	
A270 Interprétation des résultats	Sols	<p>La campagne d'investigations complémentaires sur les sols a :</p> <ul style="list-style-type: none"> confirmé des impacts généralisés en métaux dans les sols à toutes les profondeurs ; montré une zone nord-est (autour de PA11) présentant des impacts en métaux et des teneurs en hydrocarbures volatils ; confirmé des impacts en HAP et hydrocarbures lourds sur les échantillons profonds sur une zone sud-ouest.
	Gaz du sol	<p>Les analyses des gaz de sols mettent en évidence un dépassement du seuil RI en trichloroéthylène et en benzène sur PA11 et des quantifications en toluène, xylènes, hydrocarbures aliphatiques C₈-C₁₂ et aromatiques C₆-C₈ et en mercure. A noter l'absence de quantification en BTEX et COHV dans les sols associés à ces piézaires.</p>
Schéma conceptuel	Synthèse des risques retenus	<p>Sur site :</p> <ul style="list-style-type: none"> Inhalation de polluant sous forme gazeuse (ZNS ou ZS) Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières Ingestion de sols et de poussières <p>Hors site : inhalation de polluant sous forme gazeuse (via la nappe)</p>
Plan de Gestion		
Enjeux	Enjeux sanitaires : risques chroniques sur le moyen et long terme liés à la présence de substances polluantes dans les sols et gaz du sol, susceptibles d'affecter les futurs usagers.	
Caractérisation de la zone impactée	Pollution concentrée en HCT (> 200 mg/kg MS), HAP (> 14,7 mg/kg MS), cuivre (> 25 mg/kg MS), cadmium (> 0,7 mg/kg MS), cuivre (> 25 mg/kg MS), mercure (> 0,5 mg/kg MS), zinc (> 120 mg/kg MS) et plomb (> 100 mg/kg MS).	
Mesures de gestion proposées	Excavation des terres (29 k environ) pour un délai global de moins de 2 mois	
Servitudes	Type	<ul style="list-style-type: none"> SUP
	Restrictions d'usage	<ul style="list-style-type: none"> Maintien d'un recouvrement des sols du site par une dalle ou 30 cm de terres saines, Bonne application des recommandations de suivi d'excavation.
	Conservation de la mémoire	<ul style="list-style-type: none"> Maintien de la couverture, Consignation des anomalies au sein des documents de vente ou d'urbanisme.

Mesures en phase travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Protections individuelles et collectives spécifiques des travailleurs, • Gestion des envols de poussière en protection des riverains.
Mesures de suivi environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle des teneurs en parois et fond de fouille.
Analyse des Risques Résiduels	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'inhalation acceptable pour un usage d'espaces verts une fois les mesures de gestion mises en œuvre (seuils de réception validés gestion). • Seuils à respecter : <ul style="list-style-type: none"> • 0,7 mg/kg MS pour le cadmium, • 25 mg/kg MS pour le cuivre, • 0,5 mg/kg MS pour le mercure, • 100 mg/kg MS pour le plomb, • 120 mg/kg MS pour le zinc, • 200 mg/kg MS pour le HC Cl0-C40, • 14,7 mg/kg MS pour le HAP.
Recommandations	<p>Compte tenu des impacts mis en évidence au droit du site, FONDASOL Environnement recommande :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la gestion des zones de pollution concentrée par une entreprise spécialisée afin de remettre en état le site d'étude ; • le recouvrement des espaces verts par 30 cm de terres végétales au minimum ; • le suivi environnemental des travaux de dépollution avec la réalisation de prélèvements de contrôle en cours de travaux, en fond et bords de fouille dans les sols ; • le maintien d'anomalies résiduelles dans les sols du site nécessitera de mettre en place des mesures de conservation de la mémoire du site (à travers une restriction d'usage de type SUP) et d'un maintien du recouvrement intégral du site. • en cas de changement du projet d'aménagement, ces recommandations seraient à réévaluer.

SOMMAIRE

A.	Contexte et objectif de notre mission	9
B.	Présentation du site et du projet	11
B.1.	Description générale du site	11
B.2.	Projet d'aménagement	12
C.	Synthèse des études antérieures	13
D.	Schéma conceptuel	18
D.1.	Cibles à considérer	18
D.2.	Source de pollution	18
D.3.	Voies de transfert et milieux d'exposition	18
D.4.	Voies de d'exposition	19
E.	Plan de gestion	21
E.1.	Principe et objectifs	21
E.2.	Gestion des ouvrages enterrés et mise en sécurité du site	23
E.3.	Définition des zones de pollution concentrées	23
E.4.	Revue des techniques disponibles	40
E.5.	Présentation de l'excavation des sols sur site (C321a)	40
F.	Contrôle de l'efficacité et de la pérennité des mesures de gestion	46
F.1.	Mesures proposées pour la gestion du risque en phase travaux	46
F.2.	Surveillance environnementale	47
F.3.	Mise en œuvre de restrictions d'usages	47
G.	Analyse des enjeux sanitaires (A320)	51
G.1.	Méthodologie - Présentation de la démarche	51
G.2.	Sélection des substances et des concentrations	52
G.3.	Etape 1 : Identification des dangers	55
G.4.	Etape 2 : Estimation de la relation doses-réponses et choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	56
G.5.	Etape 3 : Estimation des expositions	58
G.6.	Etape 4 : Calculs de risques sanitaires	61
G.7.	Discussions sur les incertitudes et étude de sensibilité	64
H.	Schéma de fonctionnement	70
I.	Prescriptions complémentaires	72
J.	Limites de la méthode	73
J.1.	Etude documentaire	73
J.2.	Investigations	73
J.3.	Plan de gestion	73
K.	ANNEXES	75

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Conditions Générales de service	
Annexe 2 : Abréviations	
Annexe 3 : Normes et Méthodologie	
Annexe 4 : Tableaux des résultats d'analyses disponibles dans les différents milieux	
Annexe 5 : Matrice de polluants / techniques possibles de dépollution	
Annexe 6 : Sélection des VTR	
Annexe 7 : Paramètres physico-chimiques des substances	
Annexe 8 : Estimation des concentrations dans les différents milieux	
Annexe 9 : Estimation des doses (DJE) et des risques (QD et ERI)	

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe de déclenchement d'un plan de gestion _____	9
Figure 2 : Localisation géographique et cadastrale du site d'étude (Source : IGN©) _____	11
Figure 3 : Esquisse du projet (source : Safran Conceptions Urbaines en date du 05/05/2022) ____	12
Figure 4 : Synthèse cartographique des investigations réalisées dans les sols et gaz du sol (légende de fond : rouge : sols, 1 ^{ère} campagne ; jaune : sols, 2 nd e campagne ; blanc : gaz des sols) _____	17
Figure 5 : Stratégie des mesures de gestion d'un site et sol pollué (Nathanail et al., 2020) _____	21
Figure 6 : Schéma de principe du plan de gestion _____	22
Figure 7 : Délimitation de la zone où des constats de terrain ont été mis en évidence _____	25
Figure 8 : Fréquence relative des teneurs en cadmium _____	28
Figure 9 : Répartition des concentrations en cadmium _____	28
Figure 10 : Fréquence relative des teneurs en cuivre _____	29
Figure 11 : Répartition des concentrations en cuivre _____	29
Figure 12 : Fréquence relative des teneurs en mercure _____	30
Figure 13 : Répartition des concentrations en mercure _____	30
Figure 14 : Fréquence relative des teneurs en plomb _____	31
Figure 15 : Répartition des concentrations en plomb _____	31
Figure 16 : Fréquence relative des teneurs en zinc _____	32
Figure 17 : Répartition des concentrations en zinc _____	32
Figure 18 : Fréquence relative des teneurs en HC C10-C40 _____	35
Figure 19 : Fréquence relative des teneurs en HAP _____	35
Figure 20 : Répartition des concentrations en HC C10-C40 _____	36
Figure 21 : Répartition des concentrations en HAP _____	36
Figure 22 : Délimitation de la zone de pollution concentrée à traiter (analyse statistique) _____	38
Figure 23 : Délimitation des zones de pollutions concentrées et corrélation avec la méthode reposant sur le constat de terrain _____	38
Figure 24 : Maillage de détermination des volumes concernés par une mesure de gestion _____	39
Figure 25 : Schéma de principe d'excavation _____	41
Figure 26 : Principe de l'Analyse des Risques Résiduels _____	52
Figure 27 : Données d'entrée pour l'air extérieur _____	59
Figure 28 : Modèle de fonctionnement _____	71
Figure 29 : Logigramme de sélection des VTR _____	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Prestations réalisées	10
Tableau 2 : Synthèse des données disponibles	16
Tableau 3 : Schéma conceptuel	20
Tableau 4 : Présentation des différentes méthodes (source : Guide UPDS « Pollution concentrée » - avril 2016)	23
Tableau 5 : Observations organoleptiques	24
Tableau 6 : Analyse statistique des données (métaux)	25
Tableau 7 : Analyse statistique des données (composés organiques)	26
Tableau 8 : Fréquence d'occurrence des concentrations en métaux dans les sols	27
Tableau 9 : Comparatif des seuils de coupures suivants différentes approches (métaux)	32
Tableau 10 : Fréquence d'occurrence des concentrations en éléments organiques dans les sols	34
Tableau 11 : Comparatif des seuils de coupures suivants différentes approches (éléments organiques)	37
Tableau 12 : Seuils de coupure retenus	37
Tableau 13 : Echantillons concernés par les mesures de gestion	37
Tableau 14 : Volumes concernés par les mesures de gestion	39
Tableau 15 : Avantages/inconvénients de l'excavation des sols sur site	41
Tableau 16 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur site (C321a)	45
Tableau 17 : Surveillance des milieux	47
Tableau 18 : Les différents types de servitudes possibles	48
Tableau 19 : Restriction d'usages	50
Tableau 20 : Substances et teneurs retenues dans l'Analyse des Risques Résiduels pour la voie inhalation	54
Tableau 21 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation	57
Tableau 22 : Paramètres du budget espace-temps	58
Tableau 23 : Concentrations calculées dans l'air extérieur	60
Tableau 24 : Résultats des calculs de risques sanitaires pour les futurs usagers du futur espace vert	63
Tableau 25 : Teneurs retenues en incertitudes (n°1) dans les gaz du sol	65
Tableau 26 : Teneurs retenues en incertitudes (n°2) dans les gaz du sol	67
Tableau 27 : Caractéristiques retenues en incertitudes (n°3)	66
Tableau 28 : Résultats des calculs de sensibilité	69
Tableau 29 : Classification en termes de cancérogénicité	93
Tableau 30 : Classification en termes de mutagénicité (UE)	94
Tableau 31 : Classification en termes d'effets toxiques pour la reproduction (UE)	94
Tableau 32 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet à seuil)	96
Tableau 33 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet sans seuil)	97
Tableau 34 : Propriétés physico-chimiques des substances	99

A. CONTEXTE ET OBJECTIF DE NOTRE MISSION

A la suite d'un diagnostic complémentaire des sols et des gaz des sols (étude référencée PR.69EN.22.0018-003) au droit du site localisé sur la rue de la République dans la commune de Port-de-Bouc (13), la ville a missionné FONDASOL pour la réalisation d'un Plan de Gestion au sens de la NF X 31 620.

Cette mission fait suite à l'acceptation de notre devis référencé SQ.69EN.22.02.001_indB en date du 01/03/2022.

Le plan de gestion est mis en œuvre lorsqu'il est possible d'agir à la fois sur les moyens d'actions et de fait sur l'état des milieux du site ainsi que sur le choix des usages futurs, ce qui est généralement le cas :

- lors de la cessation d'activité d'un site avec ou sans changement d'usage ;
- pour le projet de réhabilitation d'anciens terrains industriels ;
- lorsqu'une incompatibilité entre l'état des sites et des milieux avec le projet a été identifiée à l'issue de la démarche Interprétation de l'Etat des Milieux.

Il n'est donc pas mis en œuvre lorsque des mesures simples de gestion peuvent être mises en œuvre (excavation des terres polluées dans le cadre d'un projet d'aménagement qui prévoit la réalisation de niveaux de sous-sol).

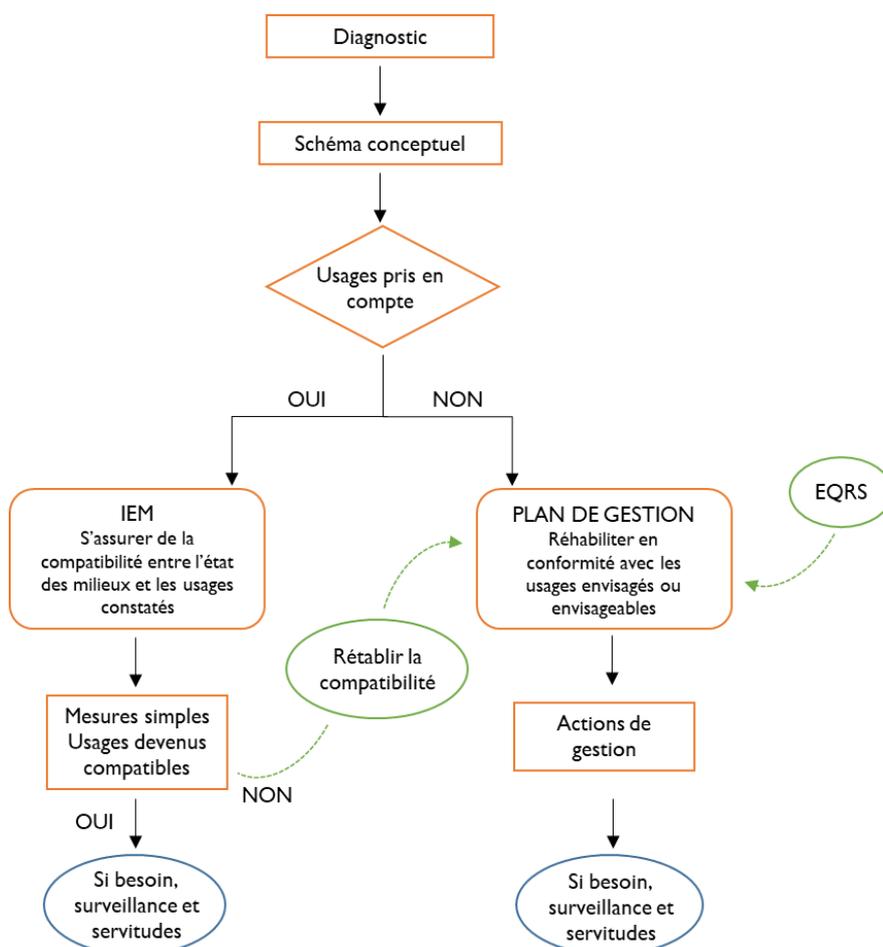


Figure 1 : Schéma de principe de déclenchement d'un plan de gestion

Des diagnostics initiaux avaient précédemment été réalisés afin de caractériser les sols et gaz des sols :

- Rapport FONDASOL Environnement – missions INFOS et DIAG selon la NFX 31 620 – référence PR.69EN.21.0037 en date de juillet 2021 ;
- Rapport FONDASOL Environnement – missions A200-A230-A260-A270 selon la NFX 31 620 – référence PR.69EN.22.0018-003 en date de septembre 2022.

Les résultats de ces diagnostics ont mis en évidence la présence de zones de pollution concentrée qui devront être gérées avant la réalisation du plan d'aménagement du site.

Dans ce cadre, notre mission comprend les prestations globales et élémentaires suivantes.

Tableau I : Prestations réalisées

Code	Prestations globales
PG	Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site pollué
Code	Prestations élémentaires
A320	Analyse des enjeux sanitaires
A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages

B. PRESENTATION DU SITE ET DU PROJET

B.1. Description générale du site

Le propriétaire du site est la Ville de Port-de-Bouc.

Le site d'étude est localisé rue de la République sur la commune de Port-de-Bouc, dans le département des Bouches-du-Rhône (13). Le site est sur le domaine public, il ne correspond donc à aucune parcelle cadastrale et représente une superficie totale de l'ordre de 1 600 m².

D'après la carte IGN, le site est implanté à une altitude comprise entre +1,7 et +2,3 m NGF.

Le terrain présente une pente légère descendante vers le sud-est.

Le site est actuellement libre de toute occupation (à l'exception d'un petit local pour la pétanque) et le sol est à nu.

Le site est bordé :

- au nord par des logements collectifs et le bâtiment des marins-pompiers de Port-de-Bouc ;
- au sud par un terrain de sport clôturé ;
- à l'est par le chenal de Caronte ;
- à l'ouest par un parking.

La localisation géographique et cadastrale du site est présentée en figure suivante.

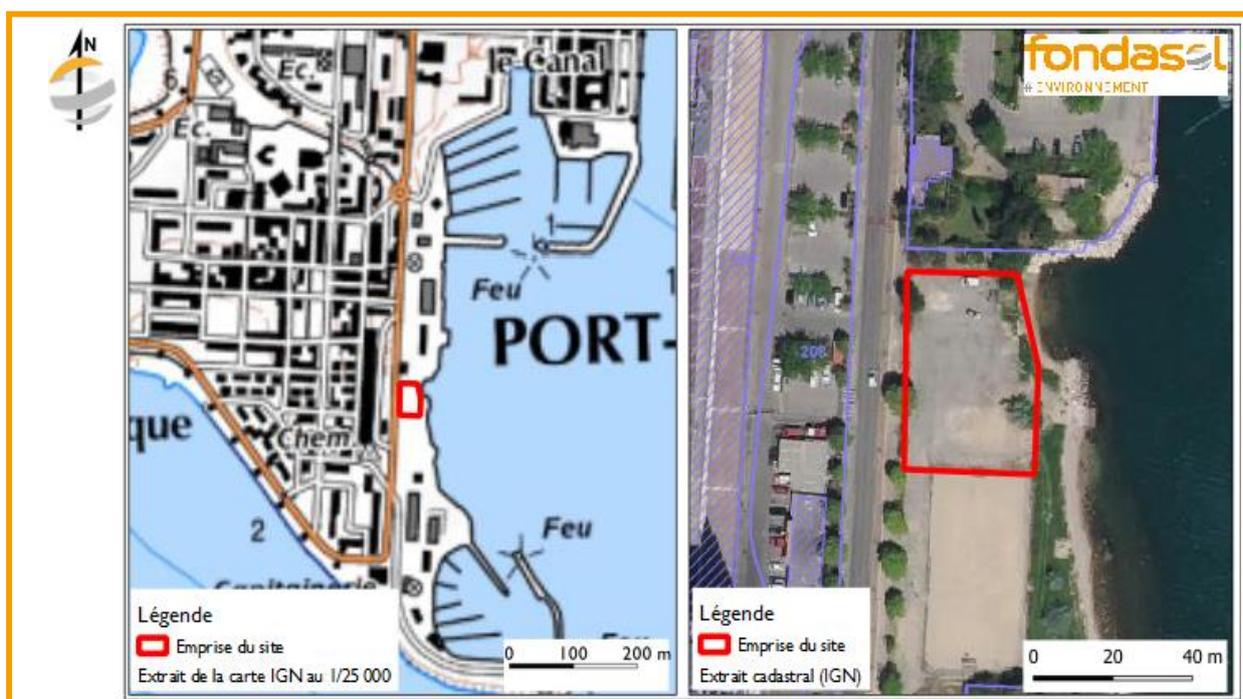


Figure 2 : Localisation géographique et cadastrale du site d'étude (Source : IGN©)

B.2. Projet d'aménagement

A ce stade, la commune de Port de Bouc envisagerait la construction d'un terrain de sport avec espaces verts associés, au droit de la zone d'étude. L'esquisse projet est présentée en figure suivante.



Figure 3 : Esquisse du projet (source : Safran Conceptions Urbaines en date du 05/05/2022)

C. SYNTHÈSE DES ÉTUDES ANTERIEURES

Ce chapitre présente les résultats des rapports FONDASOL Environnement référencés PR.69EN.21.0037 en date de juillet 2021 et PR.69EN.22.0018-003 en date de septembre 2022. Le contexte est rappelé ci-après.

Les tableaux détaillés des résultats disponibles sur les différents milieux sont fournis en Annexe 4.

Client	Ville de Port-de-Bouc	
Périmètre d'étude	Désignation usuelle du site	Site - rue de la République
	Adresse	rue de la République à Port-de-Bouc
	Parcelles cadastrales	Non répertorié
	Surface approximative	1 600 m ²
	Altitude moyenne du site	+ 2 m NGF
Contexte de l'étude	Cette étude est réalisée dans le cadre d'un changement d'usage (projet non défini à la date de rédaction de ce rapport)	
PR.69EN.21.0037 en date de juillet 2021		
A100 – Visite du site	<ul style="list-style-type: none"> La visite de site a été réalisée le 04/06/2021, Le site est actuellement occupé par des terrains de pétanque sur sa partie sud, un petit bâtiment est installé au nord servant de local. Une tonnelle, une terrasse en bois et un barbecue sont également observables au nord du site. 	
A110 Étude historique	Consultation des photographies aériennes	<ul style="list-style-type: none"> De 1930 à 1963 : zone portuaire, De 1963 à 1985 : zone remblayée puis parking pour poids lourds, Depuis 1985 : terrain vague ; à noter la présence de stockage de matériaux inconnus au nord-est sur la photographie de 2020.
	Consultation des bases de données BASIAS, BASOL et des installations classées	<ul style="list-style-type: none"> Le site n'est pas référencé dans la base de données BASIAS, BASOL et SIS
	Consultation des archives (préfecture, département, commune...)	<ul style="list-style-type: none"> La mairie de Port-de-Bouc nous a transmis des plans de masse datant des années 1960 de l'Anse des Fourmis, ancien port correspondant au site à l'étude. Les documents n'apportent pas d'informations pertinentes quant à la nature des remblais utilisés pour terrasser le port dans les années 1960.
A120 Étude de vulnérabilité des milieux	Géologie	<ul style="list-style-type: none"> Remblais d'origine et de qualité inconnue, Alluvions quaternaire et formation biocalcirudite
		Vulnérabilité forte Sensibilité forte
	Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> Nappe des formations gréseuses et marno-calcaires du bassin versant de la Touloubre et l'étang de Berre Nappe de très faible profondeur possède un sens d'écoulement théorique dirigé du nord vers le sud au droit du site La présence de sites BASIAS en amont hydrogéologique
		Vulnérabilité forte Sensibilité faible
	Hydrologie	La mer Méditerranée et chenal de la Caronte
		Vulnérabilité forte Sensibilité faible

	Zones naturelles	Aucun autre site naturel de type ZNIEFF, site Natura 2000, site RAMSAR, ZICO ou zones concernées par un Arrêté de Protection de Biotope n'est recensé dans l'environnement du site d'étude.
		Vulnérabilité faible Non concerné
A200 Diagnostic des sols		<ul style="list-style-type: none"> la campagne d'investigations des sols a été réalisée 21/06/2021 par la société FONDASOL, les investigations réalisées sur le secteur d'étude ont consisté en la réalisation de 5 sondages de sols, au carottier sous gaine (GeoProbe) conduits jusqu'à des profondeurs comprises entre 0,6 m et 2 m, de manière générale, les relevés lithologiques ont mis en évidence la présence de sables limono-graveleux gris, beiges ou marrons reconnus jusqu'à 2 m. des morceaux de ferrailles et céramiques ont été mis en évidence au droit de la lithologie de limon légèrement sableux marron à noire (remblais) sur S20 (0,8-1,4 m).
A270 Interprétation des résultats	Sols	<p>Les analyses de sol au niveau de ces échantillons mettent en évidence :</p> <ul style="list-style-type: none"> la présence d'anomalies et d'impacts en métaux, notamment en plomb et arsenic, d'une teneur significative (comparée aux teneurs sur les autres échantillons analysés) en sulfates et de traces de naphthalène au droit de l'échantillon S20 (0,8-1,4) au niveau de la lithologie de limon légèrement sableux marron à noir. Ces anomalies et impacts ne sont pas identifiés en surface, la présence d'une anomalie localisée en HAP au niveau de S16 (1-2 m), sans quantification de naphthalène au droit de cet échantillon, et non identifiée en surface.
PR.69EN.22.0018-003 en date de septembre 2022		
A200 Diagnostic des sols		<p>Les investigations menées sur le secteur d'étude ont consisté en la réalisation de 4 sondages de sols, à la tarière mécanique, conduits jusqu'à une profondeur maximale de 4 m.</p> <p>Un niveau d'eau a été rencontré à environ 2,1 à 3 m de profondeur par rapport au niveau du sol au droit des sondages.</p>
A260 Diagnostic des terres à excaver		Des indices organoleptiques ont été mis en évidence au droit d'une partie des échantillons : débris d'enrobé et de brique, couleur noire.
A230 Diagnostic des gaz du sol		Les investigations réalisées sur le secteur d'étude ont consisté en la réalisation de 2 piézairs.
A270 Interprétation des résultats	Sols	<p>La campagne d'investigations complémentaire sur les sols a :</p> <ul style="list-style-type: none"> confirmé des impacts généralisés en métaux dans les sols à toutes les profondeurs ; montré une zone nord-est (autour de PA11) présentant des impacts en métaux et des teneurs en hydrocarbures volatils ; confirmé des impacts en HAP et hydrocarbures lourds sur les échantillons profonds sur une zone sud-ouest.

	Terres à excaver	<p>Les analyses ont mis en évidence la présence de dépassements de certains critères de l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) : hydrocarbures sur brut, antimoine, fraction soluble et sulfates sur éluat.</p> <p>2 filières de prises en charge des terres ont été retenues : ISDI et ISDND</p>
	Gaz du sol	<p>Les analyses des gaz de sols mettent en évidence un dépassement du seuil RI en trichloroéthylène et en benzène sur PA I I et des quantifications en toluène, xylènes, hydrocarbures aliphatiques C₈-C₁₂ et aromatiques C₆-C₈ et en mercure. A noter l'absence de quantification en BTEX et COHV dans les sols associés à ces piézaires.</p>
Schéma conceptuel	Synthèse des risques retenus	<p>Sur site :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhalation de polluant sous forme gazeuse (ZNS ou ZS) • Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières • Ingestion de sol/poussières <p>Hors site : inhalation de polluant sous forme gazeuse (via la nappe)</p>
Recommandations	<p>Compte tenu des résultats, FONDASOL Environnement recommande :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la réalisation d'un plan de gestion (qui fera l'objet d'un second rapport : PR.69EN.22.0018-004) ; • la réalisation d'une seconde campagne d'investigation sur les gaz du sol ; • la mise en place d'un piézomètre à proximité de PA I I afin de vérifier que le TCE et le benzène trouvés dans les gaz des sols ont bien la nappe comme origine. 	

Tableau 2 : Synthèse des données disponibles

Source de pollution	Sondages	Indices de pollution	Impacts identifiés dans les sols	Piézaïrs	Impacts identifiés dans les gaz du sol	Cohérence entre les différents milieux
Ancienne aire de dépôt de matériel inconnu + remblais d'origine inconnue + ancien parking pour véhicules lourds	S19, S20, S31, S32	Morceaux d'enrobé Couleur noire	Max HC C ₁₀ -C ₄₀ = 650 mg/kg Max HC C ₆ -C ₈ = 0,31 mg/kg Max HC C ₈ -C ₁₀ = 0,31 mg/kg Max HAP = 10,7 mg/kg Max naphtalène = 0,13 mg/kg Max Hg = 0,96 mg/kg Max Pb = 580 mg/kg Max Cd = 0,7 mg/kg Max Cu = 130 mg/kg Max Zn = 340 mg/kg	PA11	TCE = 32,18 µg/m ³ Benzène = 8,51 µg/m ³	Non
Remblais d'origine inconnue + ancien parking pour véhicules lourds	S16, S17, S18, S33, S34	Débris de briques Couleur noire	Max HC C ₁₀ -C ₄₀ = 2000 mg/kg Max HC C ₆ -C ₈ = 1,8 mg/kg Max HAP = 27 mg/kg Max naphtalène = 0,21 mg/kg Max Hg = 3,19 mg/kg Max Pb = 200 mg/kg Max Cd = 4 mg/kg Max Cu = 100 mg/kg Max Zn = 520 mg/kg	PA12	Aucun	Non

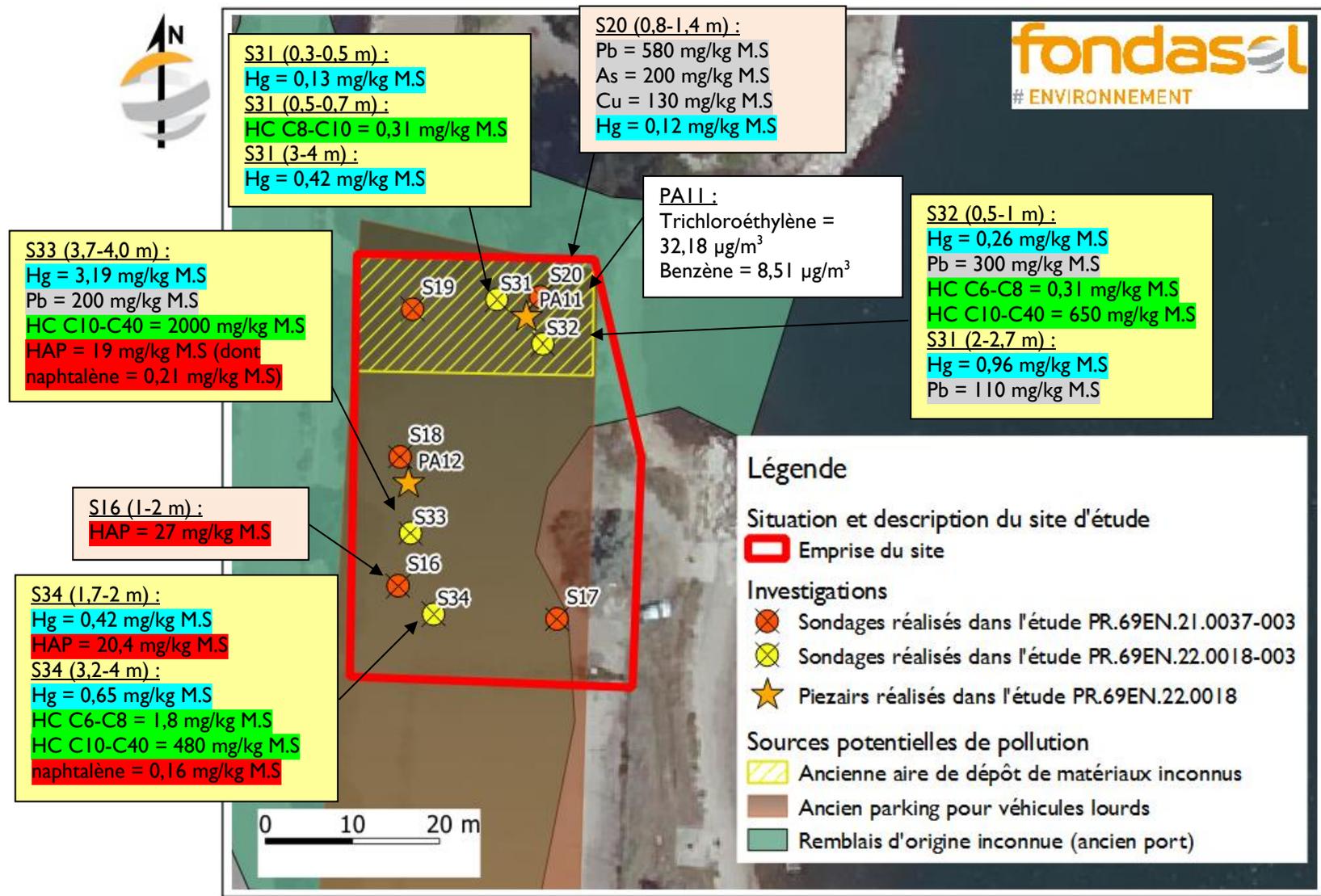


Figure 4 : Synthèse cartographique des investigations réalisées dans les sols et gaz du sol (légende de fond : rouge : sols, 1^{ère} campagne ; jaune : sols, 2^{ème} campagne ; blanc : gaz des sols)

D. SCHEMA CONCEPTUEL

L'élaboration du programme prévisionnel d'investigations consiste à identifier ou caractériser les sources potentielles de pollution, apporter des éléments de connaissance d'un vecteur de transfert ou d'un milieu, infirmer ou confirmer certaines hypothèses du schéma conceptuel.

Le schéma conceptuel a pour objectif de définir les enjeux sanitaires et environnementaux, en illustrant les relations entre les sources potentielles de pollution, les voies de transfert, les milieux d'exposition susceptibles d'être atteints et les cibles concernées.

Véritable état des lieux du milieu ou du site considéré, le schéma conceptuel doit, d'une manière générale, permettre de préciser les relations entre :

- les sources de pollution ;
- les voies de transfert possibles, incluant les divers mécanismes de transport dans chaque milieu et leurs caractéristiques, ce qui détermine l'étendue des pollutions ;
- les récepteurs existants et/ou futurs à protéger : les populations riveraines, les usages des milieux et de l'environnement, les milieux d'exposition, et les ressources naturelles à protéger.

Si cette combinaison n'est pas réalisée, la pollution ne présente pas de risque dans la mesure où sa présence est identifiée et conservée dans les mémoires.

Les modes d'exposition peuvent être directs (ingestion de sols et de poussières, ingestion d'eau, inhalation de gaz provenant du sol ou de la nappe, ou de poussières) ou indirects (ingestion de produits de consommation susceptibles d'être eux-mêmes pollués, comme les produits du jardin).

