



fondasol

PORT-DE-BOUC (13) PLAN DE GESTION

Rapport n° PR.69EN.22.0018 – 002 – 1ère diffusion – 21/11/2022

Commune de Port-de-Bouc

**Aménagement d'espaces verts
Place des Aigues Douces – Rue de Turenne
Port-de-Bouc (13)**

AGENCE ENVIRONNEMENT CENTRE-SUD



106 avenue Franklin Roosevelt
69120 – VAULX-EN-VELIN

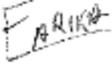
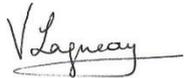
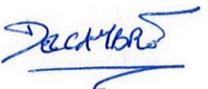
☎ 04.74.37.68.88

✉ 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
-	21/11/2022	93	1 ^{ère} diffusion	Elies ARIKA 	Véronique LAGNEAU 	Cindy DELCAMBRE 
A						
B						
C						

RESUME NON TECHNIQUE

Dans le cadre du réaménagement de la place des Aigues Douces en espaces verts communaux, la commune de Port-de-Bouc a souhaité réaliser un diagnostic des milieux au droit du site localisé sur la commune de Port-de Bouc.

FONDASOL Environnement a donc été missionné pour la réalisation d'un plan de gestion suite à deux diagnostics environnementaux réalisés lors des études PR.69EN.21.0037 – Pièce n°001 et PR.69EN.22.0018 – Pièce n°002 réalisés respectivement en juillet 2021 et septembre 2022.

Les études précédentes avaient mis en évidence :

- la présence de divers impacts en métaux au droit du site ainsi que la présence de divers composés organiques dont des hydrocarbures lors de l'étude initiale. Ces impacts sont en lien avec l'activité industrielle historique de la société Saint-Gobain,
- les investigations sur les eaux souterraines (réseau de 3 ouvrages captant la nappe) ont mis en évidence la présence de tétrachloroéthylène et d'hydrocarbures à l'état de traces,
- la réalisation des prélèvements des gaz des sols au droit de 6 ouvrages a permis de montrer l'absence de dégradation de la qualité des gaz du sol, et donc l'absence de dégazage depuis les sols et/ou les eaux souterraines,
- le même constat a été réalisé suite aux investigations menées sur l'air ambiant.

Ainsi, les impacts en métaux lourds contenus dans les remblais sont circonscrits à ce milieu.

Le plan de gestion a permis de délimiter 3 zones de pollution concentrée. Les seuils de dépollution à atteindre sont les suivants :

- 470 mg/kg MS pour l'arsenic,
- 3,5 mg/kg MS pour le cadmium,
- 460 mg/kg MS pour le cuivre,
- 5,1 mg/kg MS pour le mercure,
- 250 mg/kg MS pour le plomb,
- 480 mg/kg de MS pour le zinc,
- 27 mg/kg de MS pour la somme des HAP.

Deux solutions de gestion ont été retenues compte tenu de la typologie des problématiques :

- solution 1 : excavation de l'ensemble des sols des zones de pollution concentrée. Un coût de traitement compris entre 170 et 258 k€ a été estimé pour un délai inférieur à 6 mois, surveillance comprise,
- solution 2 : excavation des terres des zones de pollution concentrée renfermant des éléments volatils (zones localisées sur l'ouest du site) et confinement des autres zones. Il a été estimé un coût de traitement entre 112 et 180 k€ avec un délai de réalisation compris entre 6 mois et 1 an. La surveillance du confinement s'échelonne sur l'ensemble de la durée de vie du confinement (entraînant des coûts supplémentaires de maintenance).

Compte tenu des risques d'inhalation et d'ingestion encore présents sur le site, FONDASOL réitère sa recommandation sur la mise en sécurité immédiate du site avec mise en place de clôtures afin d'empêcher les usages au droit du site, dans l'attente de mise en œuvre des mesures de gestion.

Pour rappel, les concentrations en composés volatils dans les gaz du sol sont la résultante d'un grand nombre de facteurs tant environnementaux (nature, position et concentration dans les sources présentes en zone saturées et/ou en zones non saturées), que météorologiques (pression atmosphérique, précipitations, température, etc.) ou encore architecturaux (zone avec revêtement ou non, présence d'un bâtiment, tirage thermique, etc.).

C'est pourquoi, le guide méthodologique FLUXOBAT^[1], 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.

Nous rappelons qu'en l'absence d'informations sur la présence potentielle de réseaux d'eaux traversant le site, il sera recommandé d'écarter tout risque de contamination de l'eau de robinet via la perméation des polluants vers les canalisations d'eau potable (conduite en terrain pollué) en réalisant :

- soit des recherches de réseaux enterrés afin de confirmer l'absence dans les sols de réseaux AEP,
- soit la réalisation de prélèvements d'eaux du robinet, afin d'évaluer la qualité de ce milieu.

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 reprenneur 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 (espaces verts) et des données d'entrée prises en compte (conservation du recouvrement intégral du site soit par des bâtiments, soit par des dalles ou de l'enrobé). 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 ainsi que des prélèvements de gaz du sol en fond de fouille.

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 de vente et d'urbanisme.

RESUME TECHNIQUE

Client	Commune de Port-de-Bouc	
Périmètre d'étude	Désignation usuelle du site	Place des Aigues Douces
	Adresse	Rue de Turenne à Port-De-Bouc
	Parcelles cadastrales	n° 104 de la section AA
	Surface approximative	5900 m ²
	Altitude moyenne du site	+ 7 m NGF
Contexte de l'étude	Cette étude est réalisée dans le cadre de l'aménagement d'un espace vert public.	
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 arsenic (> 470 mg/kg MS), en cadmium (> 3,5 mg/kg MS), en cuivre (> 460 mg/kg MS), en mercure (> 5,1 mg/kg MS), en plomb (> 250 mg/kg MS), en zinc (> 550 mg/kg MS) et en HAP (> 27 mg/kg MS).	
Mesures de gestion proposées	<ul style="list-style-type: none"> Solution 1 : excavation et évacuation de l'ensemble des sols des zones de pollution concentrée (entre 170 et 258 k€ pour un traitement inférieur à 6 mois) Solution 2 : excavation et évacuations des zones de pollution concentrée renfermant des éléments volatils et confinement des autres zones (entre 112 et 180 k€ pour un délai compris entre 6 mois et 1 an). La surveillance s'échelonne sur l'ensemble de la durée de vie du confinement (entraînant des coûts supplémentaires de maintenance). 	
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 au moins 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 résiduelles 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 poussières en protection des riverains. 	
Mesures de suivi environnemental	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle des teneurs en parois et fond de fouille, Suivi de la bonne étanchéification de la couverture. 	
Analyse des Risques Résiduels	Risque d'inhalation acceptable pour un usage tertiaire une fois les mesures de gestion mises en œuvre (seuils de réception validés).	