D.1. Cibles à considérer

Compte tenu du projet d'aménagement présenté dans le §B.2 et les cibles étudiées ici sont les usagers adultes et enfants du site, et des résidents adultes et enfants hors site.

D.2. Source de pollution

Les sources avérées de pollution et les composés traceurs associés sont présentés dans le Tableau 2 ci-avant.

D.3. Voies de transfert et milieux d'exposition

Au droit des zones non recouvertes, les voies de transfert potentielles à considérer sont :

- la volatilisation et la remontée de vapeurs ;
- le contact direct ;
- l'envol de poussières depuis les secteurs non revêtus.

La voie de transfert potentielle hors du site est la migration par les eaux souterraines.

Ainsi, les milieux d'exposition susceptibles d'être atteints sont les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol.

D.4. Voies de d'exposition

Au droit des zones non recouvertes, les voies d'exposition potentielles pour les cibles retenues sont sur site :

- l'inhalation de polluant sous forme gazeuse (Zone Non Saturée et Zone Saturée),
- l'inhalation de polluant adsorbé sur les poussières,
- l'ingestion de sol et de poussières,

Les voies d'exposition potentielles sont hors site :

- l'inhalation de polluant sous forme gazeuse (via la nappe),
- l'ingestion d'eau contaminée (un puits privé/baignade).

Le schéma conceptuel initial est présenté ci-après sous forme de matrice dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Schéma conceptuel

Source de pollution	Cibles / enjeux	Voies de transfert	Milieux concernés par le transfert	Voies d'exposition	Milieu d'exposition	Commentaire
<p>Remblais potentiellement de mauvaise qualité environnementale</p> <p>Impacts en métaux (plomb, mercure) et en éléments organiques</p>	Sur site					
	Usagers actuels enfants et adultes	Volatilisation	Sols / eaux souterraines / gaz des sols → Air ambiant	Inhalation de polluant sous forme gazeuse (ZNS ou ZS)	Air ambiant	Retenu compte tenu des teneurs en composés volatils mises en évidence (un calcul des risques sanitaire est nécessaire, afin de vérifier la compatibilité du site avec les futurs usages)
		Envol de poussières	Sols superficiels → Air ambiant	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières	Air ambiant	Retenu compte tenu des teneurs mises en évidence dans les sols de surface (un calcul des risques sanitaire est nécessaire, afin de vérifier la compatibilité du site avec les futurs usages)
			Sols	Ingestion de sol/poussières	Sols	
	Utilisation des eaux souterraines (arrosage, alimentation en eau potable)	Sols / eaux souterraines → Eaux souterraines	Ingestion de végétaux cultivée sur site	Végétaux	Non retenu compte tenu de l'absence de potager	
	Hors site					
Résidents actuels enfants et adultes	Migration par les eaux souterraines	Eaux souterraines → Air ambiant	Inhalation de polluant sous forme gazeuse (via la nappe)	Air ambiant	Retenu compte tenu des teneurs mises en évidence dans les sols dans la zone de battement de la nappe et compte tenu des niveaux d'eau mis en évidence au cours des sondages	

E. PLAN DE GESTION

E.1. Principe et objectifs

L'objectif du plan de gestion est de rendre le site compatible avec les usages présents ou envisagés en intégrant les spécificités du site et de son environnement, les caractéristiques du projet de réaménagement ainsi que les différentes options de remédiation potentielles.

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites pollués du 19 avril 2017, le but du plan de gestion est ainsi de proposer et de justifier la stratégie de réhabilitation à mettre en œuvre pour d'une part supprimer ou réduire les stocks de polluants présents dans le milieu souterrain et d'autre part restaurer la compatibilité entre la qualité des milieux au droit du site et l'usage futur. Il s'agit donc :

- en priorité de traiter des pollutions concentrées et les sources de pollution ;
- puis en second lieu de désactiver une ou des voies de transfert entre les pollutions diffuses/résiduelles et les usagers du site ;
- enfin, lorsque le plan de gestion ne permet pas de supprimer tout contact possible entre les pollutions résiduelles et les enjeux, il convient de valider du point de vue sanitaire (Analyse des Risques Résiduels) la compatibilité entre la pollution résiduelle et le projet. Par définition, l'ARR doit conclure à la compatibilité.

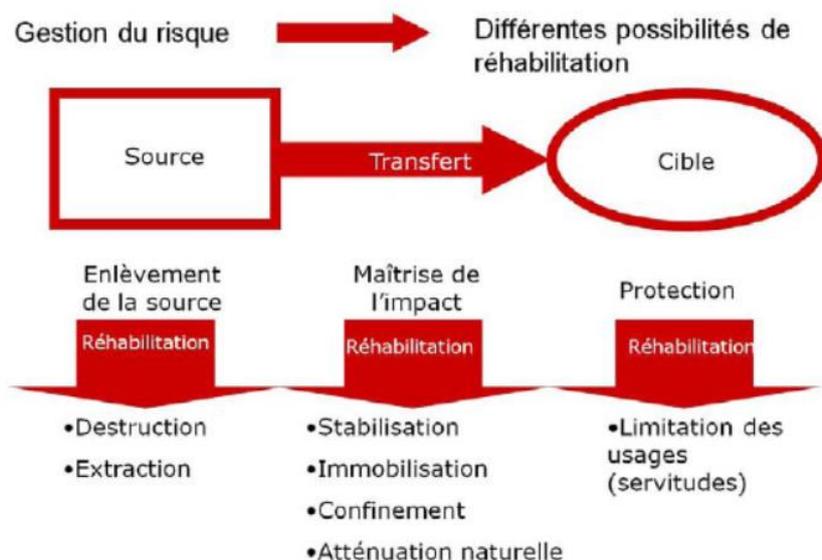


Figure 5 : Stratégie des mesures de gestion d'un site et sol pollué (Nathanail et al., 2020)

L'objectif du plan de gestion est d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'environnement humain et naturel, à un coût raisonnable, tout en évitant de mobiliser des ressources inutilement démesurées au regard des intérêts à protéger.

La démarche peut être itérative comme l'illustre la Figure 6 ci-dessous.

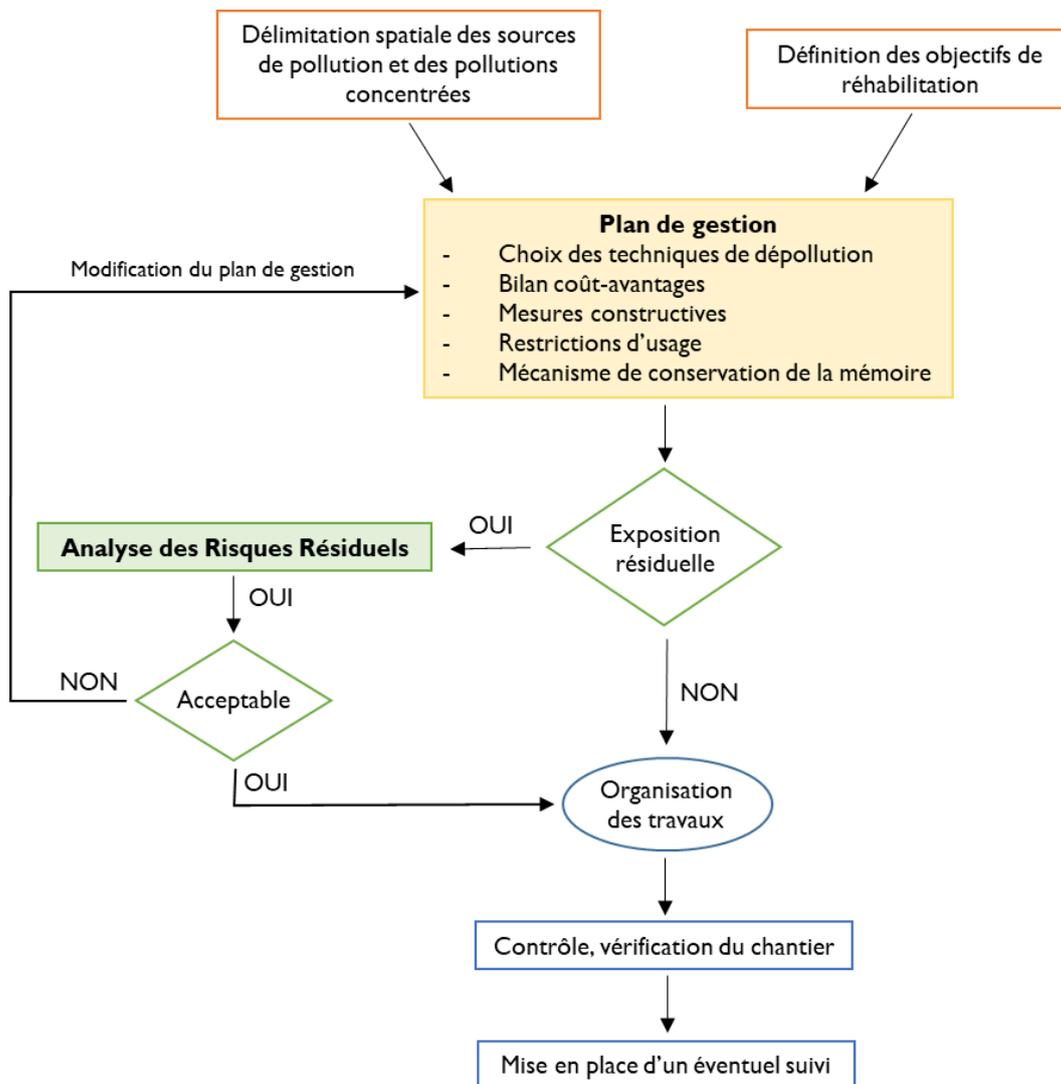


Figure 6 : Schéma de principe du plan de gestion

Pour cela, il faut :

- définir l'emprise horizontale et verticale de la zone de pollution concentrée (cf. E.3).

Comme tous les éléments constituant le plan de gestion, le bilan coûts-avantages :

- doit respecter le principe **de cas par cas** : chaque contexte de gestion est unique et doit faire l'objet d'une étude appliquée tenant compte de ses spécificités ;
- doit **aborder tous les milieux impactés** et justifier / argumenter le fait d'étudier ou non en détail certains milieux (par le biais de bilans massiques, d'identification des transferts, des impacts sanitaires, environnementaux, etc...) ;
- doit tenir compte de l'ensemble des enjeux dans une perspective de **développement durable** ;
- doit rester un outil qui doit **faciliter le dialogue** et favoriser la concertation avec les différentes parties prenantes ;
- est adaptable au fil de la réalisation des études (PG, PCT) ;
- enfin, il est également un outil d'aide à la décision, mais **la décision finale doit rester du ressort du maître d'ouvrage**. Toutefois, si les moyens de la gestion

ne sont pas fixés par l'administration, cette dernière reste l'ultime décisionnaire des objectifs de réhabilitation.

E.2. Gestion des ouvrages enterrés et mise en sécurité du site

La présence d'un pipeline enterré d'hydrocarbures à proximité immédiate du site (partie nord-est), est à considérer dans le cadre de potentiels travaux de terrassement.

E.3. Définition des zones de pollution concentrées

Une pollution concentrée correspond à un volume de milieu souterrain, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume.

FONDASOL a fait le choix de se baser sur le Guide de l'UPDS mis à jour en avril 2016 « Pollution concentrée - Définition, outils de caractérisation et intégration dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués » ; ainsi, la définition des zones de pollution concentrée peut se faire selon différentes méthodes :

- Méthode reposant sur des constats de terrain et indices organoleptiques ;
- Méthode reposant sur une analyse statistique ;
- Méthode reposant sur la détermination de la présence d'une phase organique ;
- Méthode reposant sur l'utilisation d'une méthode d'interprétation cartographique ;
- Méthode reposant sur la réalisation d'un bilan massique ;
- Méthode reposant sur une approche intégrée géostatistique.

Tableau 4 : Présentation des différentes méthodes (source : Guide UPDS « Pollution concentrée » - avril 2016)

Objectifs	Indice qualitatif de présence d'une pollution concentrée	Définition d'un seuil de coupure	Visualisation 2D ou 3D de la pollution concentrée	Estimation du volume de sol d'une pollution concentrée	Estimation du volume de polluant
Méthode reposant sur des constats de terrain et indices organoleptiques	X				
Méthode reposant sur une analyse statistique		X			
Méthode reposant sur la détermination de la présence d'une phase organique		X			
Méthode reposant sur l'utilisation d'une méthode d'interprétation cartographique		X	X	X	
Méthode reposant sur la réalisation d'un bilan massique		X		X	X
Méthode reposant sur une approche intégrée géostatistique		X	X	X	X

X : capacité de la méthode

La définition de la pollution concentrée et sa délimitation résultent de la convergence des résultats d'au moins deux méthodes proposées ci-dessous.

L'objectif commun de ces méthodes est de déterminer un seuil de coupure « théorique », au-dessus duquel il serait intéressant de traiter ces sols en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité.

Car le traitement d'une pollution ne signifie pas en supprimer toute la trace. En effet, selon les textes d'avril 2017, dans de nombreux cas, la gestion d'un volume limité et présentant les concentrations les plus élevées, peut permettre de gérer la majorité de la masse de polluant présente : par exemple selon le principe de Pareto, gérer environ 20% du volume total de pollution (c'est-à-dire le volume le plus pollué) peut permettre in fine de gérer 80% de la masse de polluant ou du flux massique.

E.3.1. Méthode reposant sur des constats de terrain et indices organoleptiques

Cette méthode permet d'apporter des éléments, généralement qualitatifs, pour définir une pollution concentrée. Cette méthode doit être complétée par d'autres méthodes pour recueillir l'ensemble des données nécessaires à la définition de la zone de pollution concentrée. Elle se base sur les données suivantes :

- l'observation visuelle des sols ;
- l'extension horizontale et verticale des observations ;
- les résultats des mesures de terrain (réponses PID) ;

Cette méthode, facile à mettre en œuvre, présente toutefois des limites :

- elle est peu adaptée aux métaux et aux composés peu ou pas volatils en règle générale ;
- les mesures PID ne précisent pas la nature des composés volatils présents et il n'existe pas de tubes colorimétriques pour tous les composés ;
- la couleur noire n'est pas forcément synonyme de pollution ; elle peut être liée à la décomposition naturelle de la matière organique en condition anaérobie.

Les constats de terrain sont synthétisés dans le Tableau 5 et la Figure 7.

Tableau 5 : Observations organoleptiques

Échantillon	Observations organoleptiques	Mesures de terrain
S17 (0-0,6m)	Pépites de charbon	0 ppm
S20 (0,8-1,4m)	Morceaux de ferrailles et céramiques	0 ppm
S31 (0-0,3 m)	Morceaux d'enrobé	0 ppm
S32 (0-0,5 m)	Morceaux d'enrobé	0 ppm
S32 (0,5-1 m)	Couleur noire	0 ppm
S34 (0.45 - 1.70 m)	Débris de briques	0 ppm
S34 (1.70 - 2.00 m)	Débris de briques	0 ppm
S34 (3.20 - 4.00 m)	Couleur noire	0 ppm



Légende

Situation et description du site d'étude

Emprise du site

Investigations

Sondages réalisés dans l'étude PR.69EN.21.0037-003

Sondages réalisés dans l'étude PR.69EN.22.0018-003

Piezaires réalisés dans l'étude PR.69EN.22.0018

Zone mettant en évidence des constats de terrain

Figure 7 : Délimitation de la zone où des constats de terrain ont été mis en évidence

E.3.2. Méthode reposant sur une analyse statistique

L'objectif de l'analyse statistique proposée est de caractériser la présence d'un éventuel bruit de fond et/ou de valeurs anormales significativement différentes dans la distribution des concentrations.

Pour ce faire, FONDASOL s'est basé sur les 2 études statistiques suivantes.

E.3.2.1. Les teneurs maximales, moyennes, les percentiles

Tableau 6 : Analyse statistique des données (métaux)

Paramètre	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc
Nombre de valeurs	28	28	28	28	28
Concentration maximale	4.00	130.00	3.19	580.00	520.00
Concentration moyenne	0.40	19.71	0.26	61.71	78.86
Médiane	0.20	7.25	0.05	18.00	30.00
Ecart type	0.73	28.79	0.61	120.76	112.05
Percentile 80	0.40	22.00	0.21	60.20	96.40
Percentile 90	0.70	31.80	0.49	137.00	155.00
Ecart moyenne et médiane	98%	172%	417%	243%	163%
Ecart écart type et médiane	267%	297%	1127%	571%	273%

Tableau 7 : Analyse statistique des données (composés organiques)

Paramètre	HC C10-C40	Naphtalène	HAP
Nombre de valeurs	28	28	28
Concentration maximale	2000.00	0.21	27.00
Concentration moyenne	147.68	0.07	4.07
Médiane	20.00	0.05	1.32
Ecart type	390.89	0.04	7.03
Percentile 25	20.00	0.05	0.10
Percentile 75	71.30	0.05	2.34
Percentile 80	110.24	0.06	5.30
Percentile 90	263.00	0.12	13.19
Percentile 95	590.50	0.15	19.91

Ecart moyenne et médiane	638%	32%	210%
Ecart écart type et médiane	1854%	21%	435%

Compte tenu des écarts faibles calculés pour les valeurs mesurées en naphtalène, il est possible de conclure quant à une répartition des valeurs autour d'un bruit de fond des terrains pour ce composé (aucune valeur n'est remarquable). Celui-ci ne sera donc pas étudié par la suite.

E.3.2.2. L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations via l'outil statistique fréquence d'Excel (calcul des fréquences relative et cumulée) puis réalisation de graphiques de la fréquence en fonction de la concentration. Ces graphiques peuvent permettre de distinguer les concentrations « anormales » par rapport à un bruit de fond local.

Le Tableau 8 présente les fréquences d'occurrence relatives et cumulées de cadmium par intervalle de 0,1 mg/kg, en cuivre par intervalle de 5 mg/kg, en mercure par intervalle de 0,05 mg/kg, en plomb par intervalle de 10 mg/kg et en zinc par intervalle de 10 mg/kg.

Tableau 8 : Fréquence d'occurrence des concentrations en métaux dans les sols

Cadmium				Cuivre				Mercure				Plomb				Zinc			
Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)	Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)	Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)	Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)	Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)
0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%	0	0	0	0.00%
0.1	9	9	32.14%	5	6	6	21.43%	0.1	20	20	71.43%	20	16	16	57.14%	25	11	11	39.29%
0.2	10	19	67.86%	10	9	15	53.57%	0.2	2	22	78.57%	40	4	20	71.43%	50	6	17	60.71%
0.3	2	21	75.00%	15	3	18	64.29%	0.3	1	23	82.14%	60	2	22	78.57%	75	3	20	71.43%
0.4	2	23	82.14%	20	2	20	71.43%	0.4	0	23	82.14%	80	1	23	82.14%	100	3	23	82.14%
0.5	0	23	82.14%	25	4	24	85.71%	0.5	2	25	89.29%	100	1	24	85.71%	125	0	23	82.14%
0.6	1	24	85.71%	30	1	25	89.29%	0.6	0	25	89.29%	120	1	25	89.29%	150	2	25	89.29%
0.7	2	26	92.86%	35	0	25	89.29%	0.7	1	26	92.86%	140	0	25	89.29%	175	0	25	89.29%
0.8	0	26	92.86%	40	0	25	89.29%	0.8	0	26	92.86%	160	0	25	89.29%	200	1	26	92.86%
0.9	1	27	96.43%	45	1	26	92.86%	0.9	0	26	92.86%	180	0	25	89.29%	225	0	26	92.86%
1	0	27	96.43%	50	0	26	92.86%	1	1	27	96.43%	200	1	26	92.86%	250	0	26	92.86%
1.1	0	27	96.43%	55	0	26	92.86%	1.1	0	27	96.43%	220	0	26	92.86%	275	0	26	92.86%
1.2	0	27	96.43%	60	0	26	92.86%	1.2	0	27	96.43%	240	0	26	92.86%	300	0	26	92.86%
1.3	0	27	96.43%	65	0	26	92.86%	1.3	0	27	96.43%	260	0	26	92.86%	325	0	26	92.86%
1.4	0	27	96.43%	70	0	26	92.86%	1.4	0	27	96.43%	280	0	26	92.86%	350	1	27	96.43%
1.5	0	27	96.43%	75	0	26	92.86%	1.5	0	27	96.43%	300	1	27	96.43%	375	0	27	96.43%
1.6	0	27	96.43%	80	0	26	92.86%	1.6	0	27	96.43%	320	0	27	96.43%	400	0	27	96.43%
1.7	0	27	96.43%	85	0	26	92.86%	1.7	0	27	96.43%	340	0	27	96.43%	425	0	27	96.43%
1.8	0	27	96.43%	90	0	26	92.86%	1.8	0	27	96.43%	360	0	27	96.43%	450	0	27	96.43%
1.9	0	27	96.43%	95	0	26	92.86%	1.9	0	27	96.43%	380	0	27	96.43%	475	0	27	96.43%
2	0	27	96.43%	100	1	27	96.43%	2	0	27	96.43%	400	0	27	96.43%	500	0	27	96.43%
2.1	0	27	96.43%	105	0	27	96.43%	2.1	0	27	96.43%	420	0	27	96.43%	525	1	28	100.00%
2.2	0	27	96.43%	110	0	27	96.43%	2.2	0	27	96.43%	440	0	27	96.43%	550	0	28	100.00%
2.3	0	27	96.43%	115	0	27	96.43%	2.3	0	27	96.43%	460	0	27	96.43%	575	0	28	100.00%
2.4	0	27	96.43%	120	0	27	96.43%	2.4	0	27	96.43%	480	0	27	96.43%	600	0	28	100.00%
2.5	0	27	96.43%	125	0	27	96.43%	2.5	0	27	96.43%	500	0	27	96.43%	625	0	28	100.00%
2.6	0	27	96.43%	130	1	28	100.00%	2.6	0	27	96.43%	520	0	27	96.43%	650	0	28	100.00%
2.7	0	27	96.43%					2.7	0	27	96.43%	540	0	27	96.43%	675	0	28	100.00%
2.8	0	27	96.43%					2.8	0	27	96.43%	560	0	27	96.43%	700	0	28	100.00%
2.9	0	27	96.43%					2.9	0	27	96.43%	580	1	28	100.00%	725	0	28	100.00%
3	0	27	96.43%					3	0	27	96.43%	600	0	28	100.00%	750	0	28	100.00%
3.1	0	27	96.43%					3.1	0	27	96.43%	620	0	28	100.00%	775	0	28	100.00%
3.2	0	27	96.43%					3.2	1	28	100.00%	640	0	28	100.00%	800	0	28	100.00%
3.3	0	27	96.43%					3.3	0	28	100.00%	660	0	28	100.00%	825	0	28	100.00%
3.4	0	27	96.43%					3.4	0	28	100.00%	680	0	28	100.00%	850	0	28	100.00%
3.5	0	27	96.43%					3.5	0	28	100.00%	700	0	28	100.00%	875	0	28	100.00%
3.6	0	27	96.43%					3.6	0	28	100.00%	720	0	28	100.00%	900	0	28	100.00%
3.7	0	27	96.43%					3.7	0	28	100.00%	740	0	28	100.00%	925	0	28	100.00%
3.8	0	27	96.43%					3.8	0	28	100.00%	760	0	28	100.00%	950	0	28	100.00%
3.9	0	27	96.43%					3.9	0	28	100.00%	780	0	28	100.00%	975	0	28	100.00%
4	1	28	100.00%					4	0	28	100.00%	800	0	28	100.00%	1000	0	28	100.00%
								4.1	0	28	100.00%	820	0	28	100.00%	1025	0	28	100.00%
								4.2	0	28	100.00%	840	0	28	100.00%	1050	0	28	100.00%
								4.3	0	28	100.00%	860	0	28	100.00%	1075	0	28	100.00%
								4.4	0	28	100.00%	880	0	28	100.00%	1100	0	28	100.00%
								4.5	0	28	100.00%	900	0	28	100.00%	1125	0	28	100.00%
								4.6	0	28	100.00%	920	0	28	100.00%	1150	0	28	100.00%
								4.7	0	28	100.00%	940	0	28	100.00%	1175	0	28	100.00%
								4.8	0	28	100.00%	960	0	28	100.00%	1200	0	28	100.00%
								4.9	0	28	100.00%	980	0	28	100.00%	1225	0	28	100.00%
								5	0	28	100.00%	1000	0	28	100.00%	1250	0	28	100.00%
								5.1	0	28	100.00%	1020	0	28	100.00%	1275	0	28	100.00%
								5.2	0	28	100.00%	1040	0	28	100.00%	1300	0	28	100.00%
								5.3	0	28	100.00%	1060	0	28	100.00%				
								5.4	0	28	100.00%	1080	0	28	100.00%				
								5.5	0	28	100.00%	1100	0	28	100.00%				
								5.6	0	28	100.00%	1120	0	28	100.00%				
								5.7	0	28	100.00%	1140	0	28	100.00%				
								5.8	0	28	100.00%	1160	0	28	100.00%				
								5.9	0	28	100.00%								
								6	0	28	100.00%								
								6.1	0	28	100.00%								
								6.2	0	28	100.00%								
								6.3	0	28	100.00%								
								6.4	0	28	100.00%								

Les figures ci-dessus permettent de déterminer une rupture de pente pour chaque composé qui définissent au moins 2 gammes de concentrations. Les ruptures de pentes observées sont rappelées dans le tableau suivant.

Les figures suivantes présentent la répartition des concentrations en métaux.

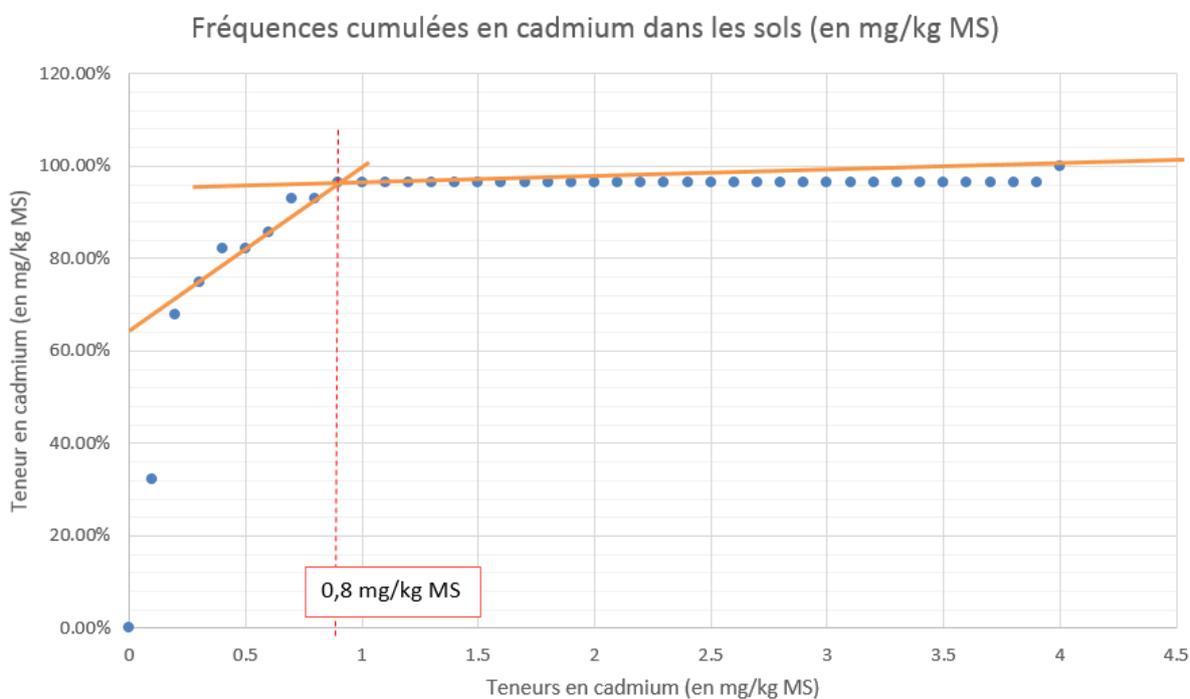


Figure 8 : Fréquence relative des teneurs en cadmium

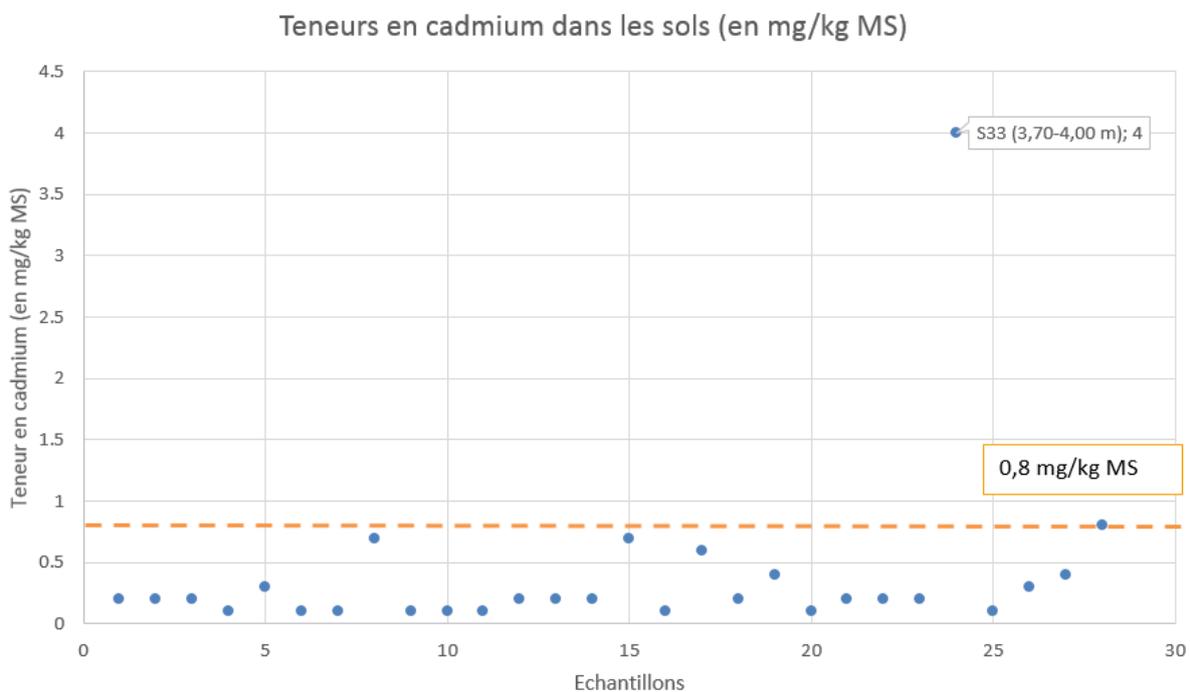


Figure 9 : Répartition des concentrations en cadmium

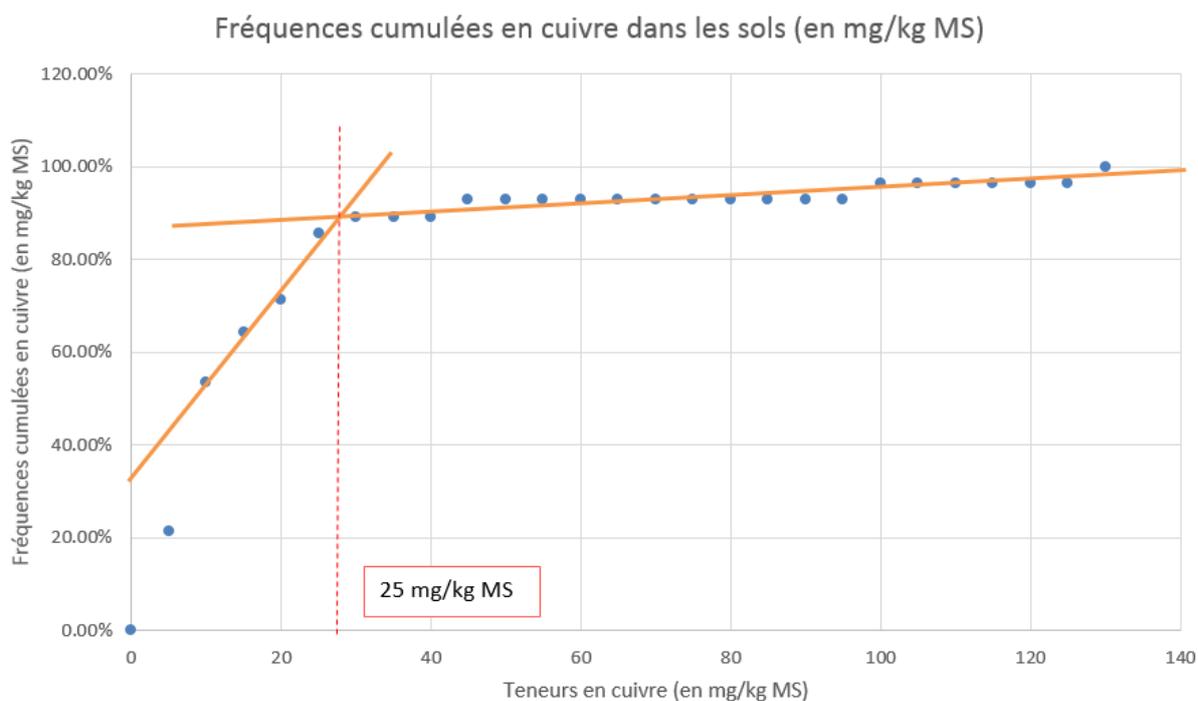


Figure 10 : Fréquence relative des teneurs en cuivre

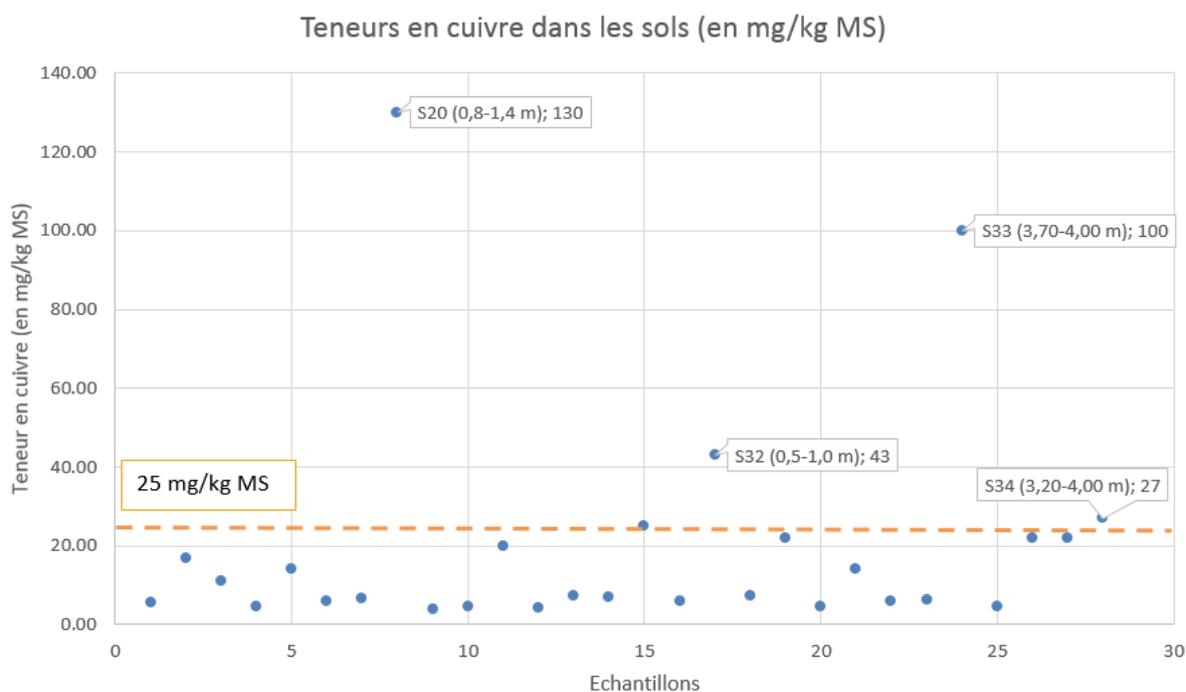


Figure 11 : Répartition des concentrations en cuivre

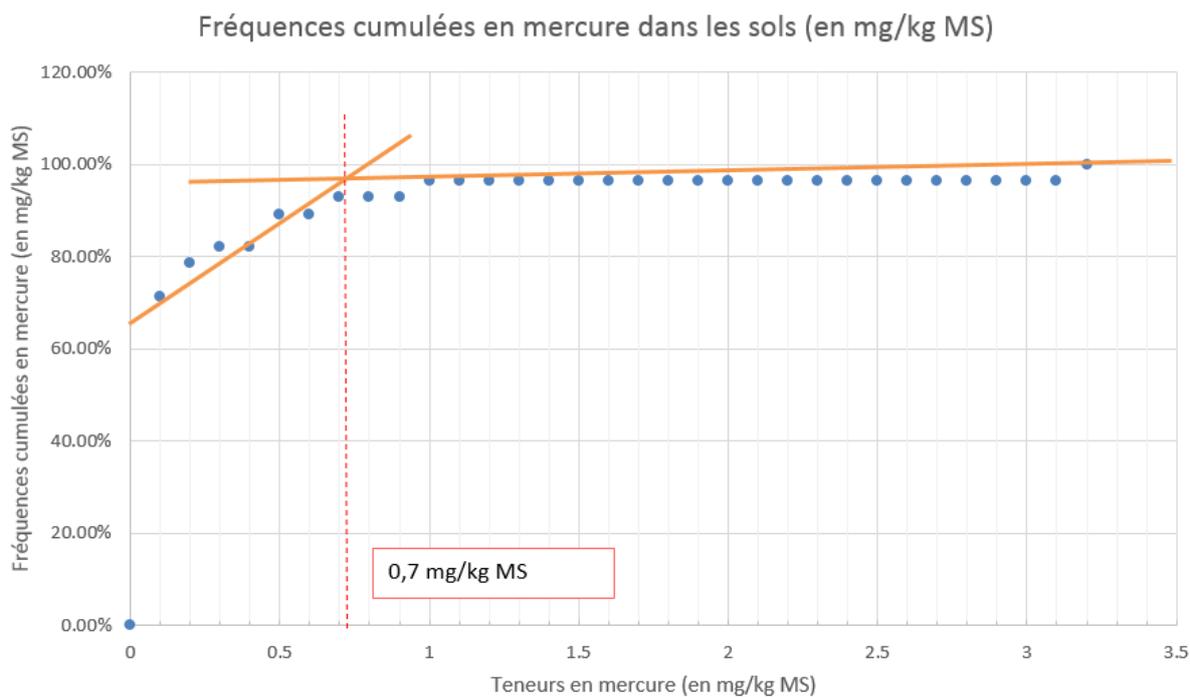


Figure 12 : Fréquence relative des teneurs en mercure

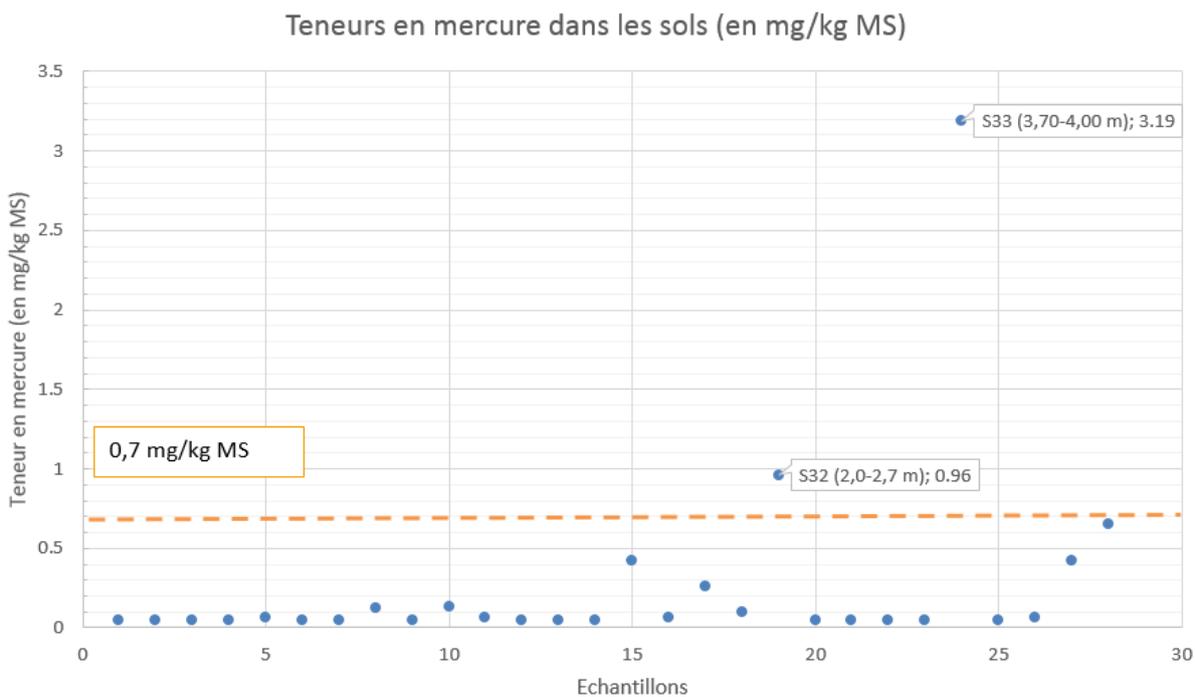


Figure 13 : Répartition des concentrations en mercure

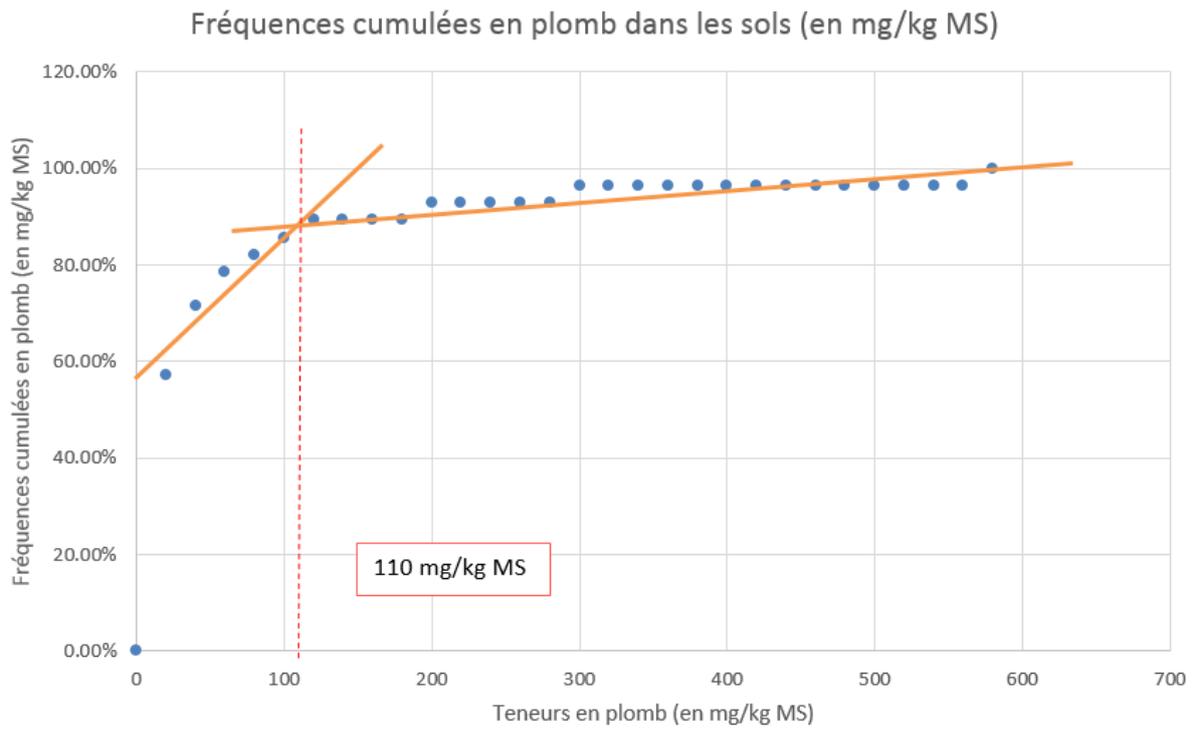


Figure 14 : Fréquence relative des teneurs en plomb

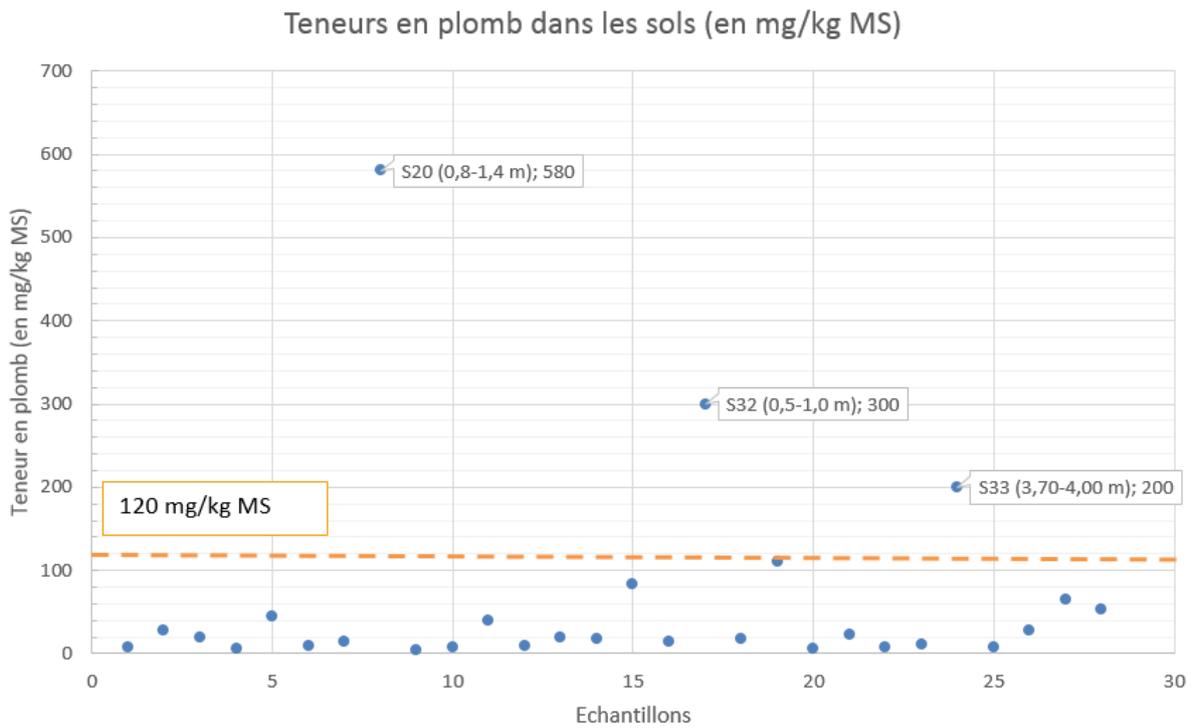


Figure 15 : Répartition des concentrations en plomb

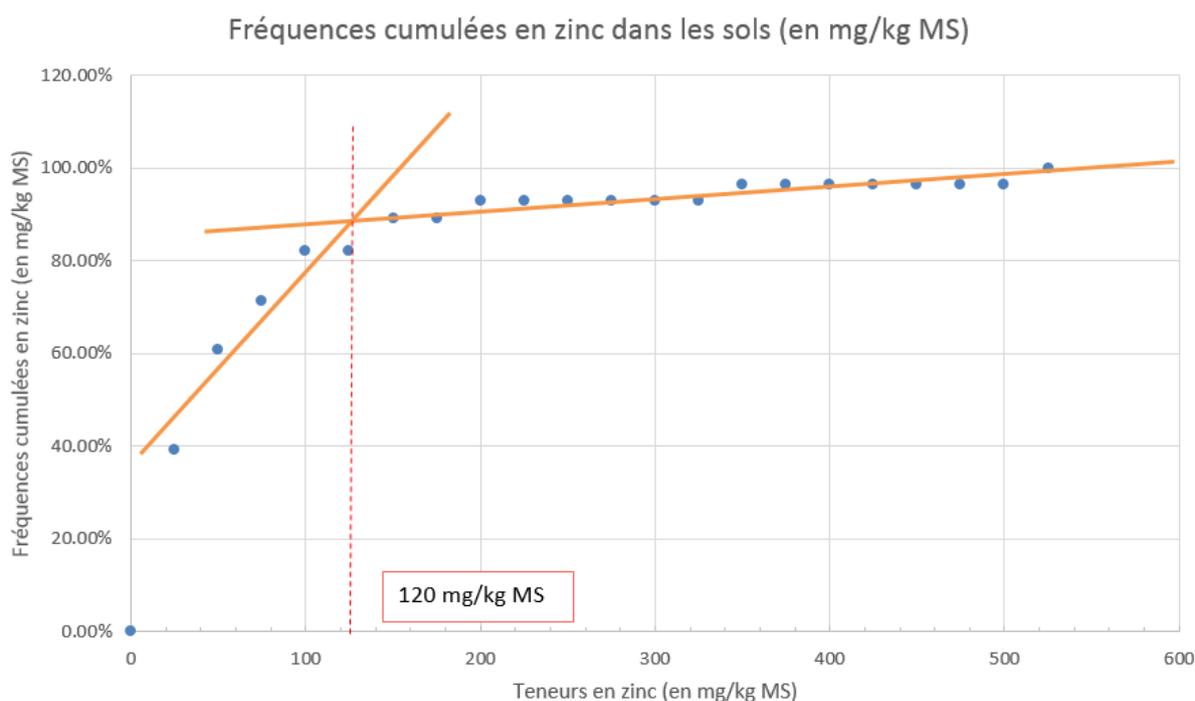


Figure 16 : Fréquence relative des teneurs en zinc

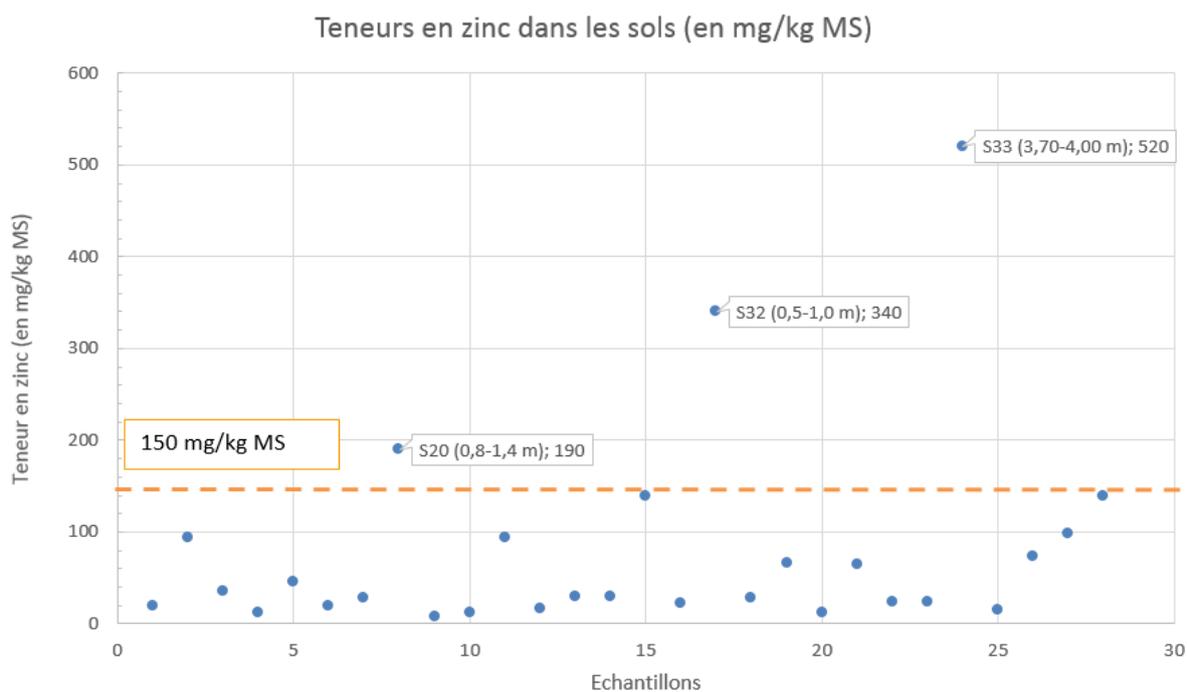


Figure 17 : Répartition des concentrations en zinc

Ces figures font apparaître pour chaque composé des pools d'échantillons (teneurs qui seraient assimilables au bruit de fond du site) et des valeurs isolées présentant des valeurs supérieures à celles du pool. La limite supérieure de chaque pool a été tracée pour déterminer à partir de quelle valeur un échantillon peut être considéré comme étant supérieur au bruit de fond du site.

Tableau 9 : Comparatif des seuils de coupures suivants différentes approches (métaux)

Paramètre	cadmium	cuivre	mercure	plomb	zinc
Nuage de points	0,80	25	0,70	120	150
Ruptures de pentes	0,80	25	0,70	110	120
Percentile 90	0,70	31,8	0,49	137	110,24

Ainsi, au vu des résultats obtenus avec les différents outils utilisés pour déterminer les valeurs limites de définition de la pollution concentrée, les valeurs limites calculées sont globalement cohérentes entre elles. Ainsi, les valeurs limites de définition de la pollution concentrée (ou seuil de coupure) sont de :

- 0,70 mg/kg MS pour le cadmium,
- 25 mg/kg pour le cuivre,
- 0,5 mg/kg pour le mercure,
- 100 mg/kg pour le plomb
- 120 mg/kg pour le zinc.

Il peut être observé que lorsque l'on prend ces seuils de coupure pour le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb et le zinc, les échantillons qui feront l'objet d'une gestion de la pollution seront les échantillons suivants : S20(0,8-1,4 m), S31(3-4 m), S32(0,5-1 m), S32(2-2,7 m), S33(3,7-4 m), S34(3,2-4 m).

A noter une cohérence entre les différents dépassements des seuils de coupure pour les échantillons concernés.

Le Tableau 8 présente les fréquences d'occurrence relatives et cumulées de HC C10-C40 par intervalle de 50 mg/kg et en HAP par intervalle de 0,5 mg/kg.

Tableau I0 : Fréquence d'occurrence des concentrations en éléments organiques dans les sols

HC C10-C40				HAP			
Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)	Gamme de concentration (mg/kg MS)	Fréquence	Frequence cumulée	Frequence cumulée (%)
0	0	0	0.00%	0	7	7	25.00%
50	20	20	71.43%	1	5	12	42.86%
100	2	22	78.57%	2	5	17	60.71%
150	2	24	85.71%	3	5	22	78.57%
200	1	25	89.29%	4	0	22	78.57%
250	0	25	89.29%	5	0	22	78.57%
300	0	25	89.29%	6	0	22	78.57%
350	0	25	89.29%	7	0	22	78.57%
400	0	25	89.29%	8	1	23	82.14%
450	0	25	89.29%	9	0	23	82.14%
500	1	26	92.86%	10	1	24	85.71%
550	0	26	92.86%	11	1	25	89.29%
600	0	26	92.86%	12	0	25	89.29%
650	1	27	96.43%	13	0	25	89.29%
700	0	27	96.43%	14	0	25	89.29%
750	0	27	96.43%	15	0	25	89.29%
800	0	27	96.43%	16	0	25	89.29%
850	0	27	96.43%	17	0	25	89.29%
900	0	27	96.43%	18	0	25	89.29%
950	0	27	96.43%	19	1	26	92.86%
1000	0	27	96.43%	20	0	26	92.86%
1050	0	27	96.43%	21	1	27	96.43%
1100	0	27	96.43%	22	0	27	96.43%
1150	0	27	96.43%	23	0	27	96.43%
1200	0	27	96.43%	24	0	27	96.43%
1250	0	27	96.43%	25	0	27	96.43%
1300	0	27	96.43%	26	0	27	96.43%
1350	0	27	96.43%	27	1	28	100.00%
1400	0	27	96.43%	28	0	28	100.00%
1450	0	27	96.43%	29	0	28	100.00%
1500	0	27	96.43%	30	0	28	100.00%
1550	0	27	96.43%	31	0	28	100.00%
1600	0	27	96.43%	32	0	28	100.00%
1650	0	27	96.43%	33	0	28	100.00%
1700	0	27	96.43%	34	0	28	100.00%
1750	0	27	96.43%	35	0	28	100.00%
1800	0	27	96.43%	36	0	28	100.00%
1850	0	27	96.43%	37	0	28	100.00%
1900	0	27	96.43%	38	0	28	100.00%
1950	0	27	96.43%	39	0	28	100.00%
2000	1	28	100.00%	40	0	28	100.00%
				41	0	28	100.00%
				42	0	28	100.00%
				43	0	28	100.00%
				44	0	28	100.00%
				45	0	28	100.00%
				46	0	28	100.00%
				47	0	28	100.00%
				48	0	28	100.00%
				49	0	28	100.00%
				50	0	28	100.00%
				51	0	28	100.00%
				52	0	28	100.00%
				53	0	28	100.00%
				54	0	28	100.00%

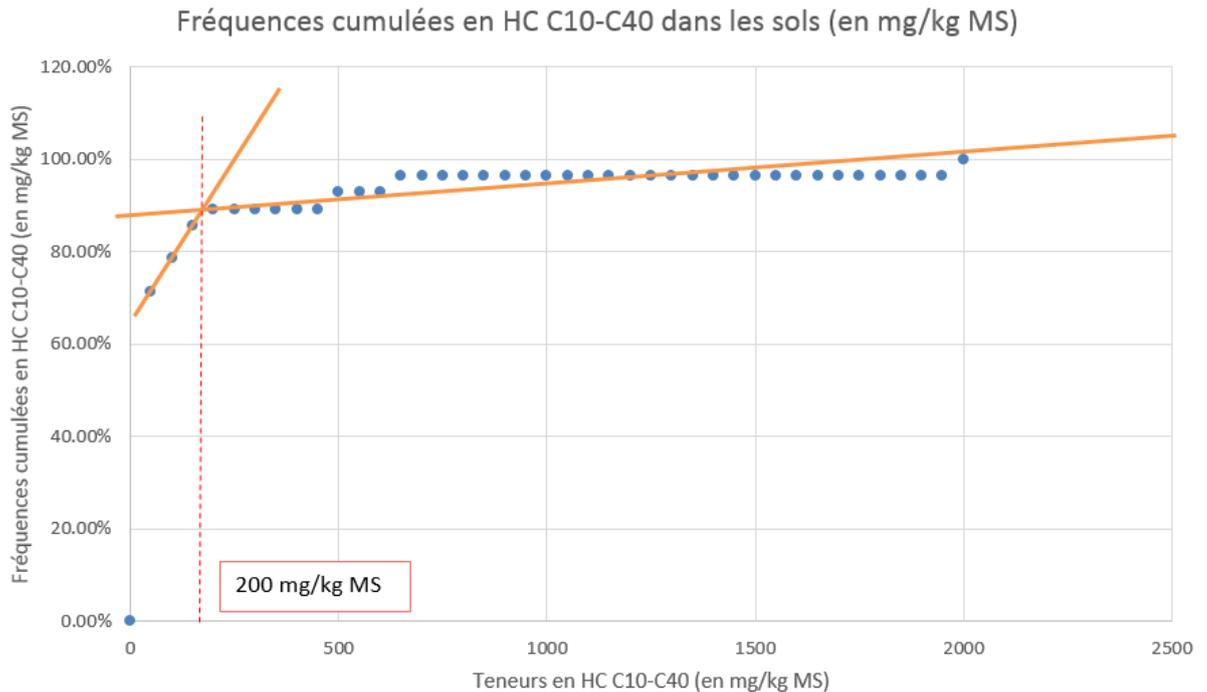


Figure 18 : Fréquence relative des teneurs en HC C10-C40

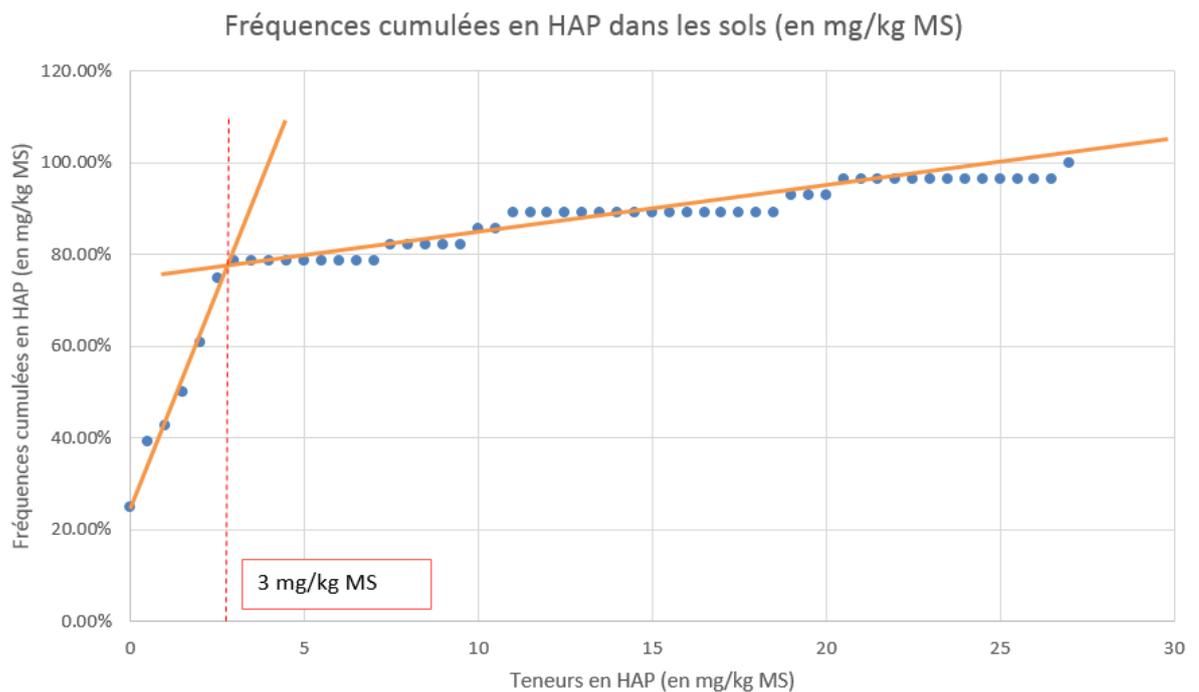


Figure 19 : Fréquence relative des teneurs en HAP

Les figures ci-dessus permettent de déterminer une rupture de pente pour chaque composé qui définissent au moins 2 gammes de concentrations. Les ruptures de pentes observées sont rappelées dans le tableau suivant.

Les figures suivantes présentent la répartition des concentrations en éléments organiques.

Teneurs en HC C10-C40 dans les sols (en mg/kg MS)

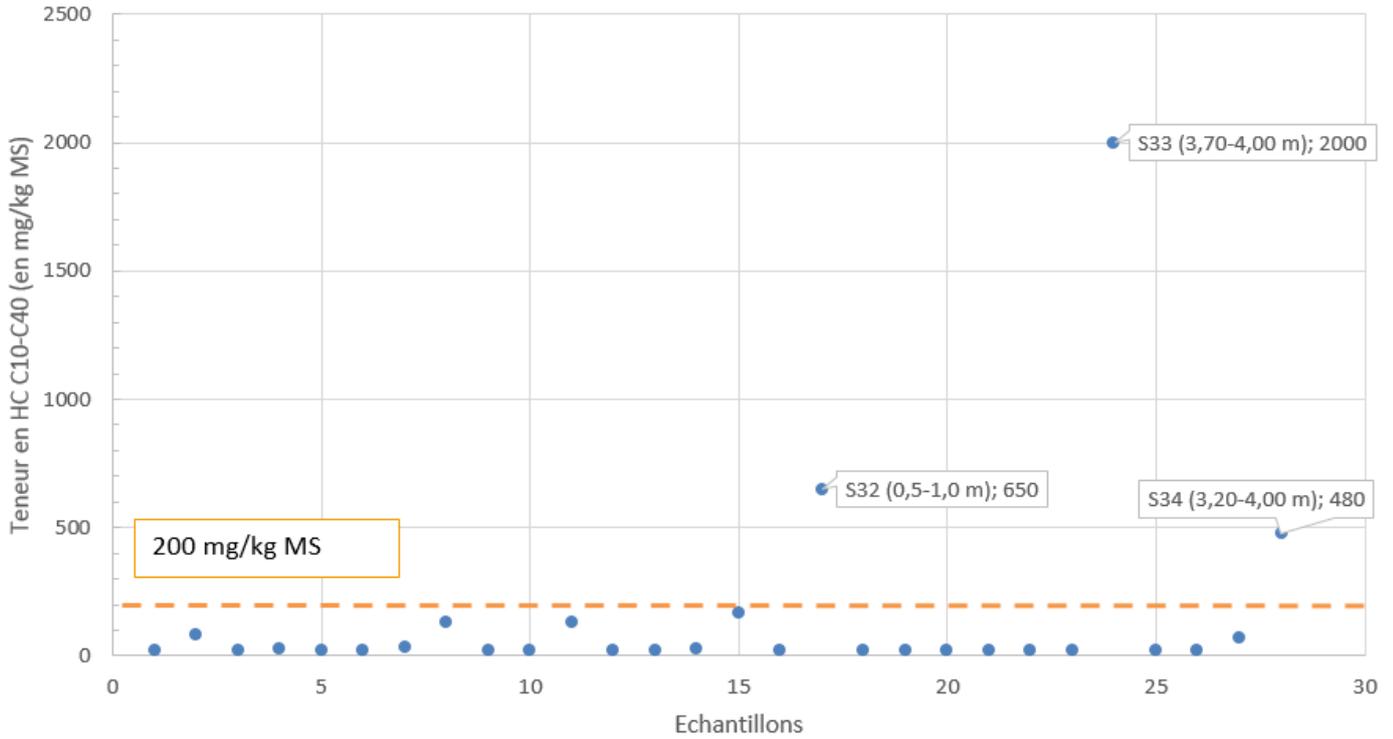


Figure 20 : Répartition des concentrations en HC C10-C40

Teneurs en HAP dans les sols (en mg/kg MS)

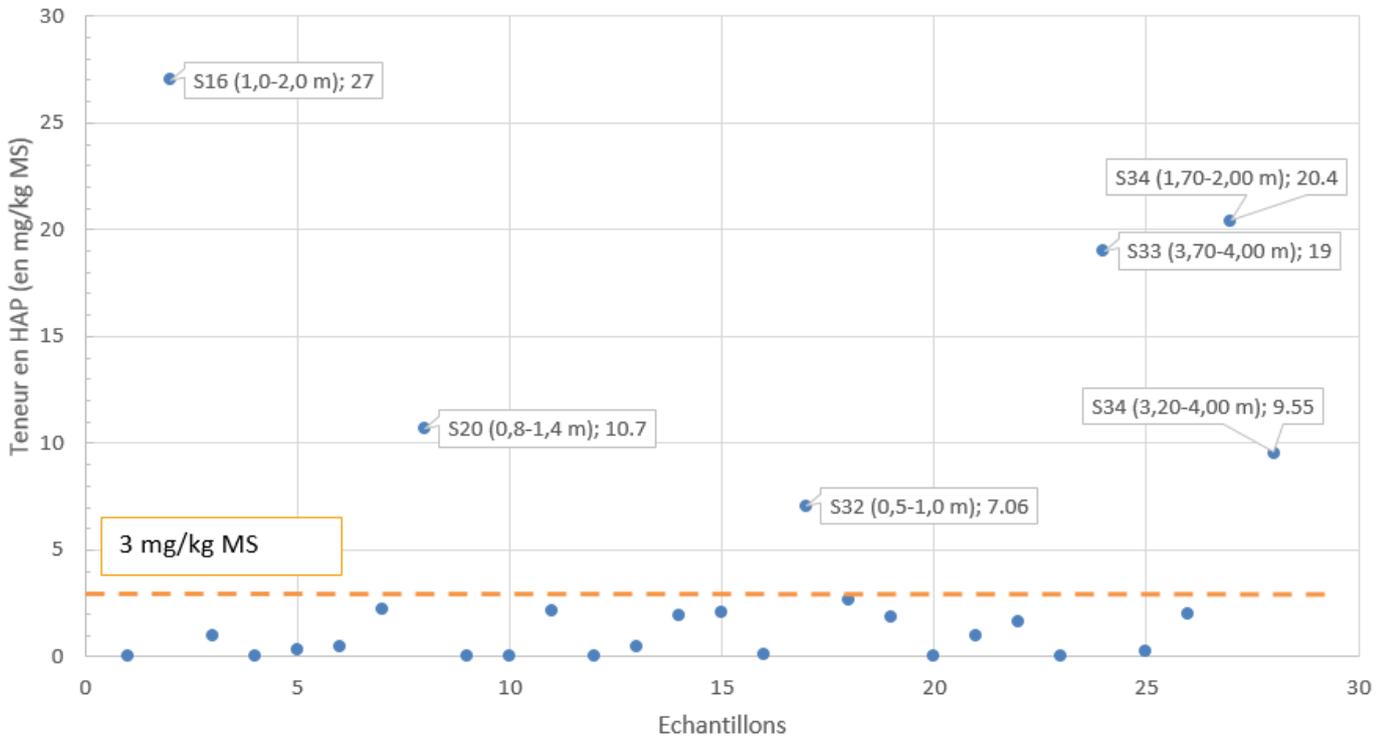


Figure 21 : Répartition des concentrations en HAP

Ces figures font apparaître pour chaque composé des pools d'échantillons (teneurs qui seraient assimilables au bruit de fond du site) et des valeurs isolées présentant des valeurs supérieures à celles du

pool. La limite supérieure de chaque pool a été tracée pour déterminer à partir de quelle valeur un échantillon peut être considéré comme étant supérieur au bruit de fond du site.