SOMMAIRE

A.	Contexte et objectif de notre mission	11
B.	Présentation du site et du projet	13
B.1.	Description générale du site	13
B.2.	Projet d'aménagement	14
C.	Synthèse des études antérieures	15
D.	Schéma conceptuel	22
D.1.	Cibles à considérer	22
D.2.	Source de pollution	22
D.3.	Voies de transfert et milieux d'exposition	22
D.4.	Voies de d'exposition	23
E.	Plan de gestion	25
E.1.	Principe et objectifs	25
E.2.	Gestion des ouvrages enterrés et mise en sécurité du site	27
E.3.	Définition des zones de pollution concentrées	27
E.4.	Revue des techniques disponibles	45
E.5.	Bilan coûts-avantages	50
F.	Contrôle de l'efficacité et de la pérennité des mesures de gestion	66
F.1.	Mesures proposées pour la gestion du risque en phase travaux	66
F.2.	Surveillance environnementale	67
F.3.	Mise en œuvre de restrictions d'usages	68
G.	Analyse des risques résiduels	72
G.1.	Méthodologie - Présentation de la démarche	72
G.2.	Sélection des substances et des concentrations	73
G.3.	Etape 1 : Identification des dangers	75
G.4.	Etape 2 : Estimation de la relation doses-réponses et choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	76
G.5.	Etape 3 : Estimation des expositions	78
G.6.	Etape 4 : Calculs de risques sanitaires	82
G.7.	Discussions sur les incertitudes et étude de sensibilité	85
H.	Schéma de fonctionnement	90
I.	Prescriptions complémentaires	92
J.	Limites de la méthode	93
K.	ANNEXES	94

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	12
Figure 2: Localisation géographique et cadastrale du site d'étude (source : IGN©)	13
Figure 3 : Plan de masse du projet d'aménagement (source : Esquisse I en date du 05/05/2022)	14
Figure 4 : Implantation des sondages des 2 diagnostics et localisation des sources de pollution	18
Figure 5 : Anomalies et fortes teneurs observées dans les sols au droit du site	19
Figure 6 : Schéma conceptuel pour l'usage futur	24
Figure 7 : Stratégie des mesures de gestion d'un site et sol pollué (Nathanail et al., 2020)	25
Figure 8 : Schéma de principe du plan de gestion	26
Figure 9 : Fréquence cumulée des teneurs en arsenic	31
Figure 10 : Répartition des concentrations en arsenic	31
Figure 11 : Fréquence cumulée des teneurs en cadmium	32
Figure 12 : Répartition des concentrations en cadmium	32
Figure 13 : Fréquence cumulée des teneurs en cuivre	33
Figure 14 : Répartition des concentrations en cuivre	33
Figure 15 : Fréquence cumulée des teneurs en mercure	34
Figure 16 : Répartition des concentrations en mercure	34
Figure 17 : Fréquence cumulée des teneurs en plomb	35
Figure 18 : Répartition des concentrations en plomb	36
Figure 19 : Fréquence cumulée des teneurs en zinc	36
Figure 20 : Répartition des concentrations en zinc	37
Figure 21 : Fréquence cumulée des teneurs en HAP	38
Figure 22 : Répartition des concentrations en HAP	38
Figure 23 : Zones de pollutions en arsenic, cadmium et HAP définies par les seuils de coupure	39
Figure 24 : Zones de pollutions en cuivre et mercure définies par les seuils de coupure	40
Figure 25 : Zones de pollutions en plomb et zinc définies par les seuils de coupure	40
Figure 26 : Maillage des zones de pollution à gérer	41
Figure 27 : Famille de techniques de dépollution par lieu de traitement (source : Rapport BRGM RP-57708-FR, juin 2010)	46
Figure 28 : Schéma de principe d'excavation	55
Figure 29 : Schéma de principe de confinement par couverture et étanchéification (la solution considérée dans ce cas serait la première)	61

Figure 30 : Principe de l'Analyse des Risques Résiduels	72
Figure 31 : Données d'entrée pour l'air extérieur	79
Figure 32 : Données d'entrée pour les canalisations	81
Figure 33 : Modèle de fonctionnement	91
Figure 34 : Logigramme de sélection des VTR	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Prestations réalisées	12
Tableau 2 : Synthèse des données disponibles	20
Tableau 3 : Présentation des différentes méthodes (source : Guide UPDS « Pollution concentrée » - avril 2016)	27
Tableau 4 : Analyse statistique des données	28
Tableau 5 : Fréquence d'occurrence des concentrations en arsenic, cadmium, cuivre et mercure	29
Tableau 6 : Fréquence d'occurrence des concentrations en plomb, zinc et HAP	30
Tableau 7 : Volumes concernés par les mesures de gestion	42
Tableau 8 : Volume associés de chaque filière d'évacuation retenue	44
Tableau 9 : Revue des techniques disponibles (norme NFX31-620-4)	48
Tableau 10 : Implications juridiques possibles (source : « Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués »)	52
Tableau 11 : Pondération des critères (norme NFX31-620-4)	53
Tableau 12 : Grille de notation du bilan coût-avantages	54
Tableau 13 : Notation du bilan coûts-avantages	55
Tableau 14 : Avantages/inconvénients de l'excavation des sols sur site	56
Tableau 15 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur l'ensemble du site (C321a)	58
Tableau 16 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur les mailles contenant de fortes teneurs en éléments volatils (HAP/naphtalène et mercure)	59
Tableau 17 : Avantages/inconvénients du confinement par couverture et étanchéité	62
Tableau 18 : Estimation des coûts pour le confinement par couverture et étanchéification (C312a)	64
Tableau 19 : Synthèse des solutions de gestion proposées	65
Tableau 20 : Surveillance des milieux	67
Tableau 21 : Les différents types de servitudes possibles	68
Tableau 22 : Restriction d'usages	71
Tableau 23 : Substances et teneurs retenues dans l'Analyse des Risques Résiduels pour la voie inhalation	74
Tableau 24 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation	77
Tableau 25 : Paramètres du budget espace-temps	78
Tableau 26 : Concentrations calculées dans l'air extérieur	80
Tableau 27 : Concentrations calculées dans les canalisations	81
Tableau 28 : Résultats des calculs de risques sanitaires pour les futurs usagers	84
Tableau 29 : Teneurs retenues en incertitudes (n°1) dans les gaz du sol	85
Tableau 30 : Caractéristiques du milieu retenue pour l'incertitudes n°2	86
Tableau 31 : Caractéristiques du milieu retenue pour l'incertitudes n°3	87