Tableau 11 : Comparatif des seuils de coupures suivants différentes approches (éléments organiques)

Paramètre	HC C10-C40	HAP
Nuage de points	200	4
Ruptures de pentes	200	3
Percentile 80	263	13,19

Ainsi, au vu des résultats obtenus avec les différents outils utilisés pour déterminer les valeurs limites de définition de la pollution concentrée, les valeurs limites calculées sont globalement cohérentes entre elles. Ainsi, les valeurs limites de définition de la pollution concentrée (ou seuil de coupure) sont de 200 mg/kg MS pour les HC C10-C40 et de 5 mg/kg pour les HAP. A noter qu'il n'est pas raisonnable de retenir un seuil de coupure pour les HAP inférieur du seuil du bruit de fond. Par conséquent le seuil de coupure pour les HAP sera la valeur de ce dernier, à savoir 14,7 mg/kg.

Ainsi, au vu des résultats obtenus avec les différents outils utilisés pour déterminer les valeurs limites de définition de la pollution concentrée, les valeurs limites calculées sont cohérentes entre elles. Ainsi, les valeurs limites de définition de la pollution concentrée (ou seuil de coupure) pour chaque composé sont présentées ci-après.

Tableau 12 : Seuils de coupure retenus

Paramètre	cadmium	cuivre	mercure	plomb	zinc	HC C10-C40	HAP
Seuils de coupure retenus	0,7	25	0,5	100	120	200	14,7

Compte tenu de ces valeurs retenues, les échantillons concernés par les mesures de gestion sont donc les suivants.

Tableau 13 : Echantillons concernés par les mesures de gestion

Echantillons	cadmium	cuivre	mercure	plomb	zinc	HC C10-C40	HAP
S16 (1-2 m)							X
S20 (0,8-1,4 m)	X	X		X	X		
S31 (3-4 m)	X	X			X		
S32 (0,5-1 m)		X		X	X	X	
S32 (2-2,7 m)			X	X			
S33 (3,7-4 m),	X	X	X	X	X	X	X
S34 (1,7-2 m)							X
S34 (3,2-4 m)	X	X	X		X	X	

Compte tenu

- de la nature des composés majoritairement non volatils,
- du projet d'aménagement en extérieur,
- de la majorité des sols définissant les zones de pollution concentrée présent dans la zone de battement de la nappe, une nappe vraisemblablement impactée par les sites BASIAS en amont (le rapport de diagnostic avait recommandé la mise en place d'un piézomètre),

Nous ne considérerons le traitement des zones de pollution concentrée uniquement sur la couche (0-1,5 m) car les sols sous-jacent ne seront pas en contact avec les futurs usagers du site

La figure suivante présente les différentes zones impactées définies par les seuils de coupure.



Figure 22 : Délimitation de la zone de pollution concentrée à traiter (analyse statistique)

Dans le cadre de la définition de la zone impactée, notamment pour les composés volatils, dans analyses sur les gaz des sols ont également été réalisées. Les résultats de ces prélèvements peuvent être pris en compte pour la délimitation des zones impactées.

Ainsi, les valeurs de $32,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en trichloroéthylène et de $8,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène au droit du prélèvement PA11 sont incluses au sein d'une zone impactée, au nord du site.

La cartographie finale des zonages retenue est présentée en figure suivante.

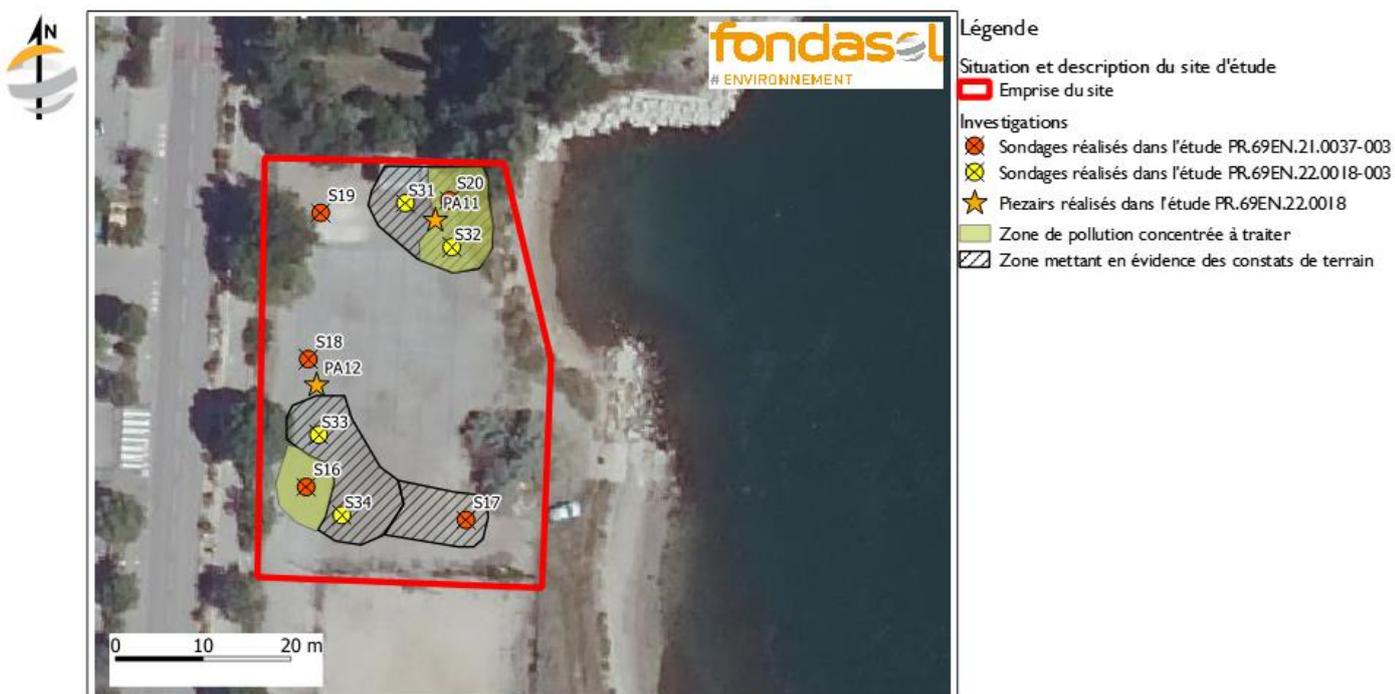


Figure 23 : Délimitation des zones de pollutions concentrées et corrélation avec la méthode reposant sur le constat de terrain

La cartographie des zones de pollution issue de la méthode statistique est cohérente en partie avec la cartographie établie grâce aux indices organoleptiques.

Afin de déterminer les volumes des zones à traiter, le maillage défini est présenté en figure suivante :

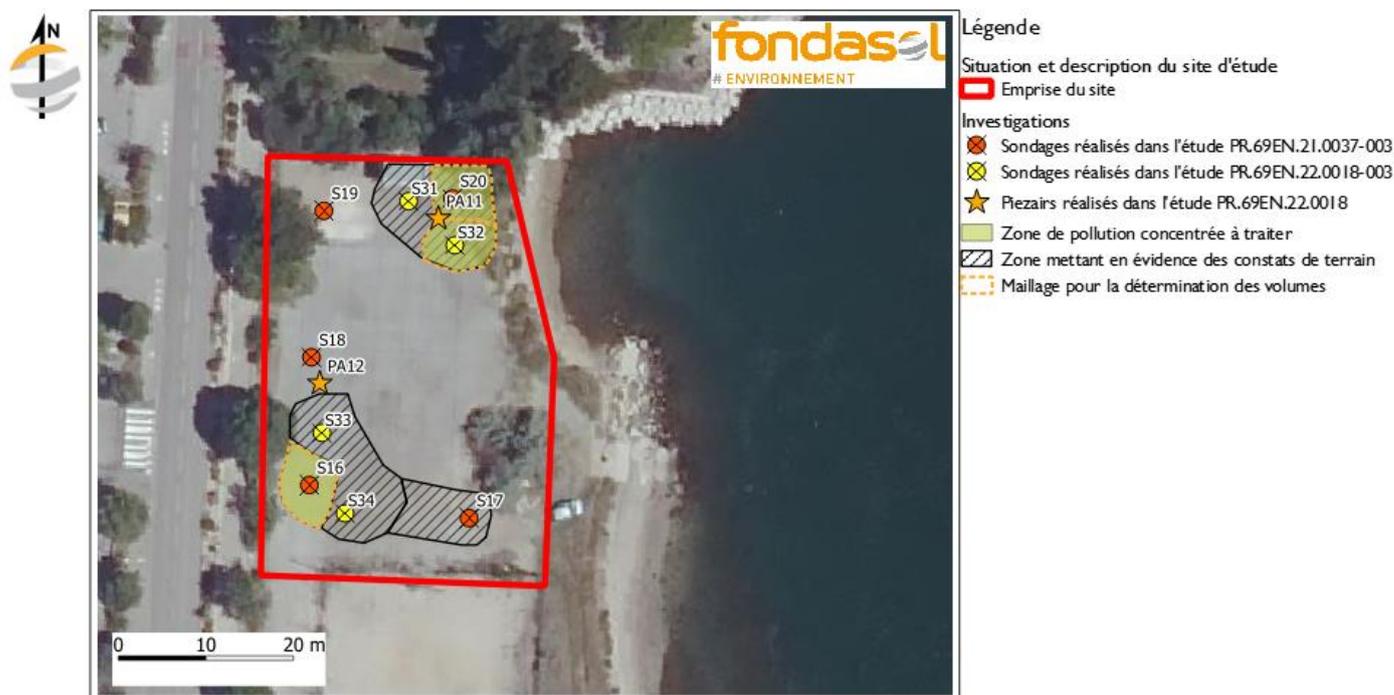


Figure 24 : Maillage de détermination des volumes concernés par une mesure de gestion

Le tableau 15 présente les volumes associés à chaque maille :

Tableau 14 : Volumes concernés par les mesures de gestion

Echantillons	cadmium	cuivre	mercure	plomb	zinc	HC C10- C40	HAP	Volume (en m ³)
S16(1-2 m)							X	45
S20(0,8-1,4 m)	X	X		X	X			25
S32(0,5-1 m)		X		X	X	X		20
Total (en m ³)	25	45	-	45	45	20	45	90

E.3.3. Conclusion sur le seuil de coupure retenu

Cet objectif de réhabilitation tient compte du seuil de coupure et des éléments suivants :

- la mobilité des polluants ;
- les techniques de dépollution disponibles ;
- les usages du site ou des aménagements actuels ou futurs ;
- les objectifs de qualité des milieux ;
- les risques sanitaires ;

- les aspects financiers.

Les points suivants précisent pourquoi les seuils de coupure définis ci-avant sont bien les objectifs de réhabilitation :

- compte tenu des usages actuels ou futur du site et des éventuelles restrictions mises en œuvre, les pollutions résiduelles laissées en place dans les sols permettent le respect des objectifs de qualité des milieux ou conduisent à des Analyses des Risques Résiduels (ARR) prédictives acceptables (cf. §G).
- il permet le traitement des volumes limités de sol présentant la masse de polluant la plus importante (c'est-à-dire les sols dont les concentrations sont supérieures au seuil de coupure théorique) de manière financièrement acceptable au regard du bilan coût-avantage.

E.4. Revue des techniques disponibles

Compte tenu des faibles volumes mis en jeu et de la nature des composés peu ou pas volatils définissant les zones de pollution concentrée, une mesure de gestion simple apparaît : l'excavation et l'élimination hors site. Ainsi, nous ne réaliserons pas de revue des techniques disponibles et ne réaliserons pas de bilan coûts-avantages en bonne et due forme.

E.5. Présentation de l'excavation des sols sur site (C321a)

PRINCIPES

L'excavation ne constitue pas un procédé de traitement en tant que tel ; elle doit être accompagnée d'actions complémentaires afin de traiter et/ou stocker les terres excavées. Elle ne constitue donc qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation.

Le procédé d'excavation est généralement réalisé une fois la source de pollution délimitée via des investigations de terrain et des analyses.

Il s'agit de la méthode la plus simple, la plus radicale et la plus rapide pour supprimer une source de pollution. Néanmoins, l'excavation n'est pas une fin en soi, les sols pollués excavés devront faire l'objet d'un traitement/confinement sur ou hors site.

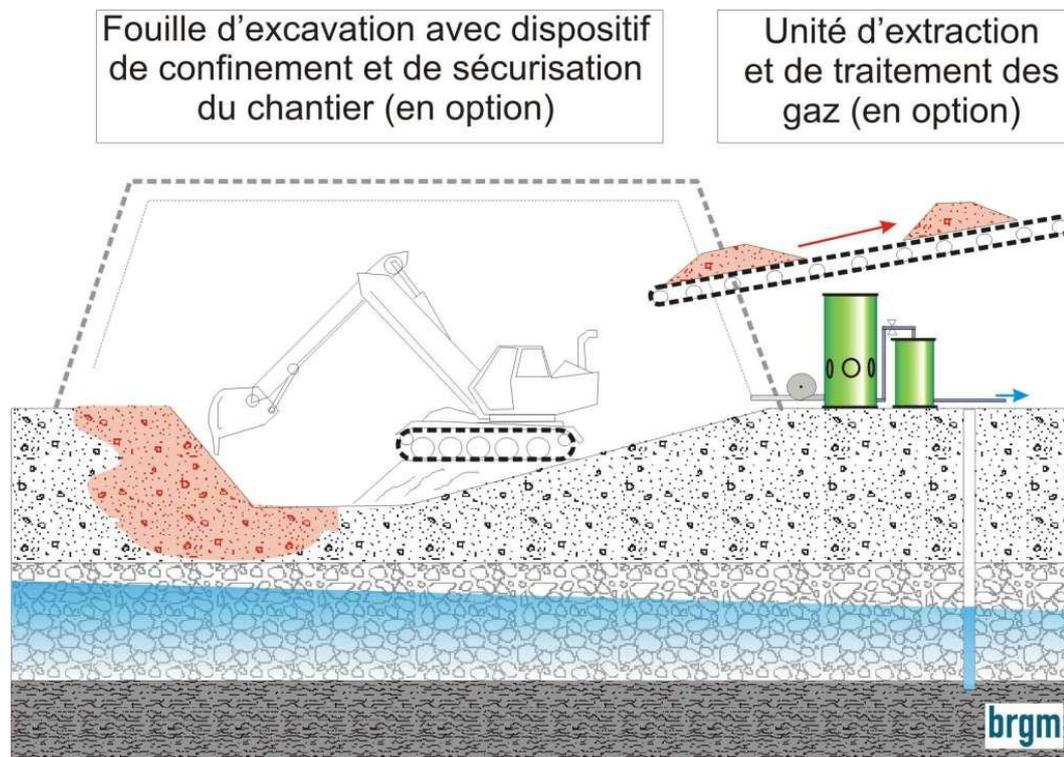


Figure 25 : Schéma de principe d'excavation

APPLICABILITE

Tous les types de sols pollués peuvent faire l'objet d'excavation (quelles que soient la granulométrie et la teneur en polluants).

D'une manière générale, seules les sources de pollution situées en zone vadose font l'objet d'une excavation. L'excavation des sols, surtout en zone saturée, doit s'accompagner de mesures adéquates (suivi des eaux souterraines, piège hydraulique, confinement ...) afin de ne pas générer une remobilisation de la pollution.

APPLICABILITE – AVANTAGES/INCONVENIENTS

Tableau 15 : Avantages/inconvénients de l'excavation des sols sur site

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • technique fiable et éprouvée, • technique simple et rapide, • présente une garantie de résultats : les seuils de dépollution atteints sont aisément contrôlables via les analyses de fonds et de flancs de fouille, • applicable à de nombreux composés ; elle est particulièrement bien adaptée pour éliminer une source de pollution très concentrée et limitée dans l'espace (hot spot) ou une source de pollution difficilement traitable par d'autres techniques (contaminants récalcitrants, mélange de pollution, concentrations élevées). 	<ul style="list-style-type: none"> • ne constitue qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation, • s'applique généralement à des profondeurs de 5-6 m (ce qui correspond à la longueur des flèches des pelles standards), • nécessite souvent l'arrêt de l'activité sur la zone de travaux et entraîne des perturbations sur les zones avoisinantes (trafic, bruit ...), • les limites et les délais d'acceptation dans les centres de traitement agréés doivent être pris en compte lors de la conception du chantier, • les risques typiques des terrassements doivent être considérés : explosion, endommagements

Avantages	Inconvénients
	<p>d'infrastructures enterrées, chute de personne dans la fouille,</p> <ul style="list-style-type: none"> • peut dans certains cas favoriser la migration des polluants par : <ul style="list-style-type: none"> ▪ modification de la mobilité des polluants métalliques (modification des conditions d'oxydoréduction par aération des sols), ▪ modification de la perméabilité ou de la cohésion des sols ce qui rend la nappe plus vulnérable ; ce cas peut être problématique pour le LNAPL en phase pure, ▪ migration de la pollution sur site ou hors site sous forme de poussière.

MOYENS MATERIELS

Les moyens utilisés lors des travaux de terrassement sont identiques à ceux utilisés par les entreprises de travaux publics : pelle mécanique, tractopelle, véhicules de transport (dont certains doivent être habilités à contenir des déchets ou à respecter la réglementation du Transports de Matières Dangereuses (TMD)).

Afin de gérer les flux de terres excavées, il est souvent nécessaire de mettre en place des aires de stockage temporaires étanches (tampon). Ainsi, les terres excavées sont triées au fur et à mesure de l'excavation en fonction de leur degré de pollution. Ce degré de pollution est déterminé à partir des analyses préalablement réalisées lors du diagnostic de sols, et est complété par :

- des observations organoleptiques ;
- et/ou des analyses semi-quantitatives sur site (kits immuno-enzymatiques, détecteur à photo-ionisation - PID, détecteur à ionisation de flammes – FID, spectromètre de fluorescence X portable, spectromètre UV) ;
- et/ou des analyses quantitatives en laboratoire sur ou hors site.

Les terres excavées sont alors réparties en différentes catégories en fonction de leur degré de pollution et de leur devenir :

- terres réutilisables sur site sans restriction d'usage ;
- terres réutilisables sur site avec restriction d'usage ;
- terres excédentaires à éliminer hors site dans tel ou tel centre d'élimination agréé.

En fin d'excavation, des échantillons en fonds et bords de fouille seront prélevés et analysés afin de valider que les seuils de dépollution sont bien atteints.

DONNEES NECESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT

Les données nécessaires au dimensionnement concernent essentiellement la géométrie et la concentration en polluants de la source de pollution.

Les certificats d'acceptation préalable (pour les traitements en centre agréé) doivent être acquis avant d'envisager toute excavation.

Des données géotechniques complémentaires peuvent être nécessaires en cas de terrassement à proximité de zones sensibles (bâtiments, voirie) ou dans le cas de confinement (Étude géotechnique pour tenue des terrains ou pour dimensionnement d'un soutènement si besoin).

PARAMETRES DE SUIVI

Les paramètres à suivre lors d'une opération d'excavation sont les suivants :

- le suivi piézométrique ;
- la qualité des eaux souterraines en amont, en aval et au droit de la source de pollution : les paramètres pH, O₂, température, conductivité ;
- les concentrations en polluants ;
- le suivi des teneurs en polluants dans les terres sur site :
 - lors des tris afin d'optimiser le réemploi, le traitement et l'élimination des terres en centres agréés,
 - fond et bords de fouille,
 - paramètres relatifs à l'acceptation dans les centres d'élimination agréés ;
- le suivi des terres traitées hors site :
 - les bordereaux de suivi et acceptation dans les centres d'élimination agréés,
 - le transport selon la RTMD (Règlement pour le Transport des Matières Dangereuses) si nécessaire ;
- la vérification des teneurs en polluants dans les terres d'apport.

DUREE DU TRAITEMENT

La durée totale est estimée à 3 semaines, décomposée comme suit :

- préparation administrative et technique : 2 semaines ;
- excavation, chargement et transport vers la filière spécialisée : 1 jour
- remblaiement par apport de matériaux non pollués (en provenance du site ou hors site) et compactage : 1 jour ;
- démobilisation : 1 jour.

SEUILS DE RECEPTION

La réception sera faite sur les différents milieux concernés (prélèvement de sols en fond et bords de fouille, éventuellement de gaz du sol en fond de fouille également).

Si les concentrations mesurées sont supérieures aux teneurs résiduelles considérées dans la présente ARR prédictive (cf. chapitre G), alors les présents calculs sanitaires devront être mise à jour pour valider l'acceptabilité de la dépollution ou les travaux de terrassement devront être poursuivis.

ESTIMATION FINANCIERE

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour l'évaluation des volumes évacués pour chaque filière :

- sont considérés comme non inertes les déblais dont au moins une analyse sur les sols n'est pas conforme aux seuils définis par l'arrêté du 12/12/2014 voire avec présence d'indices organoleptiques ;
- la qualité des échantillons prélevés est jugée homogène au droit de chaque maille et représentative de l'ensemble de la maille ;
- en l'absence d'analyse sur une couche de terrain donnée, les résultats ont été extrapolés latéralement et verticalement en fonction de la nature des terrains rencontrés (lithologie, observations organoleptiques) ;
- les terres présentant des couleurs suspectes sont considérées comme pouvant être évacuées en ISDI. Cependant, il est important de noter que même si les seuils fixés dans l'arrêté du 12 décembre 2014 sont respectés, le centre receveur pourra refuser ces terres.

Les volumes sont indiqués dans le tableau suivant.

Echantillons	ISDI	ISDI +	Biocentre	ISDND	ISDD	Volume (en m ³)
S16(1-2 m)				X		45
S20(0,8-1,4 m)				X		25
S32(0,5-1 m)				X		20
Total (en m ³)	0	0	0	90	0	90

Les coûts des excavations dépendent principalement des volumes de sols à traiter et des cadences.

Tableau 16 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur site (C321a)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€.H.T)	Total (€.H.T)
Organisation et suivi du chantier	F	I	1800	1800
Ce prix comprend :				
<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place et suivi du chantier (journal de chantier, cahier de doléances, réunions périodiques, ...) (1000 €) • Terrassement des terres impactées (non compris, dispositifs de soutènement des terres) : 1 jour à 800 € (800 €) 				
			Sous-total 1	1800
Excavation	F	I	27 k€	27 k€
Ce prix comprend :				
<ul style="list-style-type: none"> • Analyses fond et bord de fouille (1000 € HT) • Transport et prise en charge des terres excavées <ul style="list-style-type: none"> ○ Vers une ISDND (180€ HT/ m³) : 90 m³ (= 24 700 € HT) • Remblaiement par des matériaux d'apport sain (15€ HT/ m³) : 90 m³ (=1350 €HT) 				
			Sous-total 2	27 000
			TOTAL	28 800

F. CONTROLE DE L'EFFICACITE ET DE LA PERENNITE DES MESURES DE GESTION

F.I. Mesures proposées pour la gestion du risque en phase travaux

F.I.I. Protection des travailleurs et des riverains

Compte tenu de la présence dans les sols d'anomalies en métaux lourds, d'HAP et d'HCT, FONDASOL Environnement préconise la mise en œuvre de mesures de protections collectives ou d'équipements de protection individuelle afin d'empêcher :

- le contact direct avec les sols ;
- l'inhalation et l'ingestion de poussières de sols ;
- l'inhalation de vapeur.

Le respect des consignes suivantes de gestion de l'hygiène et de la sécurité sur le chantier permet de limiter les expositions :

- limitation de la présence de personnel en extérieur, en contact avec les terres : emploi d'engins de terrassement à cabine close et pressurisée par exemple ;
- port d'équipements adéquats de protection individuelle : gants, combinaison, masques à poussières ou à cartouches si besoin ;
- respect des règles simples d'hygiène ;
- l'interdiction de manger, de boire et de fumer dans la zone de chantier ;
- lavage des mains et changement de vêtements à la fin de chaque poste ;
- arrosage des zones de travail afin de limiter les envols de poussière (si besoin).

Le niveau de concentration et la nature des risques présentés par les substances rencontrées dans les sols seront annexés au cahier des charges des travaux. Si le chantier est soumis à obligation de coordination, les recommandations générales seront retranscrites par le coordonnateur SPS du chantier dans le plan général de coordination (PGC) en matière de sécurité et de protection de la santé.

En tout état de cause, la définition précise des mesures appliquées en cours de chantier sera déterminée par l'entreprise réalisant les travaux, sur la base de l'évaluation des risques¹ prescrite dans le cadre du Code du Travail. Ces mesures seront retranscrites, si applicables, dans le plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS).

Nous recommandons de prendre en compte les dispositions mentionnées dans le guide relatif à la « *Protection des travailleurs sur les chantiers de réhabilitation de sites industriels pollués* » édité par l'ADEME et l'INRS en 2002.

¹ Article R4121-1 du code du travail : « L'employeur transcrit et met à jour dans un document unique les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs à laquelle il procède en application de l'article L. 4121-3. Cette évaluation comporte un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement. »

F.1.2. Découverte d'une anomalie non encore identifiée

Compte tenu du caractère non exhaustif du diagnostic, la découverte d'anomalies non connues à ce jour reste possible. Cet aléa sera pris en considération dans le Dossier de Consultation des Entreprises. Les zones concentrées d'anomalies² devront faire l'objet d'un traitement adapté, conformément à la Politique Nationale d'approche des sites et sols pollués.

En cas de découverte, les mesures à mettre en œuvre en urgence sont les suivantes :

- avertir la maîtrise d'ouvrage ;
- faire appel au prestataire externe qualifié en charge du suivi des terres excavées qui se prononcera sur les mesures de gestion spécifiques à engager ;
- placer les terres excavées sur une zone de confinement temporaire ;
- clôturer la zone et baliser la fouille en attente de mesures de gestion adaptées.

Toute personne intervenant sur le site et découvrant une contamination devra en avvertir le propriétaire du terrain ou toute personne en relation contractuelle avec l'occupant.

F.2. Surveillance environnementale

Le plan de gestion doit préciser les modalités de surveillance des milieux (proposition d'un réseau d'ouvrages de surveillance adapté, protocole de prélèvement, programme analytique, fréquence de surveillance, ...).

Les mesures mises en œuvre seront validées par un dossier de récolement sur la base des dossiers d'ouvrage exécutés.

Tableau 17 : Surveillance des milieux

		Solution de traitement concernée
Contrôle sur les sols		
Paramètres	HCT, Métaux, HAP,	Excavation hors site
Fréquence	1 fois à la fin des excavations (10 prélèvements en parois et fond de fouille)	
Budget	5 k€.H.T.	

F.3. Mise en œuvre de restrictions d'usages

Dans le cas où des pollutions résiduelles sont laissées en place, la mise en œuvre de dispositifs de restriction d'usage est essentielle puisqu'il s'agit du seul moyen qui permet de garantir que l'usage futur d'un site reste compatible avec les modalités de gestion décidées et mises en œuvre, au cours du temps en :

- **informant** de l'état de pollution d'un terrain à tout acquéreur ou utilisateur d'un terrain ;
- **encadrant** toute futures interventions sur site ;

² Par exemple, terres imprégnées d'hydrocarbures.

- **pérennisant** la conservation et la mise en disposition dans le temps grâce à la Conservation des Hypothèses et/ou l'intégration de l'information aux documents d'urbanisme (PLU par exemple).

La restriction d'usage en matière de sols pollués est une limitation du droit de disposer de la propriété d'un terrain. Cette limitation consiste en un ensemble des recommandations, précautions, voire interdiction sur la manière d'utiliser, d'entretenir, de construire ou d'aménager, compte tenu de la présence de substances polluantes dans le sous-sol.

Cinq outils permettent de conserver la mémoire :

- la servitude d'utilité publique (SUP) ;
- le porter à connaissance (PAC) et le projet d'intérêt général (PIG) ;
- la restriction d'usage conventionnelle au profit de l'Etat (RUCPE) ;
- la restriction d'usage entre parties (RUP).

Les différents types de servitudes sont détaillés dans le Tableau 18.

Nota : en règle générale, les restrictions d'usage ne peuvent limiter ou interdire les usages existants.

Tableau 18 : Les différents types de servitudes possibles

Types de servitudes	Fondement	Portée (possibilités vis-à-vis du milieu sol)	Report dans les documents d'urbanisme	Publication au service de publicité foncière
SUP La décision de se porter sur un outil différent ne sera justifié que s'il est démontré que la SUP n'est pas applicable au cas traité.	Partie législative : articles L515-8 à 12 Code de l'environnement : articles R.515-24 à R.515-31, R.512-39-3, R.512-46-27 Cirulaire du 18 octobre 2005 relative à la cessation d'activité Cirulaire du 8 février 2007 relative aux installations classées	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable aux sites et aux autres terrains • Applicable à un grand nombre de propriétaires • Elle permet de contourner l'opposition des propriétaires • Indemnisation des propriétaires des terrains (demande à réaliser dans un délai de 3 ans) • Réalisation d'une enquête publique (délai de 1 mois) sauf si la SUP ne concerne qu'un petit nombre de propriétaires (mois de 5) ou des surfaces limitées • Signée par le Préfet 	Oui	Oui
PAC	Code de l'urbanisme : articles L.121-2 et R.121-1	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable aux sites et aux autres terrains • Pas d'indemnisation des propriétaires des terrains 	Oui	Non
PIG	Code de l'urbanisme : articles L.121-9 et R.121-3	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable aux sites et aux autres terrains • Applicable à un grand nombre de propriétaires 	Oui	Non

Types de servitudes	Fondement	Portée (possibilités vis-à-vis du milieu sol)	Report dans les documents d'urbanisme	Publication au service de publicité foncière
		<ul style="list-style-type: none"> Préférée aux SUP lorsque la pollution n'est pas attribuable à un exploitant en particulier ou lorsque l'exploitant responsable de la pollution est défaillant Pas d'indemnisation des propriétaires des terrains Signée par le Préfet 		
RUCPE	<p>Circulaire du 19 juin 1981 « Installation classée – Etablissement de servitudes au profit de l'Etat »</p> <p>Circulaire du 8 février 2007 relative aux installations classées</p>	<ul style="list-style-type: none"> Convention passée entre le propriétaire et le représentant de l'Etat (Préfet) Utilisée dans des raisons particulières où la mise en place de la restriction d'usage doit avoir lieu rapidement, dans enquête publique : vente, cession, clôture de liquidation, ... Consentement du propriétaire Adaptée lorsque l'exploitant responsable de la pollution est défaillant. Applicable au site en priorité Pas d'indemnisation des propriétaires des terrains Signée par le Préfet et le(s) propriétaire(s) de(s) parcelle(s). 	Non, sauf si complété par PAC	Oui
RUP	Droit de contracter entre parties (exploitant, propriétaire)	<ul style="list-style-type: none"> Applicable au site Adaptée lorsque l'exploitant responsable de la pollution est défaillant. Pas d'indemnisation des propriétaires des terrains Accord des signataires Vérification par l'administration de la pertinence des mesures Elle est signée par le propriétaire et toute partie prenant acte. 	Non, sauf si complété par PAC	Oui

Compte tenu de la connaissance du site, et des objectifs à atteindre aucune restriction d'usage ne sera mise en place nous recommandons de mettre en place une restriction d'usage de type SUP.

Celle-ci concernera l'occupation des sols, les usages du sous-sol et l'utilisation des eaux souterraines tels que détaillé dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Restriction d'usages

Occupation des sols		Usage du sous-sol		Utilisation des eaux souterraines
Autorisée	Non autorisée	Autorisé	Non autorisé	
<ul style="list-style-type: none"> Espaces extérieurs recouverts 	<ul style="list-style-type: none"> Habitations Espaces verts non recouverts Tout aménagement non précisé dans « occupation autorisée » sans en avoir au préalable vérifié la compatibilité avec l'état des milieux 	<p>Avec prescription particulière :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'un recouvrement des sols par un revêtement spécifique (voiries) ou par de la terre végétale saine ; Gestion appropriée des déblais en cas d'excavation et traçabilité du devenir des déblais. Information des entreprises en cas de travaux 	<ul style="list-style-type: none"> Tout usage non précisé dans « usage autorisé » sans en avoir au préalable vérifié la compatibilité avec l'état des milieux 	<p>Prescriptions particulières :</p> <ul style="list-style-type: none"> Une étude devra être réalisée pour toute utilisation éventuelle de la nappe, y compris pour la surveillance de sa qualité

G. ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES (A320)

L'Analyse des Risques Résiduels a pour objectif de garantir que les impacts liés aux sources résiduelles de contamination, sont acceptables au sens de la Politique Nationale de gestion des sites et sols pollués.

G.I. Méthodologie - Présentation de la démarche

L'objectif d'une réhabilitation est de garantir des expositions résiduelles qui soient acceptables. En effet, une pollution ne présente un risque que dans la mesure où des expositions ou des modes de contamination sont possibles.

La seule considération du niveau de pollution intrinsèque d'un milieu, sans considérer les usages de ce milieu ou les mesures de gestion qui conduisent à couper les transferts ou les voies d'exposition, n'a pas de sens dans le cadre d'une gestion fondée sur la maîtrise des risques.

L'Analyse des Risques Résiduels (ARR) est l'outil dédié à cet effet. Il s'agit d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) menée sur les expositions résiduelles qui prend en compte l'ensemble des mesures de gestion envisagées et les scénarios d'usages futurs du site.

Ainsi, l'Analyse des Risques Résiduels n'est effectuée que lorsque le Plan de Gestion ne permet pas d'éliminer de façon définitive les sources de pollution ou de supprimer les voies de transfert entre les sources de pollution et les populations.

L'ARR est ainsi une EQRS qui valide le Plan de Gestion et ne peut conclure qu'à des risques acceptables (Figure 26).

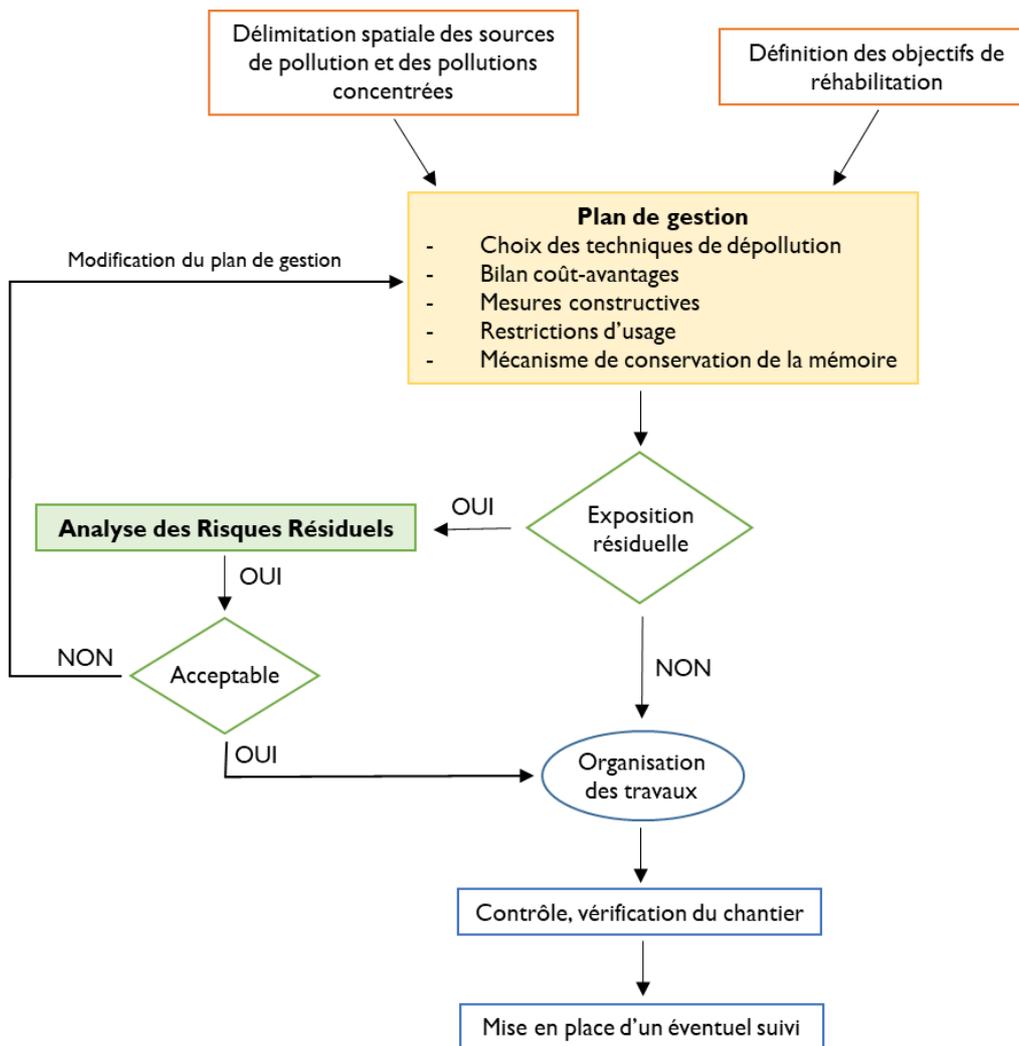


Figure 26 : Principe de l'Analyse des Risques Résiduels

L'Analyse des Risques Résiduels, proposée par FONDASOL Environnement, est réalisée conformément au guide du Ministère de l'Environnement : « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels » Version 0 de février 2007.

L'évaluation des risques repose sur quatre étapes :

- Etape 1 : Identification des dangers : quels sont les effets indésirables que les différentes substances peuvent avoir sur l'homme ?
- Etape 2 : Estimation des relations doses-réponses pour les substances considérées : quelle est la valeur entre la dose d'exposition à la substance et la réponse de l'organisme exposé (choix de la Valeur Toxicologique de Référence ou VTR) ?
- Etape 3 : Estimation des expositions : qui est exposé à la substance dangereuse, où, comment, à quel niveau d'exposition et pendant combien de temps ?
- Etape 4 : Caractérisation des risques sanitaires : quel est le niveau de risque, la probabilité de survenue du danger, en comparant les doses d'exposition aux VTR.

Une discussion des incertitudes des calculs est également intégrée à l'étude.

G.2. Sélection des substances et des concentrations

Le choix des substances et des concentrations se base sur les règles suivantes :

- on considère en première approche les teneurs maximales retrouvées dans les milieux investigués, sans distinction entre les différents aménagements :
 - si celles-ci sont supérieures aux valeurs de comparaison,
 - si le composé a été quantifié en l'absence de valeurs de comparaison,
- les concentrations mesurées dans les gaz du sol ont été préférentiellement retenues par rapport aux concentrations sols et eaux souterraines (diminution des incertitudes liées à la modélisation des transferts), à condition que les piézaires soient associés aux concentrations maximales mesurées dans les sols et/ou les eaux souterraines. Dans ce cas contraire, les concentrations maximales dans les sols et/ou les eaux souterraines ont été retenues.

D'après les résultats d'analyses dans les différents milieux (sol et gaz du sol), les composés retenus (en **gras**) par milieu sont présentées dans le Tableau 20 suivant.

Tableau 20 : Substances et teneurs retenues dans l'Analyse des Risques Résiduels pour la voie inhalation

Composés mesurés au moins une fois lors des différentes campagnes	Concentration maximale mesurée dans les sols (mg/kg)	Concentration maximale mesurée dans les gaz du sol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Prise en compte pour la voie inhalation
Métaux			
Mercure	S33 (3,7-4,0 m) → 3,19	Pas de piézair associé PAI I : 0,007	Oui, concentration supérieure au bruit de fond géochimique – seuil de coupure retenu Une teneur égale à 5% ³ de la concentration maximale mesurée dans les sols est considérée soit 0,16 mg/kg MS
Autres métaux	Divers	-	Non, composés non volatils
Hydrocarbures			
Hydrocarbures C₅-C₁₆⁴	Ali. C5-C6 : <LQ Ali. C6-C8 : 2,6 S34 (3,2-4,0 m) Ali. C8-C10 : 0,45 S34 (3,2-4,0 m) C10-C12 : 53,0 S32 (0,5-1,0 m) traité C10-C12 : 9,6 S34 (3,2-4,0 m) C12-C16 : 230 S32 (0,5-1,0 m) traité C12-C16 : 60,4 S33 (3,7-4,0 m)	Pas de piézairs associés Ali. C5-C6 : <LQ Ali. C6-C8 : <LQ Ali. C8-C10 : 252,87 Ali. C10-C12 : 144,83 Ali. C12-C16 : <LQ Aro. C5-C7 : cf. benzène Aro. C7-C8 : cf. toluène Aro. C8-C10 : <LQ Aro. C10-C12 : <LQ Aro. C12-C16 : <LQ	Oui, pas de piézairs associés, terres en S34 (3,2-4,0 m) et S33 (3,7-4,0 m) non traitées dans le cadre du Plan de Gestion
Hydrocarbures C₁₆-C₄₀	650 (S32 (0,5-1 m))	n.r	Selon le volume 4 du document Total Petroleum Hydrocarbons Working Group (1997), les hydrocarbures en C ₁₇ -C ₃₅ sont peu ou pas volatils
COHV			
Trichloroéthylène	< LQ	PAI I : 32,18	Non, composé quantifié dans les gaz du sol à une teneur inférieure à la valeur de comparaison (250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et teneur traitée dans le cadre du Plan de Gestion
BTEX			
Benzène	< LQ	8,51 (PAI I)	Non, composé quantifié dans les gaz du sol à une teneur supérieure à la valeur de comparaison (2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mais teneur traitée dans le cadre du Plan de Gestion
Toluène	< LQ	9,89 (PAI I)	Non, composé quantifié dans les gaz du sol à une teneur inférieure à la valeur de comparaison (xx $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
M,p-xylènes	< LQ	3,22 (PAI I)	Non, composé quantifié dans les gaz du sol à une teneur inférieure à la valeur de comparaison (xx $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
HAP			
Autre HAP (hors naphthalène)	S34 (3,2-4,0 m) : 0,16	n.r.	Non => teneur supérieure au bruit de fond (25 mg/kg) mais composés non volatils (avec des pressions de vapeur inférieures à 10 Pa)
Naphtalène	S33 (3,7-4,0 m) : 0,21	Pas de piézair associé <LQ	Oui , composé quantifié dans les sols et non traité dans le cadre du Plan de Gestion

• LQ = Limite de Quantification du laboratoire

n.r. = non recherché

³ D'après le rapport du BRGM Le mercure et ses composés. Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments, rapport BRGM/RP-51890-FR de juin 2003, chapitre « Spéciation du mercure dans les sols » : « Dans les sols naturels et les sols pollués, les composés organiques du mercure sont présents. Le mercure n'a pratiquement été trouvé que sous la forme méthylée. [...] Toutefois, le taux de méthylmercure est le plus souvent inférieure à 5% ».

⁴ Pour les hydrocarbures totaux, en l'absence de distinction entre les fractions aliphatiques et aromatiques, les calculs sont menés en appliquant la concentration totale aux deux fractions et le résultat le plus pénalisant est retenu

G.3. Etape I : Identification des dangers

L'exposition à une substance toxique peut produire des effets biochimique, histologique ou morphologique, se traduisant par des altérations spécifiques d'un organe, d'un système ou d'une fonction (système hématopoïétique, fonctions de reproduction par exemple), ou d'un processus biochimique ou biologique (cancer et mutagénicité).

Ces effets varient selon l'intensité, la voie, la fréquence et la durée de l'exposition mais aussi en fonction de l'espèce, du sexe, de l'âge et de l'état de santé des populations exposées. Ils peuvent être réversibles ou irréversibles, immédiats ou différés.

La variété et la sévérité des effets toxiques observés dans les populations augmentent généralement avec le niveau d'exposition : c'est la relation dose-effet. Elle est clairement à distinguer de la relation dose-réponse définie comme décrivant la relation entre la fréquence de survenue d'une pathologie dans une population et le niveau d'exposition à un composé toxique.

G.3.1. Effets à seuil (déterministes)

Les effets à seuil correspondent aux effets aigus et à certains effets chroniques non cancérigènes, non génotoxiques et non mutagènes, dont la gravité est proportionnelle à la dose. Selon cette approche classique de la toxicologie, les effets ne surviennent que si une certaine dose est atteinte et dépasse les capacités de détoxication, de réparation ou de compensation de l'organisme : il existe donc une dose limite en-dessous de laquelle le danger ne peut apparaître. Le danger n'a théoriquement pas lieu de survenir si ces seuils ne sont pas dépassés. Au-delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée.

Dans ce cas, les valeurs toxicologiques de référence sont généralement construites sur la base de l'effet critique. Il peut être différent selon la voie d'exposition de l'organisme :

- pour une exposition par voie orale, les valeurs toxicologiques de référence sont exprimées en masse de substance par kilogramme de poids corporel de la cible et par jour (mg/kg pc/j). Ces valeurs sont définies comme étant l'estimation de la quantité de produit à laquelle un individu peut théoriquement être exposé (par ingestion) sans constat d'effet nuisible, sur une durée déterminée et sur la base de toutes les informations actuelles,
- pour une exposition par voie respiratoire, les valeurs toxicologiques de référence s'expriment en masse de substance par m³ d'air ambiant (mg/m³) et correspondent à la teneur de produit dans l'air ambiant à laquelle un individu peut être exposé sans constat d'effet nuisible.

Cet effet est caractérisé par le calcul d'un Quotient de Danger (QD) par substance (lorsque la substance présente un effet à seuil), par milieu et par cible (adulte et enfant distinctement).

G.3.2. Effets sans seuils (probabilistes)

Un effet sans seuil se définit comme un effet qui apparaît quelle que soit la dose reçue. La probabilité de survenue croît avec la dose, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. L'hypothèse classiquement retenue est qu'une seule molécule de la substance toxique peut provoquer des changements dans une cellule et être à l'origine de l'effet observé. A l'origine, la notion d'absence de seuil était associée aux effets cancérigènes uniquement. Aujourd'hui, cette notion recouvre également des effets sur la reproduction (reprotoxicité) et les mutations génétiques (mutagénicité).

Pour les substances à effets sans seuil, la Valeur Toxicologique de Référence est généralement appelée Excès de Risque Unitaire (ERU). Il s'agit de la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose ou de concentration de toxique. Cet indice est l'inverse d'une dose et s'exprime en (mg/kg/j)⁻¹ ou (mg/m³)⁻¹.

Cet effet est caractérisé par le calcul d'un Excès de Risque Individuel (ERI) par substance (lorsque la substance présente un effet sans seuil), par milieu et par cible (adulte et enfant distinctement).

G.4. Etape 2 : Estimation de la relation doses-réponses et choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) est effectuée conformément aux prescriptions établies par la circulaire n°DGS/EAI/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative « aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués ».

Ainsi, en l'absence **d'expertise nationale** ou de VTR proposée par **l'Anses**, la VTR sera retenue selon l'ordre de priorité défini par la circulaire DGS/DGPR du 31/10/2014, à savoir :

- la VTR la plus récente parmi les trois bases de données : **US-EPA, ATSDR ou OMS** sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.
- Puis, si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par **Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA**.

L'ensemble des voies d'exposition a été traité en effets chroniques, correspondant à de longues durées d'exposition (d'une année à une vie entière pour l'US-EPA, 1989).

Lorsqu'elles existent, les VTR retenues les composés sélectionnés dans l'étude sont présentées ci-après (cf. détail en Annexe 6).

Tableau 21 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation

Mise à jour en juin 2020

Impression Bibliothèque	Dénomination	N° CAS	DJT Inhalation	Année	Nom source d'information	ERU Inhalation	Année	Nom source d'information
	Symbole		VTRs, inh			VTRss, inh		
	Unité		mg/m3			(mg/m3)-1		
Substances (Dénomination Int)								
Substances (Dénomination Int) air ambiant								
	Mercur	7439-97-6	0,00003	2008	OEHHA	-		
Hydrocarbures aliphatiques								
	Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8	18,4	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	-		Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
	Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10	1	1997		-		
	Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12	1	1997		-		
Hydrocarbures aromatiques								
	Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16	0,2	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons	-		
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)								
	Naphtalène	91-20-3	0,037	2013	Anses	0,0056	2013	Anses

G.5. Etape 3 : Estimation des expositions

G.5.1. Définition du budget espace-temps

L'évaluation des expositions repose notamment sur les fréquences et les durées de présence des cibles sur le site, des caractéristiques des aménagements, ... Ces paramètres constituent les données d'entrée du modèle de calculs. L'ensemble des paramètres d'entrée du modèle est synthétisé dans le Tableau 22 conformément aux hypothèses suivantes.

Les cibles considérées sont les enfants et adultes fréquentant les futurs espaces verts.

Le budget espace-temps retenu dans les calculs des risques sanitaires est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 22 : Paramètres du budget espace-temps

Profil de la cible		Unité	Justification	Enfants	Adultes
			Cibles définies au projet		
				Enfant	Adulte
Usage				Logement	Logement
Période d'exposition				0 à 6 ans	6 à 30 ans
Budget espace-temps		Unité	Justification	Enfants	Adultes
Profil corporel					
hresp	Hauteur de respiration	m	Valeur retenu par l'INERIS, 2017	1	1.5
Durée d'exposition					
E_r	Nombre de jour d'exposition théorique annuelle / Nombre de jours de présence dans l'année	jour/an	Valeur communément retenue	365	365
T	Durée d'exposition théorique	année	Valeur communément retenue	6	24
T_m	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (Substances à effet à seuil $T_m=T$ substance sans seuil d'effet : T_m est assimilé à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans)	année	Valeur communément retenue	70	70
Inhalation d'air extérieur					
$t_{i\text{ extérieur, sur site}}$	Nombre d'heures par jour en extérieur	h / jour	Valeur communément retenue	2.00	2.00

G.5.2. Estimation des concentrations dans les différents milieux

G.5.2.1. Estimation des concentrations dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirk et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la zone de pollution est considérée comme infinie.

Ces équations ont été réécrites par nos soins sous Excel, dans le fichier référencé en interne F.E.R.S. (Fondasol Evaluation des Risques Sanitaires).

Figure 27 : Données d'entrée pour l'air extérieur

Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Vitesse du vent v_{it_v}	3 m.s ⁻¹		Vitesse moyenne observée en France
			
Longueur de la zone d'émission parallèle à la direction du vent $long_zp$	55 m		Valeur mesurée sur plan
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel enfant	1 m		
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel adulte	1.5 m		
			 
Recouvrement			
Nature du recouvrement	Terre végétale		
Epaisseur recouvrement h_{couv}	0.30 m		
Porosité du recouvrement	0.30 -		
Teneur en eau du recouvrement	0.150 -		
Teneur en air du recouvrement	0.150 -		
Densité du sol ρ	1.8 g/cm ³		BP RISC
Couche de sol 1			
Type de sol :	Sable		
Epaisseur de la couche l_1	3 m		
Porosité n_1	0.375 -		
dont Teneur en eau $\theta_{eau,1}$ et Teneur en air $\theta_{air,1}$	0.054 - 0.321 -		
Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol			
Couche source			
Couche source	Source sol		
Type de sol :	Sable		
Volume de la source	Source infinie		
Distance de la source L_{source}	3 m		
Porosité n_{source}	0.375 sans unité		
Teneur en air $\theta_{air,source}$	0.321 sans unité		
Teneur en eau $\theta_{eau,source}$	0.054 sans unité		
Teneur en carbone organique foc	0.002 sans unité		US-EPA 1996, 2002, 2004 (Bioplume III, Natural Attenuation Decision Support System, 1998)

L'ensemble des équations utilisées pour l'évaluation des concentrations dans l'air extérieur est présenté en Annexe 8.

Les concentrations dans l'air extérieur sont estimées à partir des concentrations d'entrée retenues dans les différents milieux et rappelées dans le Tableau 20 et résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 : Concentrations calculées dans l'air extérieur

Unité	N° CAS	Concentration dans l'air ambiant intérieur			VALEURS GUIDES		Calculé	Calculé
		INERIS valeurs au 30/11/2018			ANSES / AFSSET Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur (CT = court terme de 1 à 14j , MT = moyen terme de 14 à 1 an, LT = long terme pour un ERU de 10 ⁻⁵)		HCSP Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos (VR = Valeur repère, VAR = Valeur d'action rapide)	
		R1	R2	R3				
		µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m ³	
Substance								
Métaux et métalloïdes								
Mercure	7439-97-6	0.030	0.200	-			2.84E-02	1.89E-02
Hydrocarbures aliphatiques								
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8	18 000	180 000	-			4.18E+01	2.79E+01
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10	1 000	10 000	-			2.53E+00	1.68E+00
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12	1 000	10 000	-			1.20E+01	7.98E+00
Hydrocarbures aromatiques								
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16	200	2 000	-			1.67E+00	1.12E+00
Hydrocarbures aromatiques								
Naphtalène	91-20-3	10	50	-	2009 : VGAI LT : 10	2012 : VR = 10 - VAR = 50	4.82E-03	3.21E-03

Interprétation : Les concentrations estimées dans l'air ambiant extérieur sont inférieures aux valeurs de référence utilisées.

G.5.3. Estimation des expositions

G.5.3.1. Exposition par inhalation

Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration inhalée. La concentration moyenne inhalée par jour est calculée de la façon suivante :

$$CI = \left[\sum (Ci \times ti) \right] \times F \times \frac{T}{Tm}$$

<u>avec</u> :	CI :	concentration moyenne inhalée (mg/m ³)
	Ci :	concentration de contaminant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps ti (mg/m ³)
	ti :	fraction du temps d'exposition à la concentration Ci pendant une journée (-)
	F :	fréquence d'exposition : nombre annuel de jours d'exposition ramené au nombre total annuel de jours (-)
	T :	durée d'exposition (années)
	Tm :	période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années) avec

$$Tm = DE * 365 \text{ pour les substances à seuil}$$

$$Tm = 70 * 365 \text{ pour les substances sans seuil}$$

G.6. Etape 4 : Calculs de risques sanitaires

G.6.1. Evaluation des risques à effet seuil : calcul du QD

Le quotient de danger, lorsque l'exposition par inhalation est retenue, est calculé selon :

$$QDi = \frac{CI}{RfCi}$$

<u>avec</u> :	QDi :	Quotient de danger inhalation (-)
	CI :	Concentration inhalée (mg/m ³)
	RfCi :	VTR à seuil par inhalation (mg/m ³)

Lorsque la voie ingestion est retenue, le quotient de danger est calculé selon :

$$QDo = \frac{DJE}{RfD}$$

<u>avec</u> :	QDo :	Quotient de danger oral (ou ingestion)
	DJE :	Dose Journalière d'Exposition
	RfD :	VTR à seuil par voie orale

Pour chaque cible (adulte ou enfant), les QD des substances présentant le même effet critique sur la santé sont ensuite sommés. Cette somme est comparée au seuil de risque acceptable de I défini dans la Circulaire du 8 février 2007.

Notons toutefois que le guide d'avril 2017 recommande uniquement l'addition des quotients de danger uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible.

G.6.2. Evaluation des risques à effets sans seuils : calculs de l'ERI

L'Excès de Risque Individuel, lorsque l'exposition par inhalation est retenue, est calculé selon :

$$ERI_i = CI \times ERU_i$$

<u>avec</u> :	ERLi :	Excès de Risque Individuel par voie Inhalation (-)
	CI :	Concentration inhalée (mg/m ³)
	ERUi :	Excès de Risque Unitaire par voie Inhalation (mg.m ⁻³) ⁻¹

Lorsque la voie ingestion est retenue, l'excès de risque individuel est calculé selon :

$$ERIo = DJE \times ERU_o$$

<u>avec</u> :	ERLo :	Excès de Risque Individuel par voie oral / Ingestion
	DJE :	Dose Journalière d'Exposition
	ERUo :	Excès de Risque Unitaire par voie orale

Pour chaque cible (adulte ou enfant), les ERI de l'ensemble des substances sont ensuite sommés, quel que soit l'effet critique observé sur la santé. L'ERI adulte et l'ERI enfant sont également sommés puisque la probabilité d'apparition de l'effet sans seuil s'exerce sur la vie entière. Cette somme est comparée au seuil de risque acceptable de 10⁻⁵ défini dans la Circulaire du 8 février 2007. La valeur de 10⁻⁵ correspond à l'apparition d'un cancer (ou autre effet sans seuil étudié) sur une population de 100 000 personnes.

G.6.3. Conclusions sur l'acceptabilité des risques résiduels

Les résultats des calculs de risques sanitaires sont présentés dans le Tableau 24.

Tableau 24 : Résultats des calculs de risques sanitaires pour les futurs usagers du futur espace vert

Valeurs de risques	QD			ERI		
	Enfants	Adultes	Composés tirant le risque	Enfants	Adultes	Composés tirant le risque
Inhalation de vapeurs en extérieur (sans dallage)	7.33E-03	4.42E-03	Mercure	1.93E-10	4.65E-10	Ali. C10-C12
<i>Risque total</i>						
<i>Seuils fixés par la circulaire du 08/02/2007</i>	<i>1</i>			<i>1.00E-05</i>		

L'Analyse des Risques Résiduels montre que les risques induits sur le site, une fois les mesures de gestion mises en œuvre, sont conformes aux exigences formulées dans la Politique de gestion des sites et sols pollués, et notamment à la circulaire de février 2007.

L'ensemble des résultats obtenus sont présentés en Annexe 9.

G.7. Discussions sur les incertitudes et étude de sensibilité

L'approche de l'incertitude sert à évaluer la possibilité de sur- ou sous-estimation du risque.

En première approche, nous avons retenu :

- des fréquences d'exposition pour les usagers du site qui correspondent aux données CIBLEX et à des estimations au plus près des fréquentations. Ces fréquences pourraient être sécuritaires dans certains cas. La durée d'exposition de 2h/j est une hypothèse majorante et sécuritaire. Ces hypothèses paraissent réalistes et les incertitudes liées à la définition des cibles et des usages ne sont pas retenues,
- les concentrations maximales pour toutes les substances volatiles ayant été détectées dans les gaz du sol si celles-ci sont supérieures aux valeurs de comparaison. Les données considérées paraissent réalistes voire majorantes.

Rappelons que les concentrations observées dans les gaz du sol sont soumises à de fortes variations temporelles (journalières et saisonnières) et spatiales. Dans le cadre de la compréhension des transferts vers un bâtiment existant ou futur, le guide méthodologique FLUXOBAT⁵, recommande la réalisation de 2 campagnes de mesures de gaz du sol minimum sur deux périodes contrastées (été et hiver par exemple), voire 3 campagnes en cas de résultats divergents.

Une étude de sensibilité (n°1) a été menée en considérant la totalité des composés quantifiés dans les gaz du sol, même si les teneurs sont inférieures aux valeurs de comparaison. Les teneurs ainsi retenues sont présentées dans le tableau suivant.

⁵ Traverse S., Schäfer G., Chastanet J., Hulot C., Perronnet K., Collignan B., Cotel S., Marcoux M., Côme J.M., Correa J., Gay G., Quintard M., Pepin L. (2013). Projet FLUXOBAT, Évaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur. Guide méthodologique, Novembre 2013.

Tableau 25 : Teneurs retenues en incertitudes (n°1) dans les gaz du sol

Unité	N° CAS	Teneurs dans les sols		Concentration dans les gaz du sol			
		Bruit de fond dans les sols	Mesuré	Mesuré	Calculé	Mesuré	Calculé
		mg/kg MS	mg/kg MS	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Substance							
Métaux et métalloïdes							
Mercur	7439-97-6	0.276	1.60E-01				1.12E+03
Composé Organique Volatile							
Trichloroéthylène TCE	79-01-6					32,18	
BTEX & CAV							
Benzène	71-43-2					8.51E+00	
Toluène	108-88-3					9.89E+00	
Xylènes	1330-20-7					3.22E+00	
Hydrocarbures aliphatiques							
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8		2.60E+00				7.69E+06
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10		4.50E-01				4.64E+05
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12		9.60E+00				2.20E+06
Hydrocarbures aromatiques							
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16		6.04E+01				3.07E+05
Naphtalène	91-20-3	0.15	2.10E-01				1.64E+03

Les résultats de cette incertitude sont présentés dans le Tableau 30.

- en l'absence du détail du projet d'espace vert, il a été retenu un recouvrement des sols par 30 cm de terres végétales.

Une étude de sensibilité (n°2) a ainsi été réalisé en considérant le recouvrement des sols par 10 cm d'enrobé (usage de parking).

Tableau 26 : Caractéristiques retenues en incertitudes (n°2)

Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Vitesse du vent vit_v	3 m.s-1		Vitesse moyenne observée en France
			
Longueur de la zone d'émission parallèle à la direction du vent long_zp	55 m		Valeur mesurée sur plan
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel enfant	1 m		
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel adulte	1.5 m		
			
Recouvrement			
Nature du recouvrement	Enrobé asphalté		
Epaisseur recouvrement h_cov	0.10 m		
Porosité du recouvrement	0.03 -		
Teneur en eau du recouvrement	0.000 -		
Teneur en air du recouvrement	0.030 -		
Densité du sol ρ	1.8 g/cm ³		BP RISC
Couche de sol 1			
Type de sol :	Sable		Constat de terrain
Epaisseur de la couche l ₁	3 m		Observation de terrain
Porosité n ₁	0.375 -		
dont Teneur en eau Θ _{eau,1} et Teneur en air Θ _{air,1}	0.054 - 0.321 -		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
Couche source			
Couche source	Source sol		
Type de sol :	Couche 1		Constat de terrain
Volume de la source	Source infinie		L'état de la source est considérée stationnaire et implique un régime permanent (approche pénalisante)
Distance de la source L _{source}	3 m		
Porosité n _{source}	0.375 sans unité		
Teneur en air Θ _{air,source}	0.321 sans unité		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
Teneur en eau Θ _{eau,source}	0.054 sans unité		
Teneur en carbone organique foc	0.002 sans unité		US-EPA 1996, 2002, 2004 (Bioplume III, Natural Attenuation Decision Support System, 1998)

Les résultats sont présentés dans le Tableau 30.

- Seules les teneurs résiduelles après mesures de gestion ont été considérées à une profondeur de 3 m.

Une étude de sensibilité (n°3) a été menée en intégrant les seuils de coupure sur une profondeur de 10 cm.

Tableau 27 : Teneurs retenues en incertitudes (n°3)

Substance	N° CAS	Teneurs dans les sols		Mesuré
		Bruit de fond dans les sols	Sols au droit des espaces extérieurs	
Unité		mg/kg MS	mg/kg MS	
Métaux et métalloïdes				
Mercur	7439-97-6	0.276	5.00E-01	
Hydrocarbures aliphatiques				
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8		2.60E+00	
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10		4.50E-01	
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12		9.60E+00	
Hydrocarbures aromatiques				
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16		6.04E+01	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)				
Naphtalène	91-20-3	0.15	2.10E-01	

Tableau 28 : Caractéristiques retenues en incertitudes (n°3)

Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Vitesse du vent vit_v	3 m.s-1		Vitesse moyenne observée en France
			
Longueur de la zone d'émission parallèle à la direction du vent long_zp	55 m		Valeur mesurée sur plan
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel enfant	1 m		
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel adulte	1.5 m		
			
Recouvrement			
Nature du recouvrement	Terre végétale		
Epaisseur recouvrement h_cov	0.30 m		
Porosité du recouvrement	0.30 -		
Teneur en eau du recouvrement	0.150 -		
Teneur en air du recouvrement	0.150 -		
Densité du sol p	1.8 g/cm ³		BP RISC
Couche de sol 1			
Type de sol :	Sable		Constat de terrain
Epaisseur de la couche l ₁	0.1 m		Observation de terrain
Porosité n ₁	0.375 -		
dont Teneur en eau θ _{eau,1}	0.054 -		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
et Teneur en air θ _{air,1}	0.321 -		
Couche source	Source sol		
Couche source	Couche 1		
Type de sol :	Sable		Constat de terrain
Volume de la source	Source infinie		L'état de la source est considérée stationnaire et implique un régime permanent (approche pénalisante)
Distance de la source L _{source}	0.1 m		
Porosité n _{source}	0.375 sans unité		
Teneur en air θ _{air,source}	0.321 sans unité		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
Teneur en eau θ _{eau,source}	0.054 sans unité		
Teneur en carbone organique foc	0.002 sans unité		US-EPA 1996, 2002, 2004 (Bioplume III, Natural Attenuation Decision Support System, 1998)

Les résultats de cette incertitude sont présentés dans le Tableau 30.