Tableau 32 : Caractéristiques du milieu retenue pour l'incertitudes n°4	88
Tableau 33 : Résultats des calculs de sensibilité	89
Tableau 34 : Classification en termes de cancérogénicité	116
Tableau 35 : Classification en termes de mutagénicité (UE)	117
Tableau 36 : Classification en termes d'effets toxiques pour la reproduction (UE)	117
Tableau 37 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet à seuil)	119
Tableau 38 : Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation (effet sans seuil)	120
Tableau 39 : Propriétés physico-chimiques des substances	122

A. CONTEXTE ET OBJECTIF DE NOTRE MISSION

Dans le cadre de l'aménagement d'espaces verts et d'un parc communal, la commune de Port-de-Bouc a missionné FONDASOL pour la réalisation d'un plan de gestion au droit du site localisé rue de Turenne – Place des Aigues douces à Port-de-Bouc.

Cette mission fait suite à la réalisation d'un diagnostic initial des sols (PR.69EN.22.0037 – Pièce n°001), d'un diagnostic complémentaire des sols, eaux souterraines, gaz des sols et air ambiant (PR.69EN.22.0018 – Pièce n°001) et à l'acceptation de notre devis référencé SQ.69EN.22.02.001 – Indice B en date du 01/03/2022.

Les précédents diagnostics avaient mis en évidence la présence de fortes teneurs en métaux lourds au droit des sols superficiels du site (dues à l'activité historique de la société Saint-Gobain sur le site) sans que celles-ci n'entraînent une dégradation de la qualité environnementale des eaux souterraines, des gaz des sols ou de l'air ambiant au droit du site.

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).

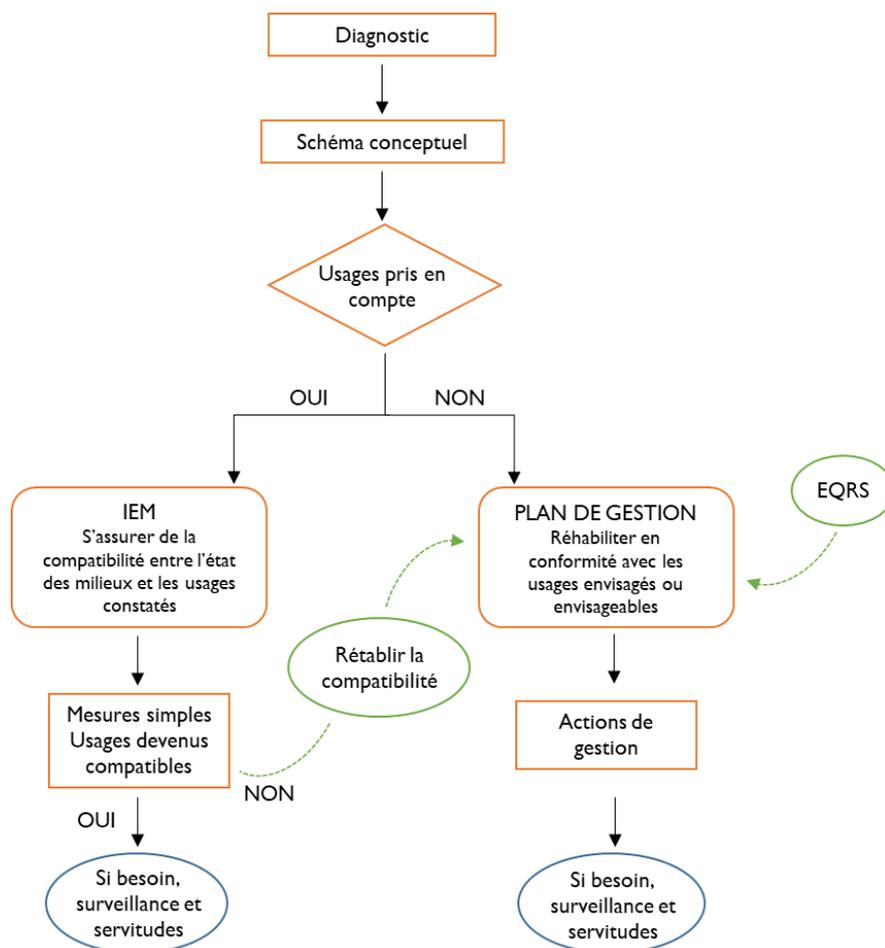


Figure I : Schéma de principe de déclenchement d'un plan de gestion

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 commune de Port-De-Bouc.

Le site d'étude est localisé rue de Turenne au droit de la place des Aigues Douces sur la commune de Port-de-Bouc dans le département des Bouches-du-Rhône (13). Il occupe la parcelle cadastrale n°104 de la section AA représentant une superficie totale de l'ordre de 5 900 m².

D'après Géoportail, le site est implanté à une altitude comprise de + 7 m NGF.

Le terrain présente une pente légère ($\approx 2\%$) descendante vers le sud-est.

Le site est utilisé comme zone de promenade et zones de jeux par les riverains.

Le site est bordé :

- au nord par la rue de Turenne au-delà de laquelle un immeuble est construit ;
- au sud par un parc ;
- à l'est par un ensemble de bâtiments résidentiels, un immeuble et des commerces ;
- à l'ouest par un immeuble d'habitations collectives en bordure immédiate du site.

La localisation géographique et cadastrale du site est présentée en Figure 2.

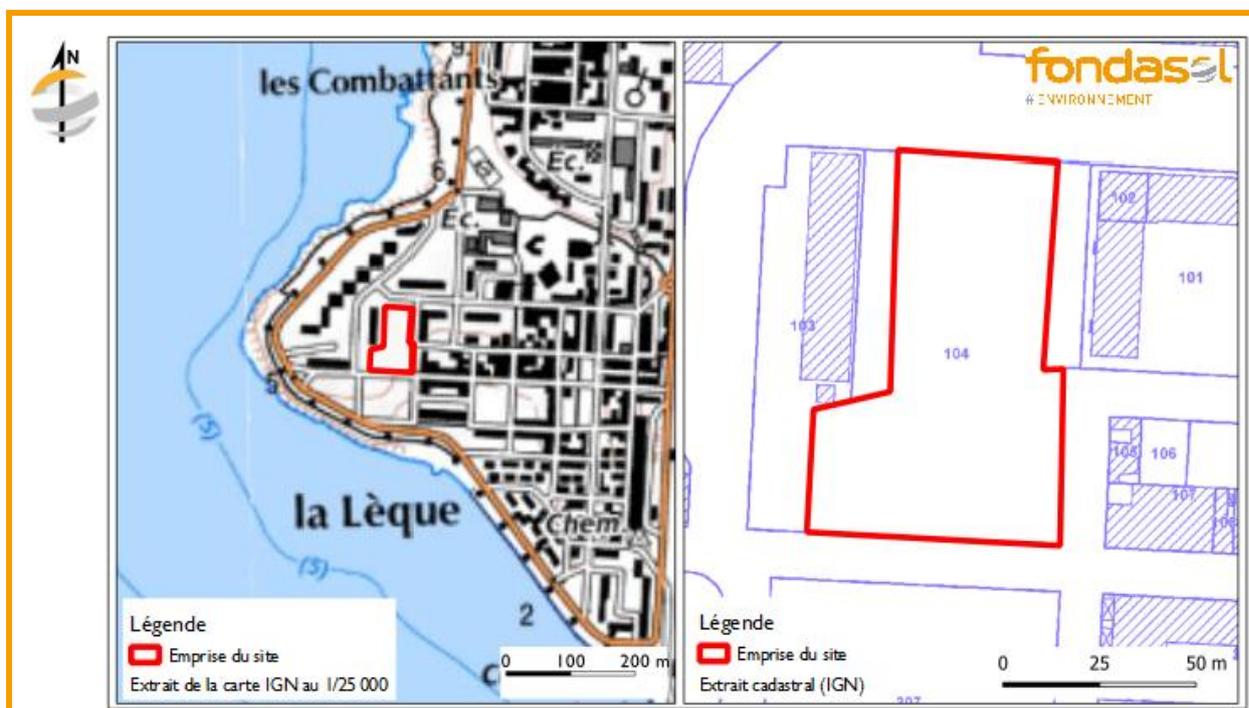


Figure 2: Localisation géographique et cadastrale du site d'étude (source : IGN©)

B.2. Projet d'aménagement

Le projet d'aménagement consiste en l'aménagement :

- de voiries,
- d'espaces verts,
- potentiellement d'une aire de jeux pour enfants.

Sur la base des informations transmises, notre étude ne considère pas :

- l'aménagement :
 - de bâtiments,
 - de sous-sols,
 - de potagers,
 - de systèmes d'infiltration d'eaux pluviales (noues, fossés, ...)
- l'usage des eaux :
 - superficielles,
 - souterraines (AEP, eaux industrielles, géothermie, ...).

Le plan de masse du projet d'aménagement est présenté en Figure 3.

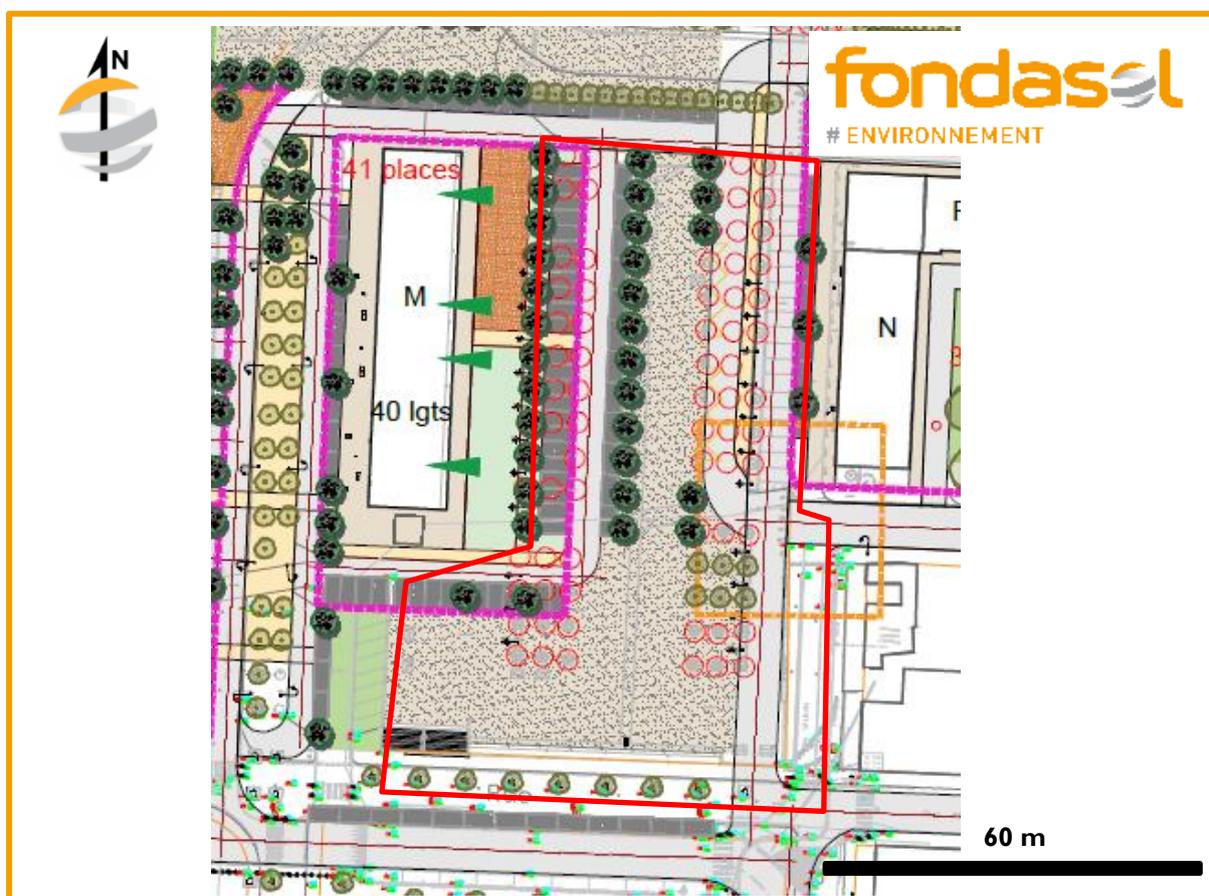


Figure 3 : Plan de masse du projet d'aménagement (source : Esquisse I en date du 05/05/2022)