Une étude de sensibilité (n°4) a été menée en intégrant les seuils de coupure sur une profondeur de 10 cm avec l'absence de recouvrement

Tableau 29 : Caractéristiques retenues en incertitudes (n°4)

Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Vitesse du vent vit_v	3 m.s-1		Vitesse moyenne observée en France
			
Longueur de la zone d'émission parallèle à la direction du vent long_zp	55 m		Valeur mesurée sur plan
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel enfant	1 m		
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel adulte	1.5 m		
			
Recouvrement			
Nature du recouvrement	Aucun		
Densité du sol ρ	1.8 g/cm ³		BP RISC
Couche de sol 1			
Type de sol :	Sable		
Epaisseur de la couche l ₁	0.1 m		Constat de terrain Observation de terrain
Porosité n ₁	0.375 -		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
dont Teneur en eau $\Theta_{eau,1}$	0.054 -		
et Teneur en air $\Theta_{air,1}$	0.321 -		
Couche source			
Couche source	Source sol		
Type de sol :	Sable		
Volume de la source	Source infinie		
Distance de la source L _{source}	0.1 m		
Porosité n _{source}	0.375 sans unité		
Teneur en air $\Theta_{air,source}$	0.321 sans unité		
Teneur en eau $\Theta_{eau,source}$	0.054 sans unité		
Teneur en carbone organique foc	0.002 sans unité		US-EPA 1996, 2002, 2004 (Bioplume III, Natural Attenuation Decision Support System, 1998)

Les résultats de cette incertitude sont présentés dans le Tableau 30.

Les résultats de cette incertitude sont présentés dans le Tableau 30.

- uniquement les substances volatiles car il est rappelé que seul le transfert par inhalation a été considéré dans la présente EQRS : l'hypothèse apparaît réaliste, le Plan de Gestion prévoyant le recouvrement des sols.
- Les relations doses-réponses disponibles en l'état actuel des connaissances. Le choix des Valeurs Toxicologiques de Référence a été effectué conformément aux prescriptions établies par la circulaire n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative « aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués », qui s'applique également aux EQRS.
- dans une première approche sécuritaire, tous les QD des substances ont été cumulés sans distinction des organes cibles. Le QD sommé de cette manière étant inférieur à I, il n'est pas apparu nécessaire d'aller au-delà de cette approche,
- lors des investigations de terrain, il a été mis en évidence que les sols sont constitués de remblais sablo-graveleux puis de limons argilo-sableux. Les sols ont été considérés

comme des sables. Les sols ont été considérés comme des sables. Cette hypothèse paraît réaliste.

- des hypothèses réalistes, voire majorantes concernant le choix des valeurs des paramètres, notamment pour les caractéristiques du sol (perméabilité, foc,...).

Les résultats des calculs de sensibilités sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 30 : Résultats des calculs de sensibilité

Hypothèse considérée en calcul principal	Valeur considérée en sensibilité	Variation				Modification de l'acceptabilité	
		(%)				Oui / Non	
		QDenfant	QDadulte	ERlenfant	ERladulte		
Valeurs de risque dans le calcul principal :		7.33E-03	4.42E-03	1.93E-10	4.65E-10		
1	Csource = teneurs résiduelles dans les sols à 3 m après mise en place des mesures de gestion	Csource = Tous les composés quantifiés dans les gaz du sol	7,33E-03	4,42E-03	2,01E-10	4,85E-10	Non
			+0,01%	+0,01%	+4,33%	+4,33%	
2	Recouvrement des sols par 30 cm de terres végétales	Mise en place d'un enrobé de 10 cm d'épaisseur	8,40E-03	5,07E-03	2,21E-10	5,32E-10	Non
			+14,71%	+14,21%	+14,40%	+14,40%	
3	Csource = teneurs résiduelles à 3 m après mise en place des mesures de gestion	Csource = intégration des seuils de coupures pour une source de pollution à 10 cm de profondeur	3,96E-02	2,39E-02	4,16E-10	1,00E-09	Non
			+440,38%	+440,383%	+115,60%	+115,60%	
4	Csource = teneurs résiduelles à 3 m après mise en place des mesures de gestion + Recouvrement des sols par 30 cm de terres végétales	Csource = intégration des seuils de coupures pour une source de pollution à 10 cm de profondeur+ Absence de recouvrement	9,99E-01	6,02E-01	1,04E-08	2,551E-08	Oui
			+1135%	+1135%	+5308%	+5308%	

L'analyse des incertitudes permet de constater que celle-ci l'absence de recouvrement au droit du site entrainera la remise en cause la validité de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires, car elle induit un niveau de risque inacceptable au sens de la Politique Nationale de gestion des sites et sols pollués. **FONDASOL Environnement recommande donc le recouvrement des espaces verts par 30 cm de terres végétales au minimum.**

H. MODELE DE FONCTIONNEMENT

Sur la base du Plan de Gestion ainsi établi, le schéma conceptuel actualisé a été transformé en modèle de fonctionnement.

Source de pollution	Cibles / enjeux	Voies de transfert	Milieux concernés par le transfert	Voies d'exposition	Milieu d'exposition	Commentaire
Remblais potentiellement de mauvaise qualité environnementale Impacts en métaux (plomb, mercure) et en éléments organiques	Sur site					
	Usagers actuels enfants et adultes	Volatilisation	Sols / eaux souterraines / gaz des sols → Air ambiant	Inhalation de polluant sous forme gazeuse (ZNS ou ZS)	Air ambiant	Non retenu suite au calcul des risques sanitaire
		Envol de poussières	Sols superficiels → Air ambiant	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières	Air ambiant	FONDASOL Environnement recommande le recouvrement des espaces verts par 30 cm de terres végétales au minimum.
			Sols	Ingestion de sol/poussières	Sols	
	Utilisation des eaux souterraines (arrosage, alimentation en eau potable)	Sols / eaux souterraines → Eaux souterraines	Ingestion de végétaux cultivée sur site	Végétaux	Non retenu compte tenu de l'absence de potager	
	Hors site					
Résidents actuels enfants et adultes	Migration par les eaux souterraines	Eaux souterraines → Air ambiant	Inhalation de polluant sous forme gazeuse (via la nappe)	Air ambiant	Retenu compte tenu des teneurs mises en évidence dans les sols dans la zone de battement de la nappe et compte tenu des niveaux d'eau mis en évidence au cours des sondages (il n'a cependant pas été jugé nécessaire d'aller chercher des « pollution » profondes, dans la mesure où les échantillons les plus impactés sont situés dans la zone de battement de la nappe que l'on suppose polluée par les sites BASIAS en amont)	

Figure 28 : Modèle de fonctionnement

I. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES

Les mesures de gestion résumées dans le tableau précédent ne concernent que la gestion de la pollution concentrée.

Au vu des résultats analytiques, certaines terres à évacuer dans le cadre du projet, ne pourront être considérées comme inertes et devront faire l'objet d'une gestion spécifique.

L'analyse des incertitudes permet de constater que celles-ci l'absence de recouvrement au droit du site entraînera la remise en cause la validité de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires, car elle induit un niveau de risque inacceptable au sens de la Politique Nationale de gestion des sites et sols pollués. FONDASOL Environnement recommande donc le recouvrement des espaces verts par 30 cm de terres végétales au minimum.

Rappelons que préalablement aux évacuations hors site (que cela concerne la zone de pollution concentrée ou la gestion des terres non inertes), il conviendra de réaliser un certificat d'acceptation préalable (CAP) auprès du centre repreneur des terres en amont des travaux. Ceux-ci devront être réalisés selon la réglementation en vigueur.

Rappelons que les conclusions de cette étude ne sont valables que pour le projet fourni (cf. **B.2 Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et des données d'entrée prises en compte. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement, des hypothèses d'aménagement retenues ou les données analytiques complémentaires sur l'état de pollution du milieu souterrain entraînera une révision de ces conclusions.

Enfin, ce plan de gestion devra être complété par un plan de conception des travaux (PCT) qui regroupera toutes les études nécessaires à la rédaction du cahier des charges pour la consultation des entreprises de travaux. C'est une étape clé du processus de gestion pour valider les scénarios de gestion. Le plan de conception des travaux a vocation à constituer un document spécifique réalisé après le plan de gestion qui aura défini les essais de faisabilité et de traitabilité à réaliser, les données de dimensionnement du projet, ainsi que les objectifs associés à ces essais. Dans ce cas, le plan de gestion n'est pas conclusif.

J. LIMITES DE LA METHODE

Ce document a été établi pour un projet d'aménagement spécifique. Toute évolution de ce projet devra donner lieu à une actualisation du présent document. Tout changement d'usage ultérieur devra conduire à l'établissement de nouvelles mesures de gestion.

J.1. Etude documentaire

Cette étude est basée sur une approche documentaire. Les informations présentées ici sont soumises à l'exhaustivité et la fiabilité des documents disponibles et consultables, l'existence d'une information « non identifiée » ou « erronée » est possible. L'exhaustivité et la véracité des informations dont FONDASOL Environnement n'a pas la maîtrise ne peuvent être garanties.

J.2. Investigations

Les prélèvements ne peuvent pas offrir une vision continue de l'état des terrains du site. L'existence d'une anomalie d'extension limitée entre deux prélèvements et/ou à plus grande profondeur, qui aurait échappé à nos investigations, ne peut être exclue.

D'autre part, le diagnostic permet d'établir un état des lieux de la qualité environnementale des milieux à un instant donné. La survenue d'un incident ou d'une pollution ultérieure à la réalisation des investigations de terrain dans le cadre du diagnostic peut remettre en cause la validité des résultats et des conclusions du diagnostic.

L'échantillonnage du fait de son caractère ponctuel ne permet pas de représenter la totalité des impacts anthropiques (activités et installations humaines ciblées, lors des investigations, en fonction des données disponibles).

La mission A200, en l'absence d'analyses répondant aux critères ISDI, ne permet pas de définir les filières d'évacuation des déblais de terrassement liés à votre projet d'aménagement.

FONDASOL Environnement n'est pas en mesure de préjuger de l'acceptation des terres odorantes ou présentant une couleur suspecte. L'acceptation des terres sera à vérifier auprès de la décharge. Des surcoûts supplémentaires peuvent donc être à prévoir.

Enfin, seule la réalisation de fouilles à la pelle mécanique permet de s'assurer de la présence ou non de DIB dans les terres de remblais. Les déchets enfouis, s'ils ne peuvent être triés à l'avancement des terrassements, peuvent générer des refus en filière ISDI ou en comblement de carrière acceptant les terres sulfatées.

Le Ministère en charge de l'Environnement et le BRGM recommandent la réalisation de prélèvements et analyses de gaz du sol et/ou d'air ambiant afin de conclure sur la compatibilité sanitaire entre les milieux et le projet (au moins deux campagnes, à des périodes climatiques différentes, classiquement été et hiver). Ces mêmes organismes alertent sur le caractère sensible de ces analyses au regard de l'influence de nombreux paramètres au cours des prélèvements (parmi lesquels la température, la pression atmosphérique, la vitesse et l'orientation des vents sur le bâti, l'hygrométrie, le chauffage ou non du bâtiment). Ainsi, les concentrations observées dans les gaz du sol et l'air ambiant sont soumises à de fortes variations temporelles (journalières et saisonnières) et spatiales.

J.3. Plan de gestion

Le Plan de Gestion ne constitue pas une étude approfondie et détaillée des techniques de travaux de réhabilitation (étude d'avant-projet, étude de conception, étude de

dimensionnement des futurs travaux). La décision finale du choix des mesures de gestion des zones de pollution concentrée reste à l'appréciation du Maître d'ouvrage.

Le plan de gestion s'attache à étudier en priorité les modalités de pollutions concentrées puis à maîtriser les impacts et risques associés et enfin à gérer les pollutions résiduelles et diffuses. Il s'agit d'une étude qui ne vaut pas cahier des charges pour la consultation des prestataires en charge de l'exécution des travaux.

Il devra, être complété par un Plan de Conception des Travaux en phase d'exécution.

K. ANNEXES



ANNEXE I : CONDITIONS GENERALES DE SERVICE

1. Formation du Contrat

Toute commande par le co-contractant (« le Client »), qui a reçu un devis de la part de FONDASOL, ou l'une quelconque de ses filiales (ci-après le « Prestataire »), quelle qu'en soit la forme (par exemple bon de commande, lettre de commande, ordre d'exécution ou acceptation de devis, sans que cette liste ne soit exhaustive) et ses avenants éventuels, constituent l'acceptation totale et sans réserve des présentes conditions générales par ledit Client, que ce dernier ait contresigné les conditions générales ou non, ou qu'il ait émis des conditions contradictoires. Tout terme de la commande, quelle qu'en soit la forme, et de ses avenants éventuels, qui serait en contradiction avec les présentes conditions générales ou le devis, serait réputé de nul effet et inapplicable, sauf s'il a fait l'objet d'une acceptation écrite expresse non équivoque par le Prestataire. Cette acceptation ne peut pas résulter de l'exécution des Prestations prévues au devis et/ou à la commande, quelle qu'en soit la forme, et/ou avenant éventuel, ou de l'absence de réponse du Prestataire sur ledit terme. Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres conditions y compris contenues dans la commande (quelle que soit sa forme) du Client ou dans les accusés de réception des échanges de données informatisés, sur portail électronique, dans la gestion électronique des achats ou dans les courriers électroniques du Client. Aucune exception ou dérogation n'est applicable sauf si elle est émise par le Prestataire ou acceptée expressément, préalablement et de manière non équivoque par écrit par le Prestataire. À ce titre, toute condition de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit exprès et non-équivoque du Prestataire. Le contrat est constitué par le dernier devis émis par le Prestataire, les présentes conditions générales, la commande ou l'acceptation de devis ou lettre de commande du Client et, à titre accessoire et complémentaire les conditions de la commande expressément acceptées et spécifiquement indiquées par écrit par le Prestataire comme acceptées (le « Contrat »).

2. Entrée en vigueur

Le Contrat n'entrera en vigueur qu'à la réception par le Prestataire de l'acompte prévu au Contrat ou suivant les conditions particulières du devis, ou, le cas échéant, de l'accusé de réception de commande et/ou de réception de paiement émis par le Prestataire. Sauf disposition contraire des conditions particulières du devis, les délais d'exécution par le Prestataire de ses obligations au titre du Contrat commencent quinze (15) jours ouvrés après la date d'entrée en vigueur du Contrat.

3. Prix

Les prix sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement du devis. Préalablement au Contrat, les prix sont valables selon la durée mentionnée au devis et au maximum pendant deux (2) mois à compter de la date du devis. À l'entrée en vigueur du Contrat, les prix sont fermes et définitifs pour une durée de six (6) mois mis à jour tous les six (6) mois par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'indice de base étant le dernier indice publié à la date d'émission du devis.

Les prix mentionnés dans le Contrat ou le devis ne comprennent pas la TVA, les taxes sur les ventes, les droits, les prélèvements, les taxes sur le chiffre d'affaires, les droits de douane et d'importation, les surtaxes, les droits de timbre, les impôts retenus à la source et toutes les autres taxes similaires qui peuvent être imposées au Prestataire, à ses employés, à ses sociétés affiliées et/ou à ses représentants, dans le cadre de l'exécution du Contrat (les « Impôts »), qui seront supportés par le Client en supplément des prix indiqués. Le Prestataire restera toutefois responsable du paiement de tous les impôts applicables en France.

Au cas où le Prestataire serait obligé de payer l'un des Impôts mentionnés ci-dessus, le Client remboursera le Prestataire dans les trente (30) jours suivant la réception des documents correspondants justifiant le paiement de celui-ci. Au cas où ce remboursement serait interdit par toute législation applicable, le Prestataire aura le droit d'augmenter les prix indiqués dans le devis ou spécifiés dans le Contrat du montant des Impôts réellement supportés.

Sauf indication contraire dans le devis, les prix des Prestations relatifs à des quantités à réaliser, quelle qu'en soit l'unité (notamment sans que cela ne soit exhaustif, profondeurs, mètres linéaires, nombre d'essais, etc) ne sont que des estimatifs sur la base des informations du Client, en conséquence seules les quantités réellement réalisées seront facturées sur la base des prix unitaires du Contrat.

4. Obligations générales du Client

4.1 Le terme « Prestations » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire comme étant comprises dans le devis à la charge du Prestataire. Toute prestation non comprise dans les Prestations, ou dont le prix unitaire n'est pas indiqué au Contrat, fera l'objet d'un prix nouveau à négocier.

4.2 Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude, d'ingénierie ou de conseil, ce que le Client reconnaît et accepte expressément.

La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés expressément par écrit.

4.3 Sauf disposition contraire expresse du devis, le Client obtiendra à ses propres frais, dans un délai permettant le respect du délai d'exécution du Contrat, tous les permis et autorisations d'importation nécessaires pour l'importation des matériels et équipements et l'exécution des Prestations dans le pays où les matériels et équipements doivent être livrés et où les Prestations doivent être exécutées. En plus de ce qui précède et sauf à ce que l'une ou plusieurs des obligations suivantes soient expressément et spécifiquement intégrées aux Prestations et au bordereau de prix, le Client devra également, notamment, sans que cela ne soit exhaustif :

- Payer au Prestataire les Prestations conformément aux conditions du Contrat ;
- Communiquer en temps utile toutes les informations et/ou documentations nécessaires pour l'exécution du Contrat et notamment, mais pas seulement, tout élément qui lui paraîtrait de nature à compromettre la bonne exécution des Prestations ou devant être pris en compte par le Prestataire ;

- Permettre un accès libre et rapide au Prestataire à ses locaux et/ou au site où sont réalisées les Prestations y compris pour la livraison des matériels et équipements nécessaires à la réalisation des Prestations et notamment, mais pas seulement, les machines de forage ;
- Approuver tous les documents du Prestataire conformément au devis et à défaut dans un délai de deux jours au plus ;
- Préparer ses installations pour l'exécution du Contrat, et notamment, sans que cela ne soit exhaustif, décider et préparer les implantations des forages, fournir eau et électricité, et veiller, le Client étant toujours responsable de ses installations, à ce que le Prestataire dispose en permanence de toutes les ressources nécessaires pour exécuter le Contrat, sauf accord spécifique contraire dans le Contrat. Si le Personnel du Client est tenu d'exécuter un travail lié au Contrat incluant, mais sans s'y limiter, l'assemblage ou l'installation d'équipements, ce personnel sera qualifié et restera en permanence sous la responsabilité du Client. Le Client conservera le droit exclusif de diriger et de superviser le travail quotidien de son personnel. Dans ce cas, le Prestataire ne sera en aucun cas responsable d'une négligence ou d'une faute du personnel du Client dans l'exécution de ses tâches, y compris les conséquences que cette négligence ou faute peut avoir sur le Contrat. Par souci de clarté, tout sous-traitant du Prestataire imposé ou choisi par le Client restera sous l'entière responsabilité du Client ;
- fournir, conformément aux articles R.554-1 et suivants du même chapitre du code de l'environnement, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles déclarations d'intentions de commencement de travaux (DICT) (le délai de réponse, est de 7 à 15 jours selon les cas, hors jours fériés) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur le domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles ou des avant-trous à la pelle mécanique pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.
- Déclarer aux autorités administratives compétentes tout forage réalisé, notamment, sans que cela ne soit exhaustif, de plus de 10 m de profondeur ou lorsqu'ils sont destinés à la recherche, la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

4.4 La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en aucun cas pour quelque dommage que ce soit à des ouvrages publics ou privés (notamment, à titre d'exemple, des ouvrages, canalisations enterrés) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à l'émission du dernier devis et intégrés au Contrat.

5. Obligations générales du Prestataire

Le Prestataire devra :

- Exécuter avec le soin et la diligence requis ses obligations conformément au Contrat, toujours dans le respect des spécifications techniques et du calendrier convenus entre les Parties par écrit ;
- Respecter toutes les règles internes et les règles de sécurité raisonnables qui sont communiquées par le Client par écrit et qui sont applicables dans les endroits où les Prestations doivent être exécutées par le Prestataire ;
- S'assurer que son personnel reste à tout moment sous sa supervision et direction et exercer son pouvoir de contrôle et de direction sur ses équipes ;
- Procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre, étant entendu qu'il s'agit d'une obligation de moyen et en aucun cas d'une obligation de résultat ou de moyens renforcée ;
- Faire en sorte que son personnel localisé dans le pays de réalisation des Prestations respecte les lois dudit pays.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement prévue et expressément agréée dans le devis et dans ce cas la solidarité ne s'exerce que sur la durée de réalisation sur site du Client du Contrat.

En cas d'intervention du Prestataire sur site du Client, si des éléments de terrain diffèrent des informations préalables fournies par le Client, le Prestataire peut à tout moment décider que la protection de son personnel n'est pas assurée ou adéquate et suspendre ses Prestations jusqu'à ce que les mesures adéquates soient mises en œuvre pour assurer la protection du personnel, par exemple si des traces de pollution sont découvertes ou révélées. Une telle suspension sera considérée comme un Imprévu, tel que défini à l'article 14 ci-dessous.

6. Délais de réalisation

À défaut d'engagement précis, ferme et expresse du Prestataire dans le devis sur une date finale de réalisation ou une durée de réalisation fixe et non soumise à variations, les délais d'intervention et d'exécution données dans le devis sont purement indicatifs et, notamment du fait de la nature de l'activité du Prestataire, dépendante des interventions du Client ou de tiers, ne sauraient en aucun cas engager le Prestataire. Les délais de réalisation sont soumis aux ajustements tels qu'indiqués au Contrat. À défaut d'accord exprès spécifique contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard. Nonobstant toute clause contraire, les pénalités de retard, si elles sont prévues, sont plafonnées à un montant total maximum et cumulé pour le Contrat de 5% du montant total HT du Contrat.

- Le Prestataire réalise le Contrat sur la base des informations communiquées par le Client. Ce dernier est seul responsable de l'exactitude et de la complétude de ces données et transmettra au Prestataire toute information nécessaire à la réalisation des Prestations. En cas d'absence de transmission, d'inexactitude de ces données ou d'absence d'accès au(x) site(s) d'intervention, quelles que soient les hypothèses que le Prestataire a pu prendre, notamment en cas d'absence de données ou d'accès, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité et les délais de réalisation sont automatiquement prolongés d'une durée au moins équivalente à la durée de correction de ces données et de reprise des Prestations correspondantes.

7. Formalités, autorisations et accès, obligations d'information, dégâts aux ouvrages et cultures

À l'exception d'un accord contraire dans les conditions spécifiques du devis ou dans les cas d'obligations législatives ou réglementaires non transférables par convention à la charge du Prestataire, toutes les démarches et formalités administratives ou autres, pour l'obtention des autorisations et permis de pénétrer sur les lieux et/ou d'effectuer les Prestations sont à la charge du Client. Le Client doit obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Le Client doit également fournir tous les documents et informations relatifs aux dangers et aux risques de toute nature, notamment sans que cela ne soit exhaustif, ceux cachés, liés aux réseaux, aux obstacles enterrés, à l'historique du site et à la pollution des sols, sous-sols et des nappes. Le Client communiquera les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité, hygiène et respect de l'environnement. Il assure également en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, sur les règles propres à son site, avant toute intervention sur site. Le Client sera responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel, consécutif ou non-consécutif, résultant des événements mentionnés au présent paragraphe et qui n'aurait pas été mentionné au Prestataire. Lorsque les Prestations consistent à mesurer, relever voire analyser ou traiter des sols pollués, le Prestataire a l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour protéger son personnel dans la réalisation desdites Prestations, sur la base des données fournies par le Client.

Les forages et investigations de sols et sous-sols peuvent par nature entraîner des dommages sur le site en ce compris tout chemin d'accès, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du Prestataire. Ce dernier n'est en aucun cas tenu de remettre en état ou réparer ces dégâts, sauf si la remise en état et/ou les réparations font partie des Prestations, et n'est en aucun cas tenu d'indemniser le Client ou les tiers pour lesdits dommages inhérents à la réalisation des Prestations.

8. Implantation, nivellement des sondages

À l'exception des cas où l'implantation des sondages fait partie des Prestations à réaliser par le Prestataire, ce dernier est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation et est tenu indemne des conséquences liées à la décision d'implantation, tels que notamment, sans que cela ne soit exhaustif, le retard de réalisation, les surcoûts et/ou la perte de forage. Les Prestations ne comprennent pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais.

9. Hydrogéologie - Géotechnique

9.1 Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport final d'exécution des Prestations correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et au moment précis du relevé. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études et Prestations. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

9.2 L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inhérentes à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés et de bien d'autres facteurs telle que la variation latérale de faciès. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment à titre d'exemple glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

9.3 L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des Prestations de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

10. Pollution - dépollution

Lorsque l'objet de la Prestation est le diagnostic ou l'analyse de la pollution de sols et/ou sous-sols, ou l'assistance à la maîtrise d'œuvre ou la maîtrise d'œuvre de prestations de dépollution, le Client devra désigner un coordonnateur de Sécurité et de Protection de la Santé sur le site (SPS), assister le Prestataire pour l'obtention des autorisations nécessaires auprès des autorités compétentes, fournir au Prestataire toute information (notamment visite sur site, documents et échantillons) nécessaire à l'obtention des Certificats d'Acceptation Préalable de Déchets ainsi que pour l'obtention des autorisations nécessaires au transport, au traitement et à l'élimination des terres, matériaux, effluents, rejets, déchets, et plus généralement de toute substance polluante.

Sauf s'il s'agit de l'objet des Prestations tel que précisé au devis, notre devis est réalisé sur la base d'un site sur lequel il n'existe aucun danger potentiel lié à la présence de produits radioactifs.

Les missions d'assistance à maîtrise d'œuvre ou de maîtrise d'œuvre seront exercées conformément à l'objectif de réhabilitation repris dans le devis. À défaut d'une telle définition d'objectif, ces missions ne pourront commencer.

11. Rapport de mission, réception des Prestations par le Client

Sauf disposition contraire du Contrat et sous réserve des présentes conditions générales, la remise du dernier document à fournir dans le cadre des Prestations marque la fin de la réalisation des Prestations. La fin de la réalisation des Prestations sur site du Client est marquée par le départ autorisé du personnel du Prestataire du site. L'approbation du dernier document fourni dans le cadre des Prestations doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client. A défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans ce délai, le document sera considéré comme approuvé. L'émission de commentaires ne vaut pas rejet et n'interrompt pas le délai d'approbation. Le Prestataire répondra aux commentaires dans les dix (10) jours de leur réception. A défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans les cinq (5) jours de la réception des réponses aux commentaires ou du document modifié, le document sera considéré comme approuvé. Si le Client refuse

le document et que le document n'est toujours pas approuvé deux (2) mois après sa remise initiale, les Parties pourront mettre en œuvre le processus de règlement des litiges tel que défini au Contrat. A défaut de mise en œuvre de ce processus, le rapport sera considéré comme approuvé définitivement trois mois après la date de sa remise initiale au Client.

12. Réserve de propriété, confidentialité

Les coupes de sondages, plans et documents établis par le Prestataire dans le cadre des Prestations ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable exprès du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour tout autre objectif que celui prévu au Contrat ou pour le compte de tiers, toute information se rapportant au savoir-faire, techniques et données du Prestataire, que ces éléments soient brevetés ou non, dont le Client a pu avoir connaissance au cours des Prestations ou qui ont été acquises ou développées par le Prestataire au cours du Contrat, sauf accord préalable écrit exprès du Prestataire.

13. Propriété Intellectuelle

Si dans le cadre du Contrat, le Prestataire met au point, développe ou utilise une nouvelle technique, celle-ci est et/ou reste sa propriété exclusive. Le Prestataire est libre de déposer tout brevet s'y rapportant. Le Prestataire est titulaire des droits d'auteur et de propriété sur les résultats et/ou données compris, relevés ou utilisés dans les ou, au cours des, Prestations et/ou développés, générés, compilés et/ou traités dans le cadre du Contrat. Le Prestataire concède au Client, sous réserve qu'il remplisse ses obligations au titre du Contrat, un droit non exclusif de reproduction des documents remis dans le cadre des Prestations pour la seule utilisation des besoins de l'exploitation, la maintenance et l'entretien du site Client concerné.

En cas de reproduction des documents remis par le Prestataire dans le cadre des Prestations, le Client s'engage à indiquer la source en portant sur tous les documents diffusés intégrant lesdits documents du Prestataire, quelle que soit leur forme, la mention suivante en caractères apparents : « source originelle : Groupe Fondasol – date du document : //MM/AAAA » sans que ces mentions ne puissent être interprétées comme une quelconque garantie donnée par le Prestataire. Le Client s'engage à ce que tout tiers à qui il aurait été dans l'obligation de remettre l'un ou les documents, se conforme à l'obligation de citation de la source originelle telle que prévue au présent article.

14. Modifications du contenu des Prestations en cours de réalisation

La nature des Prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le Client et ceux recueillis lors de l'établissement du devis. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement du devis touchant à la géologie et éléments de terrains et découvertes imprévues, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant au cours de la réalisation des Prestations (l'ensemble désigné par les « Imprévus ») pourront conduire le Prestataire à proposer au Client un ou des avenant(s) avec notamment application des prix du bordereau du devis, ou en leur absence, de nouveau prix raisonnables et des délais de réalisation mis à jour. À défaut d'un refus écrit exprès du Client dans un délai de sept (7) jours à compter de la réception de la proposition d'avenant ou de modification des Prestations, ledit avenant ou modification des Prestations devient pleinement effectif et le Prestataire est donc rémunéré du prix de cet avenant ou de cette modification des Prestations, en sus. En cas de refus écrit exprès du Client, le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution des Prestations jusqu'à confirmation écrite expresse du Client des modalités pour traiter de ces Imprévus et accord des deux Parties sur lesdites modalités. Les Prestations réalisées à cette date sont facturées et rémunérées intégralement, sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Le temps d'immobilisation du personnel du Prestataire est rémunéré selon le prix unitaire indiqué dans le bordereau de prix du devis. Dans l'hypothèse où le Prestataire notifie qu'il est dans l'impossibilité d'accepter les modalités de traitement des Imprévus telles que demandées par le Client, ce dernier aura le droit de résilier le Contrat selon les termes prévus à l'article 19.2 (Résiliation).

15. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport de fin de mission, quel que soit son nom, constitue une synthèse des Prestations telle que définie au Contrat. Ce rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou totale, ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou conseil desdits maître d'ouvrage, constructeur ou maître d'œuvre pour un projet différent de celui objet du Contrat est interdite et ne saurait en aucun cas engager la responsabilité du Prestataire à quel que titre que ce soit. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet, au site, à l'ouvrage et/ou à son environnement non révélée expressément au Prestataire lors de la réalisation des Prestations ou dont il lui a été demandé de ne pas tenir compte, rend le rapport caduc, dégage la responsabilité du Prestataire et engage celle du Client. Le Client doit faire actualiser le dernier rapport émis dans le cadre du Contrat en cas d'ouverture du chantier (pour lequel le rapport a été émis) plus d'un an après remise dudit rapport. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

16. Force Majeure

Le Prestataire ne sera pas responsable, de quel que manière que ce soit, de la non-exécution ou du retard d'exécution de ses obligations à la suite d'un événement de Force Majeure. La Force Majeure sera définie comme un événement qui empêche l'exécution totale ou partielle du Contrat et qui ne peut être surmonté en dépit des efforts raisonnables de la part de la Partie affectée, qui lui est extérieure. La Force Majeure inclura, notamment les événements suivants : catastrophes naturelles ou climatiques, pénurie de main d'œuvre qualifiée ou de matières premières, incidents majeurs affectant la production des agents ou sous-traitants du Prestataire, actes de guerre, de terrorisme, sabotages, embargos, insurrections, émeutes ou atteintes à l'ordre public.

Tout événement de Force Majeure sera notifié par écrit à l'autre Partie dès que raisonnablement possible. Si l'événement de Force Majeure se poursuit pendant plus de deux (2) mois et que les Parties ne se sont pas mises d'accord sur les conditions de poursuite du Contrat, l'une ou l'autre des Parties aura le droit de résilier le Contrat, sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours adressé à l'autre Partie, auquel cas la stipulation de la clause de Résiliation du Contrat s'appliquera.