C. SYNTHÈSE DES ÉTUDES ANTERIEURES

Ce chapitre présente les résultats des rapports FONDASOL Environnement référencés PR.69EN.22.0037 – Pièce n°001 (juillet 2021) et PR.69EN.22.0018 – Pièce n°001 (septembre 2022). Le contexte est rappelé ci-après.

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

Client	Commune de Port-de-Bouc	
Périmètre d'étude	Désignation usuelle du site	Place des Aigues Douces
	Adresse	Rue de Turenne à Port-De-Bouc
	Parcelles cadastrales	n°104 de la section AA
	Surface approximative	5900 m ²
	Altitude moyenne du site	+ 7 m NGF
Contexte de l'étude	Aucun projet d'aménagement n'est défini actuellement	
FONDASOL Environnement - PR.69EN.22.0037 – Pièce n°001 – Juillet 2021		
A100 Visite de site	Le site est actuellement à usage récréatif (pique-nique et aire de jeux pour enfants). Le sol est à nu. Des bâtiments collectifs entourent le site hormis en partie sud où un parc est présent.	
A110 Étude historique	Consultation des photographies aériennes	<ul style="list-style-type: none"> De 1917 - jusqu'en 1955 : le site est occupé par 3 bâtiments industriels : un bâtiment à chambre de plomb, un bassin d'eau et une remise à locomotives. Il s'agit de l'ancien site BASIAS Saint-Gobain (PAC1302700). Le site semble abandonné à partir des années 1955. De 1955-1971 : le site est démantelé et laissé à l'abandon. De 1973-1992 : des installations non identifiées sont observables au sud du site puis sont évacuées. Depuis 1973 à 2021 : réaménagement du site par un espace récréatif. Des bâtiments résidentiels sont bâtis autour du site.
	Consultation de Géorisques ¹	Le site est référencé dans la base de données BASIAS sous le numéro PAC1302700. Il s'agit de l'ancienne entreprise Saint-Gobain. Deux sites SIS sont référencés au nord du site correspondant également à l'ancienne entreprise de Saint-Gobain.
	Consultation des archives (préfecture, département, commune...)	La consultation des archives a permis d'identifier la nature des activités des bâtiments au droit du site. Ainsi le bâtiment principal (chambre de plomb) a abrité des activités de production de sulfates depuis la combustion de pyrite, des stockages de NH ₃ sont également localisés. Les deux bâtiments situés au sud du site correspondent à un bassin d'eau et une remise à locomotives.

¹ bases de données CASIAS, des informations de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée, des SIS et des installations classées

A120 Étude de vulnérabilité des milieux	Géologie	<ul style="list-style-type: none"> Sols peu perméables et non couverts. Le site a abrité un ancien site industriel BASIAS. Le site a un usage récréatif (aire de jeu et aire de pique-nique) 	Vulnérabilité forte	Sensibilité forte
	Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> La nappe est peu profonde (< 5 m), s'écoule en direction du sud et elle ne dispose pas d'un toit imperméable (alluvions et calcaires). Aucun captage industriel, AEP et individuel ne sont recensés dans l'environnement proche du site d'étude (<1 km). 	Vulnérabilité forte	Usage non sensible
	Hydrologie	<ul style="list-style-type: none"> La mer Méditerranée est située à environ 200 m du site d'étude et le chenal à 1 500 m. Des zones de baignade sont situées en aval du site (200 m). 	Vulnérabilité faible	Usage sensible
	Zones naturelles	Aucune zone naturelle protégée n'est recensée à proximité du site et en particulier en aval hydrogéologique	Vulnérabilité faible	Non concernée
A200 Investigations sur les sols	La campagne d'investigations des sols a été réalisée le 21/06/2021. 9 sondages ont été menés à des profondeurs comprises entre 0,4 et 1,6 m de profondeur.			
A270 Interprétation des résultats	Sols	<p>Les investigations des sols mettent en évidence :</p> <ul style="list-style-type: none"> des impacts en métaux lourds non délimités verticalement dû à des refus sur blocs de calcaire. Ces impacts sont localisés sur les sols superficiels au droit de 6 des 9 sondages réalisés. La moitié nord du site semble montrer des anomalies plus importantes, des anomalies en HAP au droit de 8 échantillons, la présence de PCB et d'HCT C10-C40 à des teneurs non représentatives d'un impact, l'absence de quantification en BTEX, COHV et hydrocarbures C5-C10 (composés volatils). <p>Enfin, les teneurs en composé potentiellement volatil (mercure) pouvant générer des contraintes sanitaires sont présentes dans les sols superficiels (notamment 243 mg/kg MS au droit du sondage S3).</p>		
Schéma conceptuel	Synthèse des risques retenus	<ul style="list-style-type: none"> Ingestion de sol ou de poussières de sols, Inhalation de composés volatils (sur site ou hors site) <p>Les résultats de la première campagne sont présentés en Annexe 4.</p>		
Recommandations	<ul style="list-style-type: none"> Investigations complémentaires sur les sols, Investigations sur les eaux souterraines, Investigations sur les gaz des sols, Investigations de l'air ambiant, Réalisation d'un plan de gestion. 			