Quand l'événement de Force Majeure aura cessé de produire ses effets, le Prestataire reprendra l'exécution des obligations affectées dès que possible. Le délai de réalisation sera automatiquement prolongé d'une période au moins équivalente à la durée réelle des effets de l'événement de Force Majeure. Tous frais supplémentaires raisonnablement engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure seront remboursés par le Client au Prestataire contre présentation de la preuve de paiement associée et de la facture correspondante.

17. Conditions de paiement, acompte, retenue de garantie

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur les paiements des Prestations. Dans le cas où le Contrat nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies et envoyées par le Prestataire pour paiement par le Client. Les paiements interviennent à réception et sans escompte. L'acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières du devis est déduit de la facture ou décompte final(e).

En cas de sous-traitance par le Client au Prestataire dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité sera exigible sans qu'un rappel ou mise en demeure soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.

En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.

Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge et des dommages-intérêts éventuels, une indemnité fixée à 15% du montant TTC de la créance avec un minimum de 500 euros. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date de paiement. Les Parties reconnaissent expressément qu'elle constitue une évaluation raisonnable de l'indemnité de recouvrement et de l'indemnisation des frais de recouvrement.

Un désaccord quelconque dans le cadre de l'exécution des Prestations ne saurait en aucun cas constituer un motif de non-paiement des Prestations réalisées et non soumises à contestation précise et documentée. La compensation est formellement exclue. En conséquence, le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue du prix des Prestations facturés ou de retenir les paiements.

18. Suspension

L'exécution du Contrat ne peut être suspendue par le Prestataire que dans les cas suivants :

- (i) En cas d'Imprévu,
- (ii) En cas de violation par le Client d'une ou plusieurs de ses obligations contractuelles,
- (iii) En cas de Force Majeure.

Quand l'un des événements mentionnés ci-dessus se produit, le Prestataire a le droit de notifier au Client son intention de suspendre l'exécution du Contrat. Dans ce cas, le délai de réalisation sera prolongé d'une période équivalente à la durée de cette suspension et tous les frais associés engagés par le Prestataire suite à cette suspension seront remboursés par le Client contre présentation des preuves de paiement associées, en ce compris l'indemnité d'immobilisation au taux prévu au devis. Le Prestataire peut soumettre la reprise des obligations suspendues au remboursement par le Client au Prestataire des sommes mentionnées ci-dessus.

Si l'exécution du Contrat est suspendue pendant une période de plus de deux (2) mois, le Prestataire aura le droit de résilier le Contrat immédiatement sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours, auquel cas les stipulations de l'article « Résiliation » (19.2 et suivants) du Contrat s'appliqueront. À partir du moment où les obligations du Prestataire ou le Contrat sont suspendus pendant une durée égale ou supérieure à deux (2) mois, les Prestations seront considérées comme finies et acceptées par le Client.

19. Résiliation

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de négociation et résolution amiable du différend.

19.1 Résiliation pour manquement

Si l'une des Parties commet une violation substantielle du Contrat, l'autre Partie peut demander, par écrit, que la Partie défaillante respecte les conditions du Contrat. Si dans un délai de trente (30) jours, ou dans un autre délai dont les Parties auront convenu, après la réception de cette demande, la Partie défaillante n'a pas pris de mesures satisfaisantes pour respecter le Contrat, la Partie non défaillante peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la Partie défaillante une notification écrite à cet effet.

19.2 Résiliation pour insolvabilité ou événement similaire ou après suspension prolongée Si l'une ou l'autre des Parties est en état de cessation des paiements ou devient incapable de répondre à ses obligations financières, ou après une suspension supérieure à deux (2) mois, l'autre Partie peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la première Partie une notification à cet effet. Cette résiliation entrera en vigueur à la date où ladite notification de résiliation est reçue par la première Partie.

19.3 Indemnisation pour résiliation

En cas de résiliation du Contrat en totalité ou en partie par le Client ou le Prestataire, conformément aux stipulations des Articles 19.1 ou 19.2, le Client paiera au Prestataire :

- (i) Le solde du prix des Prestations exécutées conformément au Contrat, à la date de résiliation non encore payées, et
- (ii) Les coûts réellement engagés par le Prestataire jusqu'à la date de résiliation pour la réalisation des Prestations y compris si certaines Prestations ne sont pas terminées,
- (iii) les coûts engagés par le Prestataire suite à la résiliation, y compris, mais sans s'y limiter, tous les frais liés à l'annulation de ses contrats de sous-traitance ou de ses contrats avec ses propres fournisseurs et les frais engagés pour toute suspension prolongée (le cas échéant), et
- (iv) un montant raisonnable pour compenser les frais administratifs et généraux du Prestataire du fait de la résiliation, qui ne sera en aucun cas inférieur à quinze (15) pour cent du prix des Prestations restant à effectuer à la date de résiliation.

En cas de résiliation du Contrat due à un événement de Force Majeure conformément à l'Article 16, le Client paiera au Prestataire les montants mentionnés aux alinéas (i), (ii) et (iii) ci-dessus et tous les autres frais raisonnables engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure et à la suspension associée.

19.4 Effets de la résiliation

La résiliation du Contrat en totalité ou en partie, pour quelque raison que ce soit, n'affectera pas les stipulations du présent article et des articles concernant la propriété intellectuelle, la confidentialité, la limitation de responsabilité, le droit applicable et le règlement des différends.

20. Répartition des risques, responsabilités

20.1 Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte-tenu de sa compétence. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution des Prestations spécifiquement confiées. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la réalisation des Prestations doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une prestation complémentaire. A défaut

de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la prestation complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir des données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des Prestations possède une représentativité limitée et donc incertaine par rapport à l'ensemble du site pour lequel elles seraient extrapolées.

20.2 Le Prestataire est responsable des dommages qu'il cause directement par l'exécution de ses Prestations, dans les conditions et limites du Contrat. A ce titre, il est responsable de ses Prestations dont la défectuosité lui est imputable. Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, la responsabilité totale et cumulée du Prestataire au titre du ou en relation avec le Contrat sera plafonnée au prix total HT du Contrat et à dix mille (10 000) euros pour tout Contrat dont le prix HT serait inférieur à ce montant, quel que soit le fondement de la responsabilité (contractuelle, délictuelle, garantie, légale ou autre). Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs et/ou non-consécutifs à un dommage matériel et ne sera pas responsable des dommages tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements, que ceux-ci soient considérés directs ou non.

20.3 Le Prestataire sera garanti et indemnisé en totalité par le Client contre tous recours, demandes, actions, procédures, recherches en responsabilité de toute nature de la part de tiers au Contrat à l'encontre du Prestataire du fait des Prestations.

21. Assurances

Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-I du Code des assurances. À ce titre et en toute hypothèse y compris pour les ouvrages non soumis à obligation d'assurance, les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire. Il est expressément convenu que le Client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Au-delà de 15 M€ HT de valeur de l'ouvrage, le Client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le Client prendra en charge toute éventuelle sur-cotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inhabituels sont exclus du contrat d'assurance en vigueur et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. A défaut de respecter ces engagements, le Client en supportera les conséquences financières. Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le Client.

22. Changement de lois

Si à tout moment après la date du devis du Prestataire au Client, une loi, un règlement, une norme ou une méthode entre en vigueur ou change, et si cela augmente le coût de réalisation des Prestations, ou si cela affecte plus généralement l'une des conditions du Contrat, tel que, mais sans que ce ne soit limitatif, le délai de réalisation ou les garanties, le prix du Contrat sera ajusté en fonction de l'augmentation des coûts subie par le Prestataire du fait de ce changement et supporté par le Client. Les autres conditions du Contrat affectées seront ajustées de bonne foi pour refléter ce/ces changement(s).

23. Interprétation, langue

En cas de contradiction ou de conflit entre les termes des différents documents composant le Contrat tel qu'indiqué en article 1, les documents prévalent l'un sur l'autre dans l'ordre dans lequel ils sont énoncés audit article 1. Sauf clause contraire spécifique dans le devis, tout rapport et/ou document objet des Prestations sera fourni en français. Les titres des articles des présentes conditions générales n'ont aucune valeur juridique ni interprétative.

24. Cessibilité de Contrat, non-renonciation

Le Contrat ne peut être cédé, en tout ou en partie, par le Client ou le Prestataire à un tiers sans le consentement exprès, écrit, préalable de l'autre Partie. La sous-traitance par le Prestataire n'est pas considérée comme une cession au titre du présent article. Le fait que le Prestataire ne se prévale pas à un moment donné de l'une quelconque des stipulations du Contrat et/ou tolère un manquement par le Client à l'une quelconque des obligations visées dans le Contrat ne peut en aucun cas être interprété comme valant renonciation par le Prestataire à se prévaloir ultérieurement de l'une quelconque desdites stipulations.

25. Divisibilité

Si une stipulation du Contrat est jugée par une autorité compétente comme nulle et inapplicable en totalité ou en partie, la validité des autres stipulations du Contrat et le reste de la stipulation en question n'en sera pas affectée. Le Client et le Prestataire remplaceront cette stipulation par une stipulation aussi proche que possible de la stipulation rendue invalide, produisant les mêmes effets juridiques que ceux initialement prévus par le Client et le Prestataire.

26. Litiges - Attribution de juridiction

LE PRÉSENT CONTRAT EST SOUMIS AU DROIT FRANÇAIS ET TOUT LITIGE RELATIF AUDIT CONTRAT (SA VALIDITE, SON INTERPRETATION, SON EXISTENCE, SA REALISATION, DEFECTUEUSE OU TOTALE, SON EXPIRATION OU SA RESILIATION NOTAMMENT) SERA SOUMIS EXCLUSIVEMENT AU DROIT FRANÇAIS. À DÉFAUT D'ACCORD AMIABLE DANS UN DELAI DE 30 JOURS SUIVANT L'ENVOI D'UNE CORRESPONDANCE FAISANT ETAT D'UN DIFFEREND, TOUT LITIGE SERA SOUMIS POUR RESOLUTION AUX JURIDICTIONS DU RESSORT DU SIEGE SOCIAL DU PRESTATAIRE QUI SONT SEULES COMPETENTES, ET AUXQUELLES LES PARTIES ATTRIBUENT COMPETENCE EXCLUSIVE, MEME EN CAS DE DEMANDE INCIDENTE OU D'APPEL EN GARANTIE OU DE PLURALITE DE DEFENDEURS. LA LANGUE DU CONTRAT ET DE TOUT REGLEMENT DES LITIGES EST LE FRANÇAIS.

NOVEMBRE 2018

ANNEXE 2 : ABREVIATIONS

Cette annexe contient 2 pages

Abréviation	Définition
ADES	Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AEP	Adduction en Eau Potable
APB	Arrêté de Protection de Biotope
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
ARS	Agence Régionale de Santé
ASTDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques de Pollutions Industrielles
BASIAS	Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL	Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS	Banque de données du Sous-Sol
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
COHV	Composés Organiques Halogénés Volatils
DIB	Déchets Industriels Banals
DICT	Déclarations d'Intention de Commencement de Travaux
DJA	Dose Journalière Admissible
DJE	Dose Journalière d'Exposition
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIEE	Direction Régionale Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie
ENS	Espaces naturels sensibles
EQRS	Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires

Abréviation	Définition
ERI	Excès de Risque Individuel de cancer
ERU	Excès de Risque Unitaire
FNADE	Fédération Nationale des Activités de Dépollution et de l'Environnement
FOD	Fioul domestique
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
INPN	Inventaire National du Patrimoine Naturel
ISDD	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDI	Installation de Stockage de Déchets Inertes
ISDND	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
JE	Johnson & Ettinger
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
LQ	Limite de Quantification
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MTÉS	Ministère de la Transition écologique et solidaire
ML	Métaux Lourds
MS	Matière Sèche
NGF	Nivellement Général de la France
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphényles
PNR	Parc Naturel Régional

Abréviation	Définition
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
QD	Quotient de Dangers
RAMSAR	Zone humide d'importance internationale
RIVM	Institut National de Santé Publique et de l'Environnement, Hollande
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIC	Site d'Importance Communautaire
SIGES	Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VTR	Valeurs Toxicologiques de Référence
ZICO	Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale
ZSC	Zone Spéciale de Conservation

ANNEXE 3 : NORMES ET METHODOLOGIE

Cette annexe contient 1 page

Méthodologie nationale des sites et sols pollués

La méthodologie retenue par FONDASOL Environnement pour la réalisation de cette étude prend en compte :

- à la Circulaire ministérielle du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués – Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, complétée en avril 2017 ;
- au référentiel de certification de service des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués dite « certification LNE SSP » du 30 mai 2011 – Révision n°7 de février 2022 ;
- les exigences de la norme NF X 31-620-1 à 5 « Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués » de décembre 2021.

Guides méthodologiques

La réalisation de cette étude s'est également appuyée sur les guides suivants :

- guide méthodologique « Elaboration des bilans coûts/avantages adaptés aux contextes de gestion des sites et sols pollués » – ADEME / UPDS – 2016 ;
- guide de l'UPDS mis à jour en avril 2016 « Pollution concentrée - Définition, outils de caractérisation et intégration dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués » ;
- guide du BRGM RP-58609-FR de 2010 « Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts bénéfiques » ;
- guide du ministère en charge de l'environnement et de la Direction Générale de la Prévention des Risques en date de janvier 2011 « Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués » ;
- guide du BRGM RP-63675-FR d'août 2014 « Guide sur les mesures constructives » ;
- guide du BRGM RP-64350-FR de 2016 intitulé « Définir une stratégie de dépollution : approche basée sur la masse de polluant et la capacité de relargage d'une pollution ».

ANNEXE 4 : TABLEAUX DES RESULTATS D'ANALYSES DISPONIBLES DANS LES DIFFERENTS MILIEUX

Cette annexe contient 6 pages

Projet				PR.69EN.21.0037-003								
Echantillons	Unité	Bruit de fond géochimique	Valeurs de références pour le plomb		S16 (0,0-1,0 m)	S16 (1,0-2,0 m)	S17 (0,0-0,6 m)	S18 (0,0-1,0 m)	S18 (1,0-2,0 m)	S19 (0,0-0,6 m)	S20 (0,0-0,6 m)	S20 (0,8-1,4 m)
Date de prélèvements			Valeur de vigilance	Valeur seuil	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
Faciès					Sables et limons graveleux beiges à gris	Limons légèrement graveleux gris à bruns	Sables limono graveleux bruns	Sables et limons graveleux marron à beige	Limons graveleux marron à gris	Sables et limons graveleux gris à marron	Sables et limons graveleux bruns à beige (remblais)	Limons légèrement sableux marron à noir (remblais)
Indice organoleptique					-	-	Pépites de charbon	-	-	-	-	Morceaux de ferraille et couleur noire
Mesure PID	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	
Paramètre												
Matière sèche	%				91,5	85,9	92,1	86,3	81,1	93,6	88,9	92,0
Métaux Lourds												
Arsenic	mg/kg Ms	25			4,0	7,0	11	4,2	6,1	5,7	5,4	200
Cadmium	mg/kg Ms	0,45			0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	<0,1	<0,1	0,7
Chrome	mg/kg Ms	90			10	28	12	11	16	16	12	16
Cuivre	mg/kg Ms	20			5,5	17	11	4,7	14	6,1	6,5	130
Mercur	mg/kg Ms	0,1			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,12
Nickel	mg/kg Ms	60			8,3	27	9,5	8,9	9,2	11	9,7	19
Plomb	mg/kg Ms	50	100	300	7,6	27	19	5,9	45	8,5	14	580
Zinc	mg/kg Ms	100			20	94	36	13	46	19	28	190
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)												
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms				<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,2-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
1,2-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
cis-1,2-Dichloroéthène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
1,1-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BTEX												
Benzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
o-Xylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Somme Xylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme BTEX	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hydrocarbures Volatils												
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aromatique >C6-C8	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction C5-C10	mg/kg Ms				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Fraction >C8-C10	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hydrocarbures Totaux												
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms				<20,0	80,6	<20,0	29,3	<20,0	<20,0	30,8	130
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Fraction C12-C16	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				<2,0	18,4	2,3	<2,0	<2,0	<2,0	2,6	10,3
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				<2,0	23,6	2,3	<2,0	<2,0	<2,0	2,6	11,4
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				<2,0	15,1	4,3	3,6	<2,0	<2,0	4,6	18,7
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				2,4	10	4,7	6,6	<2,0	<2,0	6,7	30
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				3,6	5,7	3,7	11,8	<2,0	<2,0	8,5	42,1
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				3,0	<2,0	<2,0	4,9	<2,0	<2,0	5,6	17,6
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)												
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Acénaphthène	mg/kg Ms				<0,050	0,11	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Fluorène	mg/kg Ms				<0,050	0,066	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Pyrène	mg/kg Ms				<0,050	5,1	0,15	<0,050	0,10	0,12	0,34	1,5
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	2,3	0,083	<0,050	<0,050	<0,050	0,17	1,3
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	0,23	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,17
Anthracène	mg/kg Ms				<0,050	0,24	0,11	<0,050	<0,050	<0,050	0,088	0,092
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	2,7	0,10	<0,050	0,064	0,057	0,19	0,99
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms				<0,050	2,3	0,11	<0,050	<0,050	0,061	0,20	1,4
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg Ms				<0,050	1,3	0,061	<0,050	<0,050	<0,050	0,16	0,97
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	1,2	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,096	0,66
Chrysené	mg/kg Ms				<0,050	2,4	0,10	<0,050	<0,050	<0,050	0,21	0,86
Fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	6,3	0,12	<0,050	0,10	0,13	0,33	1,4
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms				<0,050	1,4	0,067	<0,050	<0,050	<0,050	0,15	0,87
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15			<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,075
Phénanthrène	mg/kg Ms				<0,050	1,4	0,11	<0,050	0,083	0,14	0,30	0,46
Somme HAP (6)	mg/kg Ms				n.d.	14,8	0,441	n.d.	0,100	0,191	1,11	6,60
Somme HAP (VROM)	mg/kg Ms				n.d.	19,2	0,778	n.d.	0,247	0,388	1,72	7,78
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms	14,7			n.d.	27,0	1,01	n.d.	0,347	0,508	2,23	10,7
PCB												
PCB (28)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB (52)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB (101)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB (118)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB (138)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCB (153)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCB (180)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Somme PCB (7)	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0040

Projet		PR.69EN.22.0018-003												
Echantillons	Unité	Bruit de fond géochimique	Valeurs de références pour le plomb		S31 (0,0-0,3 m)	S31 (0,3-0,5 m)	S31 (0,5-0,7 m)	S31 (0,7-1,0 m)	S31 (1,0-2,0 m)	S31 (2,0-3,0 m)	S31 (3,0-4,0 m)	S32 (0,0-0,5 m)	S32 (0,5-1,0 m)	S32 (1,0-2,0 m)
			Valeur de vigilance	Valeur seuil	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022
Facies					Couche de forme graveleuse sableuse marron	Sable graveleux brun à marron et Argile sableuse avec grave ocre	Sable graveleux brun à marron et Argile sableuse avec grave ocre	Sable graveleux beige	Sable graveleux marron	Sable limoneux marron avec grave	Limon argilo-sableux gris foncé humide	Couche de forme graveleuse sableuse brune	Limon graveleuse sableuse marron foncé à noirâtre	Sable limoneux beige avec grave
Indice organoleptique					Débris d'enrobé	-	-	-	-	-	-	Débris d'enrobé	Couleur noire	-
Mesure PID					0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
Paramètre														
Matière sèche	%				95,3	95,1	86,1	93,5	92,9	88,7	81,4	95,6	87,8	92,3
Métaux Lourds														
Arsenic	mg/kg Ms	25			3,3	3,9	6,9	2,6	4,0	7,3	8,9	4,7	20	4,1
Cadmium	mg/kg Ms	0,45			<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	0,2	0,7	0,1	0,6	0,2
Chrome	mg/kg Ms	90			8,7	8,9	25	12	14	14	16	11	22	13
Cuivre	mg/kg Ms	20			3,9	4,5	20	4,4	7,3	7,1	25	6,1	43	7,2
Mercurure	mg/kg Ms	0,1			<0,05	0,13	0,06	0,05	0,05	<0,05	0,42	0,06	0,26	0,10
Nickel	mg/kg Ms	60			7,0	7,1	32	6,1	6,8	9,0	12	8,8	18	6,8
Plomb	mg/kg Ms	50	100	300	4,0	8,2	40	8,8	20	17	83	14	300	17
Zinc	mg/kg Ms	100			8,0	12	94	17	30	30	140	23	340	29
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)														
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms				<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,2-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
1,2-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
cis-1,2-Dichloroéthène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
1,1-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BTEX														
Benzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05
Toluène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
o-Xylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Somme Xylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme BTEX	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hydrocarbures Volatils														
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg Ms				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Fraction aromatique >C6-C8	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	0,46	<0,40
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction C5-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,46	<0,20
Fraction >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	0,31	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Hydrocarbures Totaux														
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms				<20,0	<20,0	130	<20,0	<20,0	26,0	170	<20,0	650	<20,0
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	53,0	<4,0
Fraction C12-C16	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	23,8	<4,0	<4,0	<4,0	12,9	<4,0	230	<4,0
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				<2,0	2,4	36,0	4,6	3,6	6,2	26,5	<2,0	170	4,2
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				<2,0	<2,0	16,1	3,0	<2,0	3,7	30,2	<2,0	49,9	3,1
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				<2,0	2,6	17,9	2,4	2,3	3,2	32,8	<2,0	41,8	2,8
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				<2,0	2,5	16	2,4	2,5	3,3	32	<2,0	49	2,4
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				<2,0	2,2	12,0	<2,0	<2,0	2,3	21,0	<2,0	40,7	<2,0
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				<2,0	<2,0	3,4	<2,0	<2,0	<2,0	7,5	<2,0	11,0	<2,0
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)														
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Acénaphthène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Fluorène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Pyrrène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,33	<0,050	0,096	0,23	0,34	0,067	1,3	0,46
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,20	<0,050	0,061	0,16	0,22	<0,050	0,67	0,27
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,064	<0,050
Anthracène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,16	<0,050
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,17	<0,050	<0,050	0,19	0,16	<0,050	0,55	0,24
Benzo(a)pyrrène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,21	<0,050	0,062	0,19	0,22	<0,050	0,57	0,24
Benzo(g,h,i)pyrrène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,15	<0,050	<0,050	0,15	0,15	<0,050	0,47	0,15
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,095	<0,050	<0,050	0,072	0,11	<0,050	0,31	0,13
Chrysène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,27	<0,050	0,062	0,18	0,29	<0,050	0,73	0,24
Fluoranthène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,34	<0,050	0,13	0,33	0,33	0,072	1,1	0,56
Indéno(1,2,3-cd)pyrrène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,17	<0,050	<0,050	0,11	0,17	<0,050	0,49	0,16
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15			<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,059	<0,050	<0,050	0,13	<0,050
Phénanthrène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	0,20	<0,050	0,081	0,21	0,11	<0,050	0,52	0,20
Somme HAP (6)	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	1,17	n.d.	0,253	1,01	1,20	0,0720	3,61	1,51
Somme HAP (VROM)	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	1,61	n.d.	0,335	1,56	1,54	0,0720	5,03	1,92
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	2,14	n.d.	0,492	1,95	2,10	0,139	7,06	2,65
PCB														
PCB (28)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PCB (52)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002
PCB (101)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	0,002	0,004
PCB (118)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,002	0,005
PCB (138)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,034	<0,001	0,003	0,004
PCB (153)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,033	<0,001	0,002	

Projet		PR.69EN.22.0018-003												
Echantillons	Unité	Bruit de fond géochimique	Valeurs de références pour le plomb		S32 (2,0-2,7 m)	S33 (0,05-0,40 m)	S33 (0,40-0,60 m)	S33 (0,60-1,70 m)	S33 (1,70-2,00 m)	S33 (3,70-4,00 m)	S34 (0,05-0,45 m)	S34 (0,45-1,70 m)	S34 (1,70-2,00 m)	S34 (3,20-4,00 m)
			Valeur de vigilance	Valeur seuil	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022	13.04.2022
Facès					Limons argilo-sableux beige à brun	Couche de forme gravo-sableuse marron	Limons gravo-sableux brun à marron	Sable limoneux beige avec grave	Limons gravo-sableux beige à marron	Limons sableux noir avec saturation en eau	Couche de forme gravo-sableuse marron (Remblais)	Argile gravo-sableuse marron foncé à gris (Remblais)	Limons gravo-sableux gris (Remblais)	Argile gravo-sableuse noire avec saturation en eau
Indice organoleptique					-	-	-	-	-	Couleur noire	-	Débris de briques	Débris de briques	Couleur noire
Mesure PID					0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
Paramètre														
Matière sèche	%				85,7	95,0	84,3	94,2	88,9	76,5	90,5	86,3	88,7	81,4
Métaux Lourds														
Arsenic	mg/kg Ms	25			17	4,2	5,3	4,0	3,3	20	4,0	7,2	8,0	9,8
Cadmium	mg/kg Ms	0,45			0,4	<0,1	0,2	0,2	0,2	4,0	0,1	0,3	0,4	0,8
Chrome	mg/kg Ms	90			16	11	23	16	10	21	9,3	29	17	21
Cuivre	mg/kg Ms	20			22	4,5	14	6,1	6,4	100	4,5	22	22	27
Mercurure	mg/kg Ms	0,1			0,96	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,19	<0,05	0,06	0,42	0,65
Nickel	mg/kg Ms	60			7,5	7,9	20	7,5	5,4	14	7,0	24	13	16
Plomb	mg/kg Ms	50	100	300	110	5,3	23	7,5	11	200	7,1	27	65	53
Zinc	mg/kg Ms	100			67	12	65	24	24	520	15	74	98	140
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)														
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms				<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachlorométhane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tétrachloroéthylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,2-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
1,2-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
cis-1,2-Dichloroéthène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
1,1-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BTEX														
Benzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
o-Xylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Somme Xylènes	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme BTEX	mg/kg Ms				n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hydrocarbures Volatils														
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg Ms				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,6
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	0,45
Fraction aromatique >C6-C8	mg/kg Ms				<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	2,1
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,45
Fraction C5-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	1,8
Fraction >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,31
Hydrocarbures Totaux														
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms				<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	2000	<20,0	<20,0	68,2	480
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	9,6
Fraction C12-C16	mg/kg Ms				<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	60,4	<4,0	<4,0	<4,0	70,6
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				4,0	<2,0	2,6	<2,0	<2,0	260	<2,0	<2,0	10,8	40,8
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	410	<2,0	2,5	14,2	83,8
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				<2,0	<2,0	<2,0	2,3	<2,0	430	3,1	3,0	13,9	92,5
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				2,3	3,2	<2,0	2,9	<2,0	390	4,4	2,7	12	93
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				<2,0	5,7	<2,0	2,4	<2,0	260	3,3	<2,0	9,1	64,1
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				<2,0	2,5	<2,0	<2,0	<2,0	98,2	<2,0	<2,0	3,8	23,5
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)														
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Acénaphthène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,088	<0,050	<0,050	0,14	<0,050
Fluorène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,10	<0,050	<0,050	0,12	0,079
Pyrrène	mg/kg Ms				0,27	<0,050	0,18	0,23	<0,050	3,0	0,070	0,31	2,9	1,4
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				0,26	<0,050	0,10	0,17	<0,050	2,0	0,062	0,25	1,7	0,86
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,21	<0,050	<0,050	0,21	0,11
Anthracène	mg/kg Ms				<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,31	<0,050	<0,050	0,26	0,12
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				0,15	<0,050	0,11	0,15	<0,050	1,3	<0,050	0,20	1,9	0,80
Benzo(a)pyrrène	mg/kg Ms				0,16	<0,050	0,11	0,15	<0,050	1,8	0,063	0,20	1,8	0,93
Benzo(g,h,i)perylène	mg/kg Ms				0,13	<0,050	0,076	0,14	<0,050	1,6	<0,050	0,16	1,2	0,55
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				0,096	<0,050	<0,050	0,080	<0,050	0,98	<0,050	0,11	0,91	0,44
Chrysène	mg/kg Ms				0,15	<0,050	0,10	0,17	<0,050	1,8	<0,050	0,19	2,1	0,97
Fluoranthène	mg/kg Ms				0,36	<0,050	0,18	0,24	<0,050	2,9	<0,050	0,32	3,8	1,6
Indéno(1,2,3-cd)pyrrène	mg/kg Ms				0,14	<0,050	0,059	0,15	<0,050	1,6	0,061	0,16	1,5	0,76
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15			<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,21	<0,050	<0,050	0,12	0,16
Phénanthrène	mg/kg Ms				0,13	<0,050	0,093	0,14	<0,050	1,1	<0,050	0,13	1,7	0,77
Somme HAP (6)	mg/kg Ms				1,15	n.d.	0,525	0,930	n.d.	10,9	0,186	1,20	10,9	5,14
Somme HAP (VROM)	mg/kg Ms				1,32	n.d.	0,728	1,22	n.d.	13,6	0,124	1,47	15,3	7,10
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms	14,7			1,85	n.d.	1,01	1,62	n.d.	19,0	0,256	2,03	20,4	9,55
PCB														
PCB (28)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,010
PCB (52)	mg/kg Ms				0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,022
PCB (101)	mg/kg Ms				0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	0,064
PCB (118)	mg/kg Ms				0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,041	<0,001	<0,001	<0,001	0,068
PCB (138)	mg/kg Ms				0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,042	<0,001	<0,001	<0,001	0,053
PCB (153)	mg/kg Ms				0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,031	<0,001	<0,001	<0,001	0,039
PCB (180)	mg/kg Ms	</												

Echantillons					S32 (0,5-1,0 m)	S33 (0,60-1,70 m)
Date de prélèvements					13.04.2022	13.04.2022
Faciès	Unité	Seuils ISDD - Décision CE 19/12/2002 (1)	Seuils ISDND - Décision CE 19/12/2002 (1)	Seuils ISDI - Arrêté du 12/12/2014 (2)	Limon gravelo- sableuse marron foncé à noirâtre	Sable limoneux beige avec grave
Indice organoleptique					Couleur noire	-
Paramètres						
Analyses sur brut						
Matière sèche	%	30	30		87,8	94,2
COT Carbone Organique Total	mg/kg Ms	60 000	50 000	30 000	27000	<1000
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)						
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms	500	100	50	7,06	1,62
BTEX						
Somme BTEX	mg/kg Ms		30	6	n.d.	n.d.
Hydrocarbures Totaux						
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms	10 000	2 000	500	650	<20,0
PCB						
Somme PCB (7)	mg/kg Ms	50	10	1	0,011	n.d.
Analyses sur éluat						
Métaux Lourds						
Antimoine	mg/kg Ms	5	0.7	0.06	0,13	0 - 0,05
Arsenic	mg/kg Ms	25	2	0.5	0 - 0,05	0 - 0,05
Baryum	mg/kg Ms	300	100	20	0,41	0 - 0,1
Cadmium	mg/kg Ms	5	1	0.04	0 - 0,001	0 - 0,001
Chrome	mg/kg Ms	70	10	0.5	0 - 0,02	0 - 0,02
Cuivre	mg/kg Ms	100	50	2	0,05	0 - 0,02
Mercure	mg/kg Ms	2	0.2	0.01	0 - 0,0003	0 - 0,0003
Molybdène	mg/kg Ms	30	10	0.5	0,47	0 - 0,05
Nickel	mg/kg Ms	40	10	0.4	0 - 0,05	0 - 0,05
Plomb	mg/kg Ms	50	10	0.5	0 - 0,05	0 - 0,05
Sélénium	mg/kg Ms	7	0.5	0.1	0 - 0,05	0 - 0,05
Zinc	mg/kg Ms	200	50	4	0,13	0 - 0,02
Balance ionique						
pH		entre 5 et 13			7,9	9,1
COT	mg/kg Ms	1 000	800	500	29	0 - 10
Fraction soluble	mg/kg Ms	100 000	60 000	4 000	5800	0 - 1000
Chlorures	mg/kg Ms	25 000	1 500	800	120	22
Fluorures	mg/kg Ms	500	150	10	7,0	3,0
Sulfates	mg/kg Ms	50 000	20 000	1 000	3200	87
Indice phénol	mg/kg Ms	100	50	1	0 - 0,1	0 - 0,1
Filière de prise en charge recommandé					ISDND	ISDI