A200 Diagnostic des sols		<ul style="list-style-type: none"> La campagne complémentaire d'investigations des sols a été réalisée le 12/04/2022. 10 sondages ont été réalisés à la tarière mécanique à une profondeur maximale de 2 m.
A260 Diagnostic des terres à excaver		
A210 Diagnostic des eaux souterraines		<ul style="list-style-type: none"> Réseau piézométrique de 3 ouvrages, Niveau statique mesuré à environ 7 m de profondeur en avril 2022 (un des piézomètres était cependant à sec).
A230 Diagnostic des gaz du sol		<ul style="list-style-type: none"> Réseau de 6 piézairs répartis au droit des anomalies observées dans les sols, Prélèvements réalisés le 14/04/2022, dans des conditions peu favorables.
A240 Diagnostic de l'air ambiant		<ul style="list-style-type: none"> 3 prélèvements d'air ambiant ont été réalisés en extérieur (ensemble du site). 1 prélèvement a été installé à environ 1 m de hauteur (voies respiratoires des enfants) 2 prélèvements ont été installés à 1,5 m de hauteur du sol (voies respiratoires des adultes)
A270 Interprétation des résultats	Sols	<p>Les investigations des sols ont :</p> <ul style="list-style-type: none"> confirmé les fortes anomalies en métaux généralisées en partie nord du site (ancienne chambre à plomb), dont en mercure, mis en évidence la présence d'anomalies en HAP et naphthalène, quantifié la présence d'HC C12-C40 et de traces en PCB.
	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) : 4 filières de prises en charges des terres ont été retenues : ISDI, ISDI +, ISDND et Biocentre.</p>
	Eaux souterraines	<p>Présence de tétrachloroéthylène et d'hydrocarbures à l'état de traces.</p>
	Gaz du sol	<p>Dépassement de la borne RI en benzène au droit de Pa4. Après prise en compte du facteur d'atténuation, les teneurs estimées dans l'air ambiant seraient inférieures à la borne RI ; ce composé ne pose pas de problématique sanitaire en l'état.</p>
	Air ambiant	<p>Absence de dépassements des bornes RI pour chaque composé analysé.</p>
Schéma conceptuel	Synthèse des risques retenus	<ul style="list-style-type: none"> Inhalation de polluants sous forme gazeuse, Inhalation de polluants adsorbés sur les poussières, Ingestion de sols et poussières, Ingestion d'eaux des canalisations.
Recommandations		<ul style="list-style-type: none"> Réalisation d'un plan de gestion pour gérer les fortes anomalies en métaux et HAP comprenant une ARR. Réalisation d'investigations sur la qualité de l'eau du robinet dans le cas où une canalisation d'eau potable passerait au droit du site.

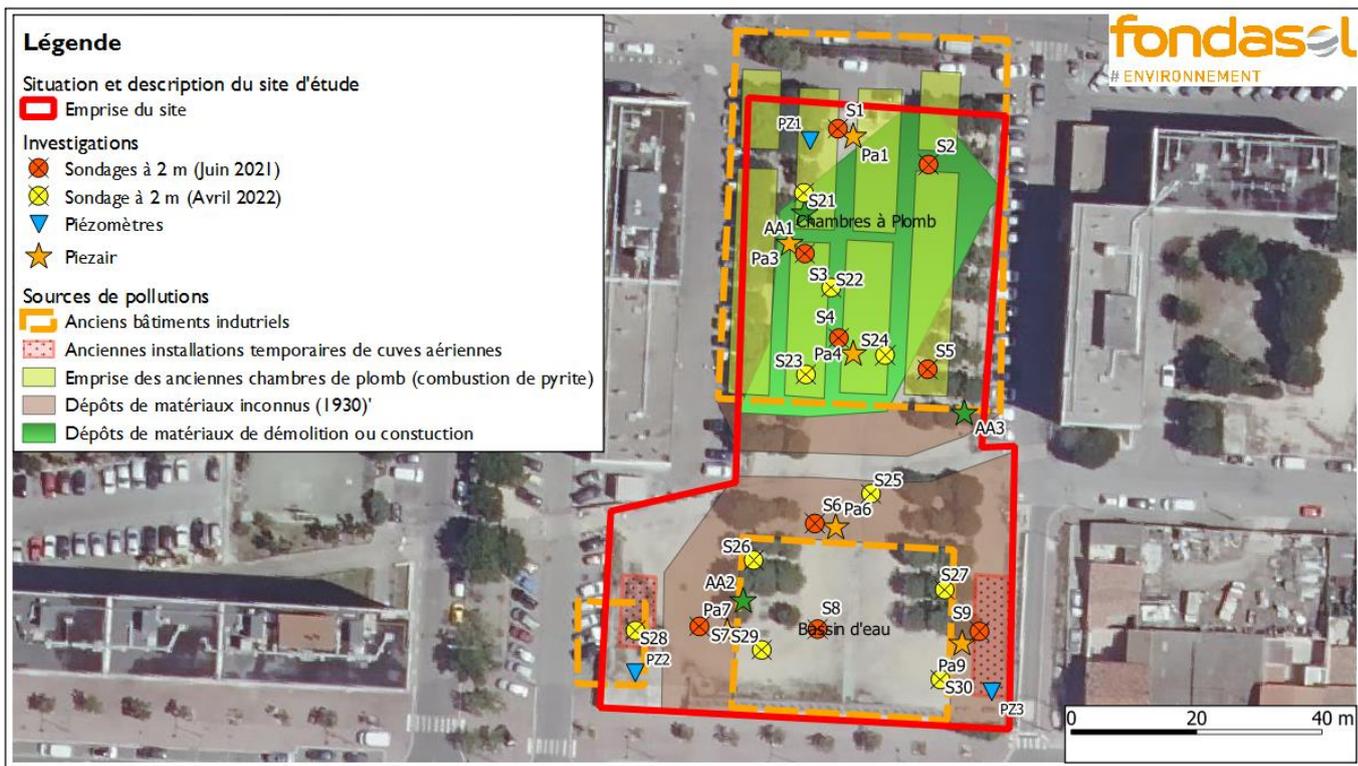


Figure 4 : Implantation des sondages des 2 diagnostics et localisation des sources de pollution

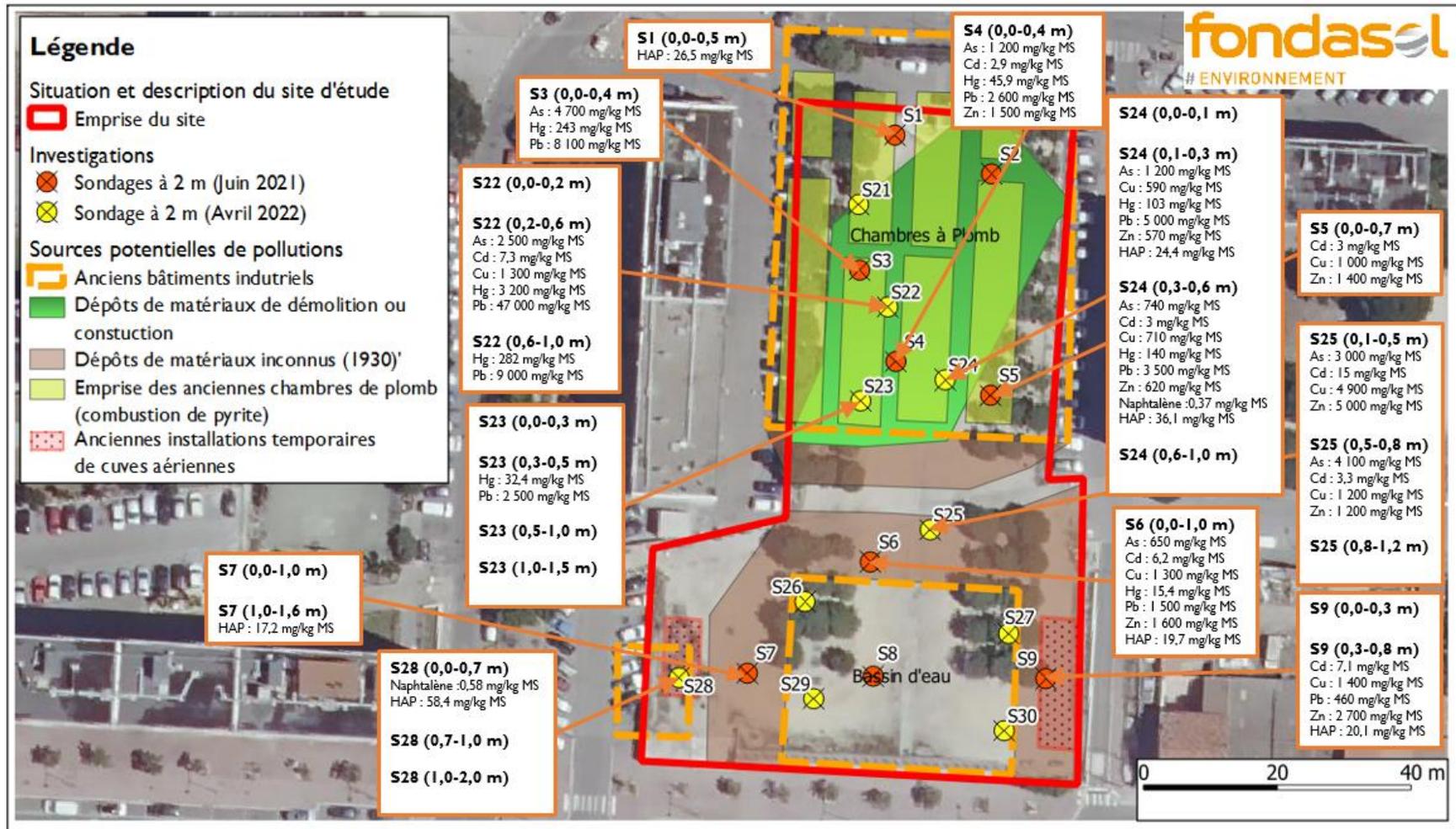


Figure 5 : Anomalies et fortes teneurs observées dans les sols au droit du site

Tableau 2 : Synthèse des données disponibles

Source de pollution	Sondages	Impacts identifiés dans les sols	Piézomètres	Impacts identifiés dans les eaux souterraines	Piézaïrs	Impacts identifiés dans les gaz du sol	Cohérence entre les différents milieux
Anciennes chambres à plomb et dépôts de matériaux de démolition ou construction	S1, S2, S3, S4, S5, S21, S22, S23, S24	Max As = 4 700 mg/kg MS Max Cd = 7,3 mg/kg MS Max Cu = 1 300 mg/kg MS Max Hg = 3 200 mg/kg MS Max Pb = 47 000 mg/kg MS Max Zn = 1 500 mg/kg MS Max HAP = 36,1 mg/kg MS Naphtalène = 0,37 mg/kg MS	PZ1	Aucun impact	Pa1, Pa3, Pa4	Dépassement en benzène de la valeur R1.	Les sols ne semblent pas avoir dégradé la qualité des autres milieux
Dépôts de matériaux inconnus (1930)	S6, S7, S9, S25	Max As = 4 100 mg/kg MS Max Cd = 15 mg/kg MS Max Cu = 4 900 mg/kg MS Max Hg = 15,4 mg/kg MS Max Pb = 1 500 mg/kg MS Max Zn = 5 000 mg/kg MS Max HAP = 20,1 mg/kg MS	PZ3	Aucun impact	Pa6, Pa7 et Pa9	Dépassement en mercure de la valeur R1.	
Ancien bassin	S8, S26, S27, S29, S30	Max As = 100 mg/kg MS Max Cd = 0,5 mg/kg MS Max Cu = 130 mg/kg MS Max Hg = 5,07 mg/kg MS Max Pb = 180 mg/kg MS Max Zn = 470 mg/kg MS	-	-	-	-	

Source de pollution	Sondages	Impacts identifiés dans les sols	Piézomètres	Impacts identifiés dans les eaux souterraines	Piézaïrs	Impacts identifiés dans les gaz du sol	Cohérence entre les différents milieux
Anciennes installations temporaires de cuves aériennes	S9, S28	As = 180 mg/kg MS Cd = 7,1 mg/kg MS Cu = 1 400 mg/kg MS Hg = 2 mg/kg MS Pb = 460 mg/kg MS Zn = 2 700 mg/kg MS Max HAP = 58,4 mg/kg MS Naphtalène = 0,58 mg/kg MS	PZ2 et PZ3	Aucun impact	Pa9	Aucun dépassement de la borne RI.	

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

Les récepteurs existants et futurs à protéger sont les résidents alentours au site, usagers des espaces verts.

D.2. Source de pollution

Les sources potentielles 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 (ensemble du site), les voies de transfert potentielles à considérer sont :

- la volatilisation et la remontée de vapeurs ;
- l'envol de poussières depuis les secteurs non revêtus ;
- la perméation vers les canalisations d'eau potable (conduite en terrain pollué) ;
- l'infiltration la percolation à travers la zone non saturée en eau du sol puis transfert par les eaux souterraines.