Echantillons		Seuil R1	Seuil R2	Seuil R3	PAI1	PAI2	Concentration estimée dans l'air ambiant
Paramètre	Unité				14/04/2022		
Métaux							
Mercure	µg/m ³	0.03	0.2	-	0.007	0	
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)							
I, I -Dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	<2.3	<2.41	-
Chlorure de Vinyle	µg/m ³	2.6	26	1 300	<2.3	<2.41	-
Dichlorométhane	µg/m ³	10	100	2100	<5.75	<6.02	-
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/m ³	-	-	-	<4.6	<4.82	-
I, I -Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<4.6	<4.82	-
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/m ³	60	600	-	<4.6	<4.82	-
Trichlorométhane (chloroforme)	µg/m ³	63	150	150	<4.6	<4.82	-
I,2-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<4.6	<4.82	-
I, I, I -Trichloroéthane	µg/m ³	1 000	5 000	5 500	<4.6	<4.82	-
Tétrachlorométhane	µg/m ³	110	190	1900	<4.6	<4.82	-
Trichloroéthylène	µg/m ³	10	50	3 200	32.18	<1.2	1.609
I, I,2-Trichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<4.6	<4.82	-
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	250	1 250	1 380	<4.6	<4.82	-
BTEX							
Benzène	µg/m ³	2	10	30	8.51	<1.2	0.43
Toluène	µg/m ³	20 000	21 000	21 000	9.89	<2.41	-
Ethylbenzène	µg/m ³	1 500	15 000	22 000	<2.3	<2.41	-
m,p-Xylène	µg/m ³	-	-	-	3.22	<2.41	-
o-Xylène	µg/m ³	-	-	-	<2.3	<2.41	-
Somme des Xylènes	µg/m ³	100	1 000	8 800	3.22	<2.41	-
Hydrocarbures aliphatiques							
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	µg/m ³	18 000	180 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	µg/m ³	18 000	180 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	µg/m ³	1 000	10 000	-	252.87	<48.19	-
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	µg/m ³	1 000	10 000	-	144.83	<48.19	-
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	µg/m ³	1 000	10 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures aromatiques							
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	µg/m ³	-	-	-	8.51	<1.2	-
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	µg/m ³	-	-	-	9.89	<2.41	-
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	µg/m ³	200	2 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	µg/m ³	200	2 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	µg/m ³	200	2 000	-	<45.98	<48.19	-
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)							
Naphtalène	µg/m ³	10	50	-	<2.3	<2.41	-

ANNEXE 5 : MATRICE DE POLLUANTS / TECHNIQUES POSSIBLES DE DEPOLLUTION

Cette annexe contient 3 pages

Matrice de possibilité de dépollution

Tableaux extraits de la norme NFX31-620-4

Tableau B.1 — Matrice de possibilité de dépollution pour les polluants organiques et inorganiques (adapté de [5]) (1 sur 2)

Code	Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	Polluants organiques							Polluants inorganiques		
			COV	Hydrocarbures halogénés	Hydrocarbures non halogénés	HAP	PCB	Dioxines et furannes	Pesticides et herbicides	Métaux lourds	Non métaux	Cyanures
Confinement												
C312a	Confinement - couverture	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C312c	Confinement hydraulique	E	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C312b	Confinement vertical	S, E	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Procédés biologiques												
C325b	Biotertre	S	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
C315b	<i>Bioventing</i>	S	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
C315c	<i>Biosparging</i>	S, E	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
C325d	<i>Landfarming</i>	S	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
C325a	Bioréacteur	S	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+
C325c	Compostage	S	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Procédés chimiques												
C313b	Oxydation chimique	S, E	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-
C323b	Oxydation et réduction chimique	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C313a	Lavage chimique	S	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
C323a	Extraction par solvants	S	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Tableau B.1 — Matrice de possibilité de dépollution pour les polluants organiques et inorganiques (adapté de [5]) (2 sur 2)

Code	Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	Polluants organiques							Polluants inorganiques		
			COV	Hydrocarbures halogénés	Hydrocarbures non halogénés	HAP	PCB	Dioxines et furannes	Pesticides et herbicides	Métaux lourds	Non métaux	Cyanures
Procédés physiques												
C311b	Extraction multiphase	S, E	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
C311c	Barbotage/ <i>Sparging</i>	E	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
C311a	<i>Venting</i>	S	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
C316a	Barrière perméable réactive	E	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C321c	Lavage	S	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Procédés de solidification et de stabilisation												
C312d/ C322b	Solidification/ Stabilisation	S	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
Procédés thermiques												
C324a	Incinération	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C324b	Désorption thermique	S	+	+	+	+	+	-	+	Hg	-	+
+ : envisageable ; - : non envisageable ; - : non envisageable ; S : sols, sédiments et boues ; E : eaux souterraines, eaux superficielles et lixiviats												

Avantages/inconvénients des différentes méthodes de traitement

	traitement in situ	traitement sur site	traitement ex situ
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - aucun transport - coût (0 excavation, 0 transport) 	<ul style="list-style-type: none"> - aucun transport - contrôle qualité du traitement - flexibilité dans les traitements - - absence de risque de dispersion des polluants (poussières, polluants gazeux et liquides) lors du transfert 	<ul style="list-style-type: none"> - intégralité pollution enlevée - contrôle qualité du traitement - simple à mettre en œuvre - rapidité d'exécution - - utile en cas de sites exigus et/ou en activité
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - suivi dépollution difficile - rayon d'action difficile à déterminer - durée des traitements - action ciblée et restreinte (polluants volatils ou solubles dans l'eau) - - dépendant des caractéristiques du terrain (nature, structure, porosité, perméabilité, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - obtention d'autorisation - - durée des traitements 	<ul style="list-style-type: none"> - coûts (excavation, transport et traitement) - distance/acceptabilité du centre acceptant le polluant - capacité des unités de traitement - contraintes opérationnelles (camions bâchés, nettoyage...) - - contraintes sécuritaires (contrôle en dehors du site contaminé)

Traitements physiques – choix des critères

Traitement	Pompage traitement	Pompage écrémage	Extraction multiphase
Polluants	HCT phase dissoute, CrVI+	HCT phase pure	HCT phase dissoute et pure
Sol	Très perméable	Très perméable	Moyennement à faiblement perméable
Coût	Faible (installation)	Moyen (installation)	Elevé (installation)
Efficacité	Variable	Variable	Bonne
Durée	Faible / année	Faible / année	Fort : quelques mois
Risques (sécurité)	Aucun	Aucun	Aucun
Image	Simple et éprouvé	Simple et éprouvé	High Tech
Contraintes liées au site	Accès foreuse	Accès foreuse	Passage réseaux
Autres	A proscrire sur les chlorés	Problèmes de réception	Maintenance monitoring

Traitements chimiques – choix des critères

Traitement	Barrière perméable	Oxydation in situ
Polluants	COHV	COHV
Sol	Très peu perméable	Perméable
Coût	Elevé (installation)	Modéré
Efficacité	Excellente	Variable
Durée	Installation fixe	Variable
Risques (sécurité)	Aucun	Modérés à élevés
Image	Bonne	Bonne
Contraintes liées au site	Place	Localisation DNAPL
Autres	Risque de colmatage	

Traitements biologiques – choix des critères

Traitement	Bioventing	Biotertres ventilés	Andain	Landfarming
Polluants	HC, BTEX, HAP	HC, BTEX, HAP	HC, BTEX, HAP	HC, BTEX, HAP
Sol	Perméable	Perméable	Sans spécificité	Sans spécificité
Coût	Modéré	Modéré	Modéré	Très modéré
Efficacité	Variable	Bonne	Excellente	Excellente
Durée	6-12 mois	2-6 mois	2-6 mois	2-6 mois
Risques (sécurité)	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Image	Bonne	Bonne	Bonne	Passable
Contraintes liées au site	-	-	place	Place
Autres		Aération non homogène	Apport de nutriments aisé	Apport de nutriments aisé

ANNEXE 6 : SELECTION DES VTR

Démarche nationale pour le choix des VTR

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont recherchées parmi les 8 bases de données nationales et internationales suivantes :

- **Anses** (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail),
- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency – Etat Unis) dont dépend la base de données **IRIS** – Integrated Risk Information System),
- **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Etats-Unis),
- **OMS** (Organisation Mondiale de la Santé – Bureau régional de l'Europe).

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques.

Mais aussi :

- **Health Canada = Santé canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),
- **RIVM** (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),
- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis),
- **EFSA** (European Food Safety Authority).

La méthodologie proposée par la circulaire DGS du 31 octobre 2014 et utilisée dans la présente étude pour la sélection des VTR est sur la Figure 29 ci-après.

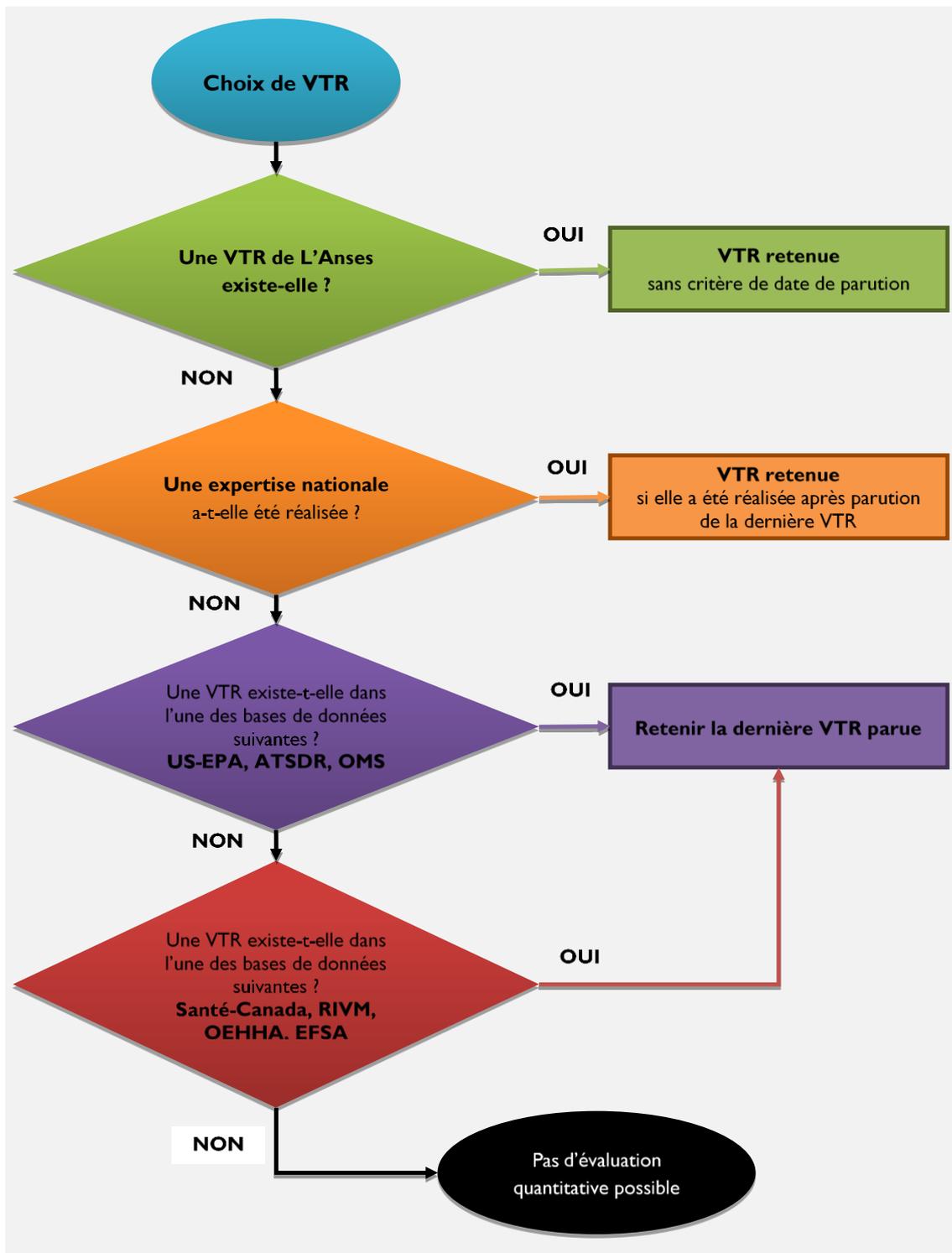


Figure 29 : Logigramme de sélection des VTR

Identification des dangers

Lors de l'identification du potentiel dangereux d'une substance, on vérifiera si la substance provoque :

- des effets cancérogènes (apparition de tumeurs) ;
- des effets systémiques (effets sur l'organisme se produisant à distance par rapport au point d'introduction) et le cas échéant lesquels ;

- des effets mutagènes (modification de l'ADN en particulier) ;
- des effets sur la reproduction (reprotoxicité) et sur le développement.

Concernant les substances considérées comme cancérogènes, il convient de les classer selon le degré de certitude associé à leur éventuel pouvoir cancérogène. Cette classification est effectuée par des organismes nationaux ou internationaux dont la Communauté Européenne, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US EPA) (Annexe 3).

Dans l'évaluation du rapport dose-réponse, deux approches existent :

- l'une où l'on parle d'effets à seuil (effets pour lesquels une dose ou concentration, à partir de laquelle un effet néfaste se manifeste, peut être déterminée) ;
- l'autre où l'on considère qu'il n'existe pas de seuil d'effet.

Tous les modes d'exposition sont traités en **effets chroniques**, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

Types d'effets distingués

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne (UE) et l'US-EPA) ont défini plusieurs classes des différents effets. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Tableau 31 : Classification en termes de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
CIA : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré CIB : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	A : Preuves suffisantes chez l'homme	I : Agent cancérogène pour l'homme
C2 : Substance suspectée d'être cancérogène pour l'homme	B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	2A : Agent probablement cancérogène pour l'homme
Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	2B : Agent peut-être cancérogène pour l'homme
	D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal	3 : Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent probablement non cancérogène chez l'homme -

	E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	
--	--	--

Tableau 32 : Classification en termes de mutagénicité (UE)

M1A : substances dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée.
M1B : substances dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est supposée.
M2 : Substances préoccupantes du fait qu'elles pourraient induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains

Tableau 33 : Classification en termes d'effets toxiques pour la reproduction (UE)

RIA : Substances dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée.
R1B : Substances présumées toxiques pour la reproduction humaine.
R2 : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine.

Cas des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Pour les effets cancérogènes

- Pour une exposition par voie orale à un mélange d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, l'INERIS propose d'utiliser l'approche substance par substance par le biais d'un **Facteur d'Equivalent Toxique (FET)**, car malgré les inconvénients que présente cette approche, elle est standardisée et permet d'évaluer le risque induit par tous les types de mélanges.

De plus, l'approche par mélanges (approche par comparaison des potentiels toxiques des mélanges analogues et utilisation du benzo[a]pyrène comme indicateur d'un mélange) a été essentiellement élaborée dans le cas d'une exposition par inhalation.

- Pour une exposition par inhalation à un mélange d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, l'INERIS conseille de prendre en compte le seul Excès de Risque Unitaire (ERUi) spécifique du benzo[a]pyrène et de lui appliquer les FET.

Dans le cas où une analyse du mélange de HAPs est réalisée et que le profil de ce mélange est similaire à celui de l'étude critique retenue par l'OMS, il est plus approprié de retenir, sans application des FET, la valeur de $8,7 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ proposée par l'OMS (le benzo[a]pyrène est alors considéré comme un indicateur d'un mélange de HAPs issu de cokeries). Cependant, ce cas est rarement rencontré en raison de la forte variabilité de la composition des mélanges en HAPs, même issus d'émissions de cokeries.

Enfin, il convient de remarquer que compte tenu des incertitudes liées à l'établissement de ces valeurs, la valeur de l'OMS ($8,7 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$) n'est pas significativement différente de celle proposée par l'OEHHHA ($1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$).

- En ce qui concerne le choix parmi les différentes tables de FET actuellement disponibles, l'INERIS propose d'utiliser celle établie par Nisbet et LaGoy en 1992 en attribuant au dibenzo[a,h]anthracène un FET de 1 au lieu de 5.

Composé	Nisbet et Lagoy (1992)	US-EPA (1993)	Proposition INERIS
Acénaphène	0.001	nr	0.001
Acénaphylène	0.001	nr	0.001
Anthracène	0.01	nr	0.01
Benzo(a)anthracène	0.1	0.1	0.1
Benzo(a)pyrène	1	1	1
benzo(b)fluoranthène	0.1	0.1	0.1
benzo(k)fluoranthène	0.1	0.01	0.1
benzo(g,h,i) pérylène	0.01	nr	0.01
Chrysène	0.01	0.001	0.01
Dibenzo(a,h)anthracène	5	1	1
Fluoranthène	0.001	nr	0.001
Fluorène	0.001	nr	0.001
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0.1	0.1	0.1
Naphtalène	0.001	nr	0.001
Phénanthrène	0.001	nr	0.001
Pyrène	0.001	nr	0.001

Voie inhalation, risques toxiques, non cancérigènes

Tableau 34 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet à seuil)

Dénomination	Numéro CAS	DJT Inhalation en mg/m ³		Année	Nom source d'information	Commentaire	Valeur retenue	Etude portant sur	Facteur d'incertitude	Organe cible
		Valeur adultes	Valeur Enfants							
Métaux et métalloïdes										
Mercure	7439-97-6	0.00003	0.00003	2008	OEHHA	Mercure élémentaire, choix INERIS 2020	oui	homme	300	Système nerveux
		0.0003	0.0003	1995	US-EPA	Mercure élémentaire		homme	30	Neurotoxicité (homme)
		0.0002	0.0002	1999	ATSDR	Mercure élémentaire		homme	30	Neurotoxicité (homme)
		0.0002	0.0002	2001	RIVM	Mercure élémentaire		homme	30	Neurotoxicité (homme)
		0.0002	0.0002	2003	OMS	Mercure élémentaire		homme	30	Neurotoxicité (homme)
Hydrocarbures aliphatiques										
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8	18.4	18.4	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	valeur retenue pour établissements sensibles	oui		100	Neurotoxicité
		18.4	18.4	1999	RIVM					Neurotoxicité
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10	I	I	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	valeur retenue pour établissements sensibles	oui		1000	Modifications hépatiques et hématologiques
		I	I	1999	RIVM					Modifications hépatiques et hématologiques
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12	I	I	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	valeur retenue pour établissements sensibles	oui		1000	Modifications hépatiques et hématologiques
		I	I	1999	RIVM					Modifications hépatiques et hématologiques
Hydrocarbures aromatiques										
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16	0.2	0.2	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	valeur retenue pour établissements sensibles	oui		1000	Diminution pondérale
		0.2	0.2	1999	RIVM					Diminution pondérale
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
Naphtalène	91-20-3	0.037	0.037	2013	Anses	choix INERIS , retenue ANSES 2021	oui	rats	250	système respiratoire et olfactif
		0.003	0.003	1998	US-EPA			souris	3000	Toxicité appareil respiratoire supérieur
		0.009	0.009	2003	OEHHA			souris	1000	Toxicité respiratoire (souris)

Voie inhalation, risques cancérigènes

Tableau 35 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet sans seuil)

Dénomination	Numéro CAS	ERU Inhalation en (mg/m ³) ⁻¹		Année	Nom source d'information	Commentaire	Valeur retenue	Etude portant sur	Classification UE	Classification IARC	Classification US-EPA
		Valeur adultes	Valeur Enfants								
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)											
Naphtalène	91-20-3	0.0056	0.0056	2013	Anses	Retenu Anses 2021	oui	rats	C2	2B	C
		0.01	0.01	2012	HCSP (VGAI)						
		0.0011	0.0011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	selon OEHHA					
		0.034	0.034	2009	OEHHA			rats			



ANNEXE 7 : PARAMETRES PHYSICO- CHIMIQUES DES SUBSTANCES

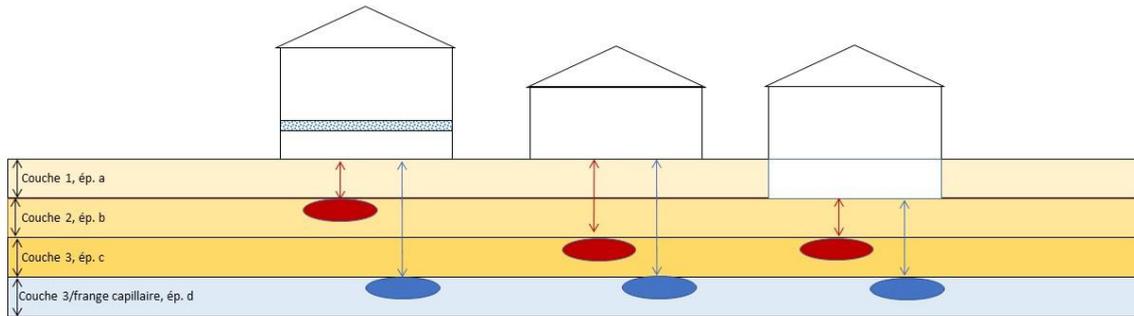
Tableau 36 : Propriétés physico-chimiques des substances

Mise à jour : 05/2021

Impression Bibliothèque	Dénomination	N° CAS	Solubilité dans l'eau		coefficient de partage carbone organique/eau		Constante de Henry à température ambiante				Coefficient de diffusion dans l'air	Coefficient de diffusion dans l'eau
	Symbole		S	Solubilité	Koc	logKoc	H'	T _R	H	H_Ta	D _{air}	D _{eau}
	Unité		(mg/L)		(l/Kg)	/	(unitless)	(°C)	(atm·m ³ /mol)	(Pa·m ³ /mol)	(cm ² /s)	(cm ² /s)
Sources d'informations consultées :		drc-15-149181-04282a			=10 ^{logKoc}	=logKoc						
	calcul théorique	MODULERS										
	INERIS	Verschueren		++ S> 100 mg/L								
	INERIS à 20 °C	RAIS		+ 100 mg/L > S > 1 mg/L								
	INERIS à 25 °C	ATSDR		- : 1 mg/L > S > 0,01 mg/L								
	INRS	HSDB		-- : S < 0,01 mg/L								
	INRS à 20°C	Soil Screening Guidance										
	INRS à 25°C	HHRAP										
	TPH working Group (1997-07)	EPI Suite										
<input type="checkbox"/> Prévisions de concentrations dans l'air ambiant Date de Mise à jour												
			Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022
Substances (Dénomination int)												
	Mercuré	7439-97-6	0.0567	-	21 250	4.3	2.99E-01	20.00	7.20E-03	729.36	0.0307	6.30E-06
Hydrocarbures aliphatiques												
	Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8	5.40	+	3.98E+03	3.60	5.00E+01				1.00E-01	1.00E-05
	Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10	0.43	-	3.16E+04	4.50	8.00E+01				1.00E-01	1.00E-05
	Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12	3.40E-02	-	2.51E+05	5.40	1.20E+02				1.00E-01	1.00E-05
Hydrocarbures aromatiques												
	Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16	5.80	+	5.01E+03	3.70	5.30E-02				1.00E-01	1.00E-05
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)												
	Naphtalène	91-20-3	31.8	+	1250	3.1	1.97E-02	25	4.83E-04	48.9	5.40E-02	7.20E-06

ANNEXE 8 : ESTIMATION DES CONCENTRATIONS DANS LES DIFFERENTS MILIEUX

DETERMINATION DE LA PROFONDEUR DE LA SOURCE



Aménagement	Vide sanitaire	Plain pied	Sous-sol
	Profondeur de la pollution		
Source sols	a	a+b	b
Source nappe	a+b+c	a+b+c	b+c

CONCENTRATION DANS L'AIR EXTERIEUR

Les formules sont issues du « Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Elles correspondent principalement à l'équation CM-3a du modèle RBCA, scindée en 2 pour la clarté des justifications.

Le point d'exposition est l'atmosphère de surface. La concentration au point d'exposition à partir de la source s'obtient par la formule suivante :

$$C_{\text{air ambiant}} = FA * C_{\text{air sol}} \text{ [Equation 1]}$$

où : $C_{\text{air ambiant}}$: concentration dans l'air ambiant (mg/m³)

FA : facteur d'atténuation de la concentration entre l'air du sol et l'air ambiant (-) (cf. équation 2)

$C_{\text{air sol}}$: concentration dans l'air du sol (mg/m³) (cf. équations 8, 9 et 10)

Le coefficient FA s'exprime de la manière suivante :

$$FA = \frac{1}{1 + \frac{vit_v \times h_mel}{long_zp} \times \left(\frac{Ls}{Def f-sol} + \frac{h-couv}{Def f-couv} \right)} \quad \text{[Equation 2]}$$

où :

vit_v :	vitesse du vent (m/s)
h_mel :	hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant (m)
Ls :	profondeur de la source (m)
Def f_sol :	coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m ² /s) (cf. équations 3 à 7)
long_zp :	longueur de la zone d'émission c'est-à-dire la longueur de la zone polluée (m)
h-couv :	épaisseur de la couverture (m)
Def f_couv :	coefficient de diffusion effectif équivalent de la couverture (m ² /s) (cf. équations 3 à 6)

Calcul des coefficients de diffusion effectifs

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective, D_{sa} dans l'air et D_w dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{eff} = D_{sa} + D_w$$

avec

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \tau_{air}^{-1} \quad \text{[Equation 3]}$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \theta_{eau} \times \tau_{eau}^{-1} \quad \text{[Equation 4]}$$

avec $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / n^2 \quad \text{[Equation 5]}$

$$\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / n^2 \quad \text{[Equation 6]}$$

où :

D _{sa} :	diffusion effective dans l'air (cm ² /s)
D _{air} :	coefficient de diffusion de la substance dans l'air (cm ² /s)
D _w :	diffusion effective dans l'eau (cm ² /s)
D _{eau} :	coefficient de diffusion de la substance dans l'eau (cm ² /s)
H :	constante de Henry (-),
n :	porosité totale (-),
θ _{eau} :	teneur en eau du sol / de la couverture (-)
θ _{air} :	teneur en gaz du sol / de la couverture (-)

En cas de multicouches y compris recouvrement (couche 1, couche 2, couche 3 et couche 4), la formule est la suivante [Equations 7] :

- si la profondeur de la source est inférieure ou égale à l'épaisseur de la couche 1 :

$$D_{eff\ totale} = D_{eff\ couche\ 1} * 10\ 000 / 86400 \quad \text{[Equation 7a]}$$

- si la profondeur de la source est inférieure ou égale à l'épaisseur de la couche 1 + couche 2 :

$$\text{Deff totale} = \frac{\text{Prof source}}{\frac{\text{ép.couche 1}}{\text{Deff couche 1}} + \frac{\text{prof source} - (\text{ép.couche 1} + \text{couche 2})}{\text{Deff couche 2}}} * 10\,000 / 86\,400 \text{ [Equation 7b]}$$

- si la profondeur de la source est inférieure ou égale à l'épaisseur de la couche 1 + couche 2 + couche 3 :

$$\text{Deff totale} = \frac{10\,000}{\frac{\text{Prof source}}{\frac{\text{ép.couche 1}}{\text{Deff couche 1}} + \frac{(\text{ép.couche 2})}{\text{Deff couche 2}} + \frac{\text{prof source} - (\text{ép.couche 1} + \text{couche 2} + \text{couche 3})}{\text{Deff couche 3}}}} / 86\,400 * \text{ [Equation 7c]}$$

- si la profondeur de la source est inférieure ou égale à l'épaisseur de la couche 1 + couche 2 + couche 3 + couche 4 :

$$\text{Deff totale} = \frac{10\,000}{\frac{\text{Prof source}}{\frac{\text{ép.couche 1}}{\text{Deff couche 1}} + \frac{\text{ép.couche 2}}{\text{Deff couche 2}} + \frac{\text{ép.couche 3}}{\text{Deff couche 3}} + \frac{\text{prof source} - (\text{ép.couche 1} + \text{couche 2} + \text{couche 3} + \text{couche 4})}{\text{Deff couche 4}}}} / 86\,400 * \text{ [Equation 7d]}$$

La concentration dans l'air du sol, à partir d'une source sols, est calculée de la manière suivante :

Si $C_{\text{eau sol}} < \text{solubilité}$ alors $C_{\text{air sol}} = C_w * H * 1000 \text{ [Equation 3a]}$

et si $C_{\text{eau sol}} > \text{solubilité}$ alors $C_{\text{air sol}} = S * H * 1000 \text{ [Equation 3b]}$

où $C_{\text{eau sol}} = (C_t \times \rho_b) / (\theta_a \times H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc}) \text{ [Equation 3c]}$

Avec $C_{\text{eau sol}}$: concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),

C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)

ρ_b : densité du sol (g/cm³)

F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (-)

K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (l/kg)

H : constante de Henry (-)

θ_a : teneur en air dans les sols (-)

θ_w : teneur en eau dans les sols (-)

La concentration dans l'air du sol, à partir d'une source nappe, correspond à

$$C_{\text{air sol}} = C_{\text{nappe}} * H \times 1000 \text{ [Equation 8d]}$$

Avec $C_{\text{air sol}}$: concentration de la substance dans l'air des sols (mg/m³),

H : constante de Henry (-)

C_{nappe} : concentration dans la nappe (mg/L)

Caractéristique des recouvrements :

Les terrains naturels pollués sont considérés comme recouverts par une couche d'enrobé : Un enrobé (ou enrobé bitumineux ou béton bitumineux) est un mélange de graviers, de sable et de liant hydrocarboné (type goudron ou bitume) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes, la piste des aéroports et d'autres zones de circulation. Un enrobé drainant ou béton bitumineux drainant est un revêtement routier bitumineux, utilisé pour constituer la chaussée des routes. Il fait partie de la famille des enrobés bitumineux.

Les caractéristiques en termes de porosités et teneur en eau des enrobés asphaltés sont diverses dépendant de la typologie des enrobés.

La teneur en gaz doit être comprise entre 3 et 5%, en dessous de 3 %, le revêtement serait sujet à des déformations permanentes trop importantes (Roberts et al. 1996). En dessous de 2%, le volume de vide n'est pas suffisant pour la dilatation du matériau en cas de fortes chaleurs⁶

Une seule référence mentionne la teneur en eau (VDOT, 2011) qui doit être suivie lors du séchage du matériau et ne pas dépasser 1% sur le mélange fini. La teneur en eau peut avoir des effets délétères sur la performance à long terme du recouvrement. Pour Parker (1996), les seuils à partir desquels de tels effets peuvent se produire varient de 0,5 à 2%.

Dans l'application des calculs de risques à la réutilisation des terres excavées, Blanc et al. (2012) retiennent pour l'enrobé extérieur (parking) une porosité de 3% et une teneur en eau nulle, aucun argumentaire n'est cependant donné sur la source de ces valeurs.

Le tableau suivant présente ces rapports pour différentes hypothèses.

	Gamme enrobé asphalté (hors enrobé poreux)							bétons (pour mémoire)
porosité	2%	2%	3%	3%	4%	5%	5%	12%
teneur en gaz	1%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	5%
teneur en eau	1%	0%	1%	0%	1%	2%	1%	7%
DO/ Deff	1856	184	414	107	191	298	114	312

⁶ <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/frequently-asked-questions-faqs/asphalt-pavement-construction/>

ANNEXE 9 : ESTIMATION DES DOSES (DJE) ET DES RISQUES (QD ET ERI)

Lieu d'exposition		Inhalation						
		VTR inh		Inhalation de vapeurs en extérieur				
Enfant	Cible 1	VTR _{s,inh}	VTR _{ss,inh}	C _i	CI _{cible1,s}	CI _{cible1,ss}	QD _{cible1}	ERI _{cible1}
Calcul des Concentration inhalées et/ou ingérées et Valeurs de risques		VTR (seuil d'effet) inh	VTR (sans seuil d'effet) orale ou ERU _{inh}	Concentration dans l'air pendant la fraction de temps t _i	Concentration journalière inhalée		Quotient de Danger Qd _i = Cis / VTR _{s,i}	Excès de Risque individuel ERI _i = Ciss x VTR _{ss,i}
					CI = (C _i x t _i) / F _i x T/T _m			
Unité		mg/m ³	(mg/m ³)-1	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	sans unité	sans unité
Substance	N°CAS							
Métaux et métalloïdes								
Mercur	7439-97-6	3.00E-05		1.88E-06	1.57E-07	1.34E-08	5.22E-03	
Hydrocarbures aliphatiques								
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8	1.84E+01		4.18E-02	3.49E-03	2.99E-04	1.90E-04	
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10	1.00E+00		2.53E-03	2.11E-04	1.80E-05	2.11E-04	
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12	1.00E+00		1.20E-02	9.97E-04	8.55E-05	9.97E-04	
Hydrocarbures aromatiques								
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16	2.00E-01		1.67E-03	1.40E-04	1.20E-05	6.98E-04	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)								
Naphtalène	91-20-3	3.70E-02	5.60E-03	4.82E-06	4.02E-07	3.44E-08	1.09E-05	1.93E-10

QD _{cible1}	ERI _{cible1}
7.33E-03	1.93E-10

Inhalation

Lieu d'exposition	
Adulte	Cible 2
Calcul des Concentration inhalées et/ou ingérées et Valeurs de risques	
Substance	N°CACES
Métaux et métalloïdes	
Mercur	7439-97-6
Hydrocarbures aliphatiques	
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	Aliph>6-8
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12
Hydrocarbures aromatiques	
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	Aroma>12-16
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	
Naphtalène	91-20-3

VTR inh		Inhalation de vapeurs en extérieur				
VTR _{s,inh}	VTR _{ss,inh}	C _i	C _{cible2,s}	C _{cible2,ss}	QD _{cible2}	ERI _{cible2}
VTR (seuil d'effet) inh	VTR (sans seuil d'effet) orale ou ERU _{inh}	Concentration dans l'air pendant la fraction de temps t _i	Concentration journalière inhalée $C_i = (C_i \times t_i) / F_i \times T / T_m$	Quotien de Danger $QD_i = C_{i,s} / VTR_{s,i}$	Excès de Risque Individuel $ERI_i = C_{i,ss} \times VTR_{ss,i}$	
mg/m ³	(mg/m ³)-1	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	sans unité	sans unité
					3.15E-03	
					1.14E-04	
					1.27E-04	
					6.01E-04	
					4.21E-04	
					6.54E-06	4.65E-10

QD _{cible2}	ERI _{cible2}
4.42E-03	4.65E-10



www.groupefondasol.com

AGENCE FONDASOL ENVIRONNEMENT CENTRE SUD

106 avenue Franklin Roosevelt
69120 – VAULX-EN-VELIN

☎ 04.74.37.68.88

✉ environnement.lyon@fondasol.fr