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

Ainsi, les milieux d'exposition susceptibles d'être atteints sont les sols, les eaux souterraines et l'air ambiant.

D.4. Voies de d'exposition

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

- l'inhalation de polluant sous forme gazeuse (ZNS) ;
- l'inhalation de polluant adsorbé sur les poussières ;
- l'ingestion de sol et de poussières ;
- l'ingestion d'eau contaminée.

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) ;
- l'ingestion de végétaux auto-cultivés.

Le schéma conceptuel initial est présenté ci-après sous forme de représentation graphique en Figure 6.

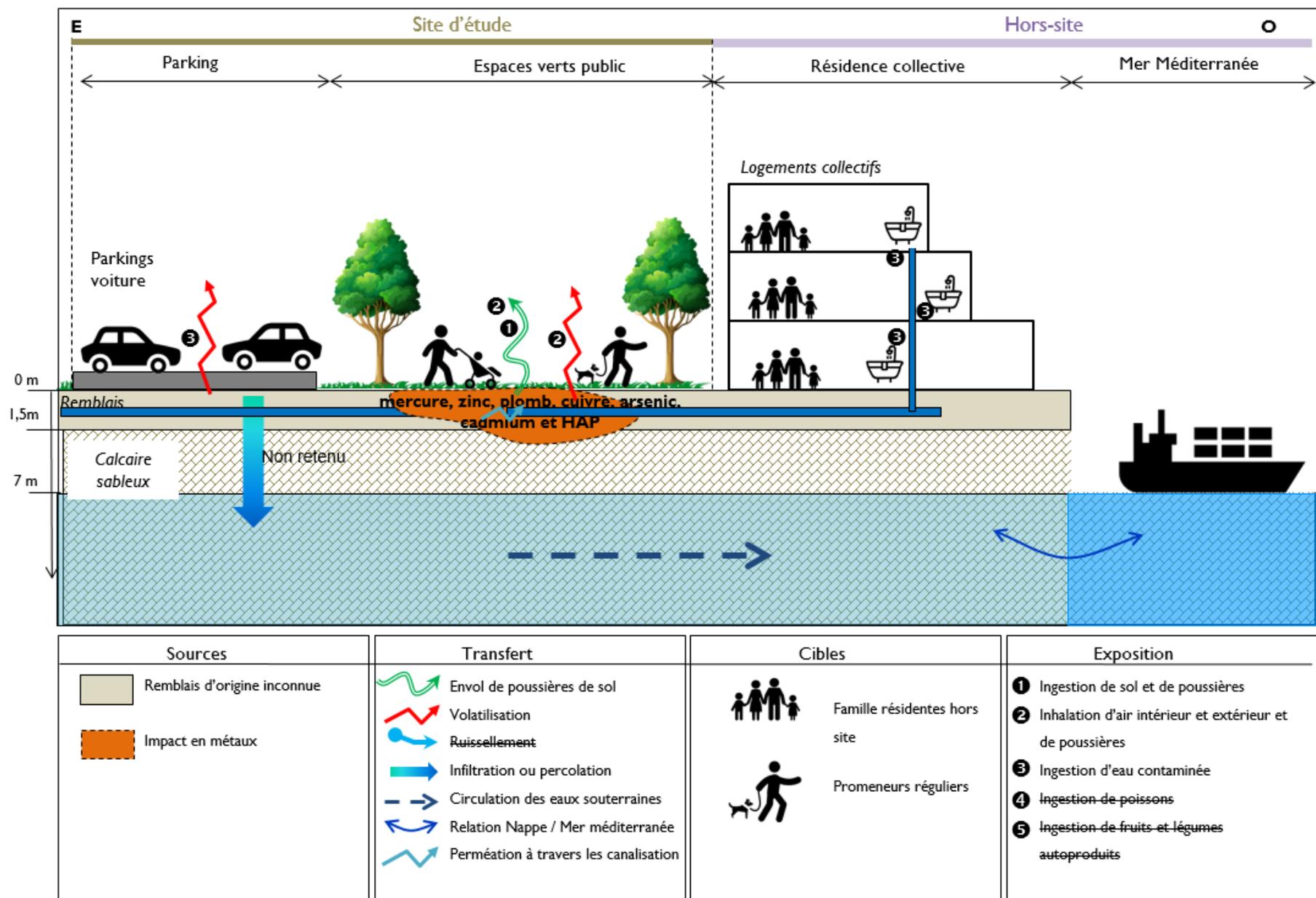


Figure 6 : Schéma conceptuel pour l'usage futur

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.

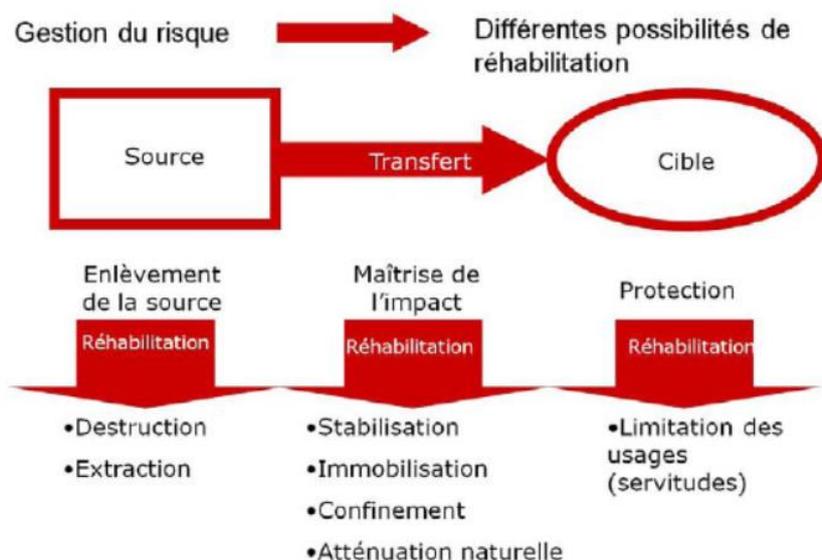


Figure 7 : Stratégie des mesures de gestion d'un site et sol pollué (Nathanail et al., 2020)

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 8 ci-dessous.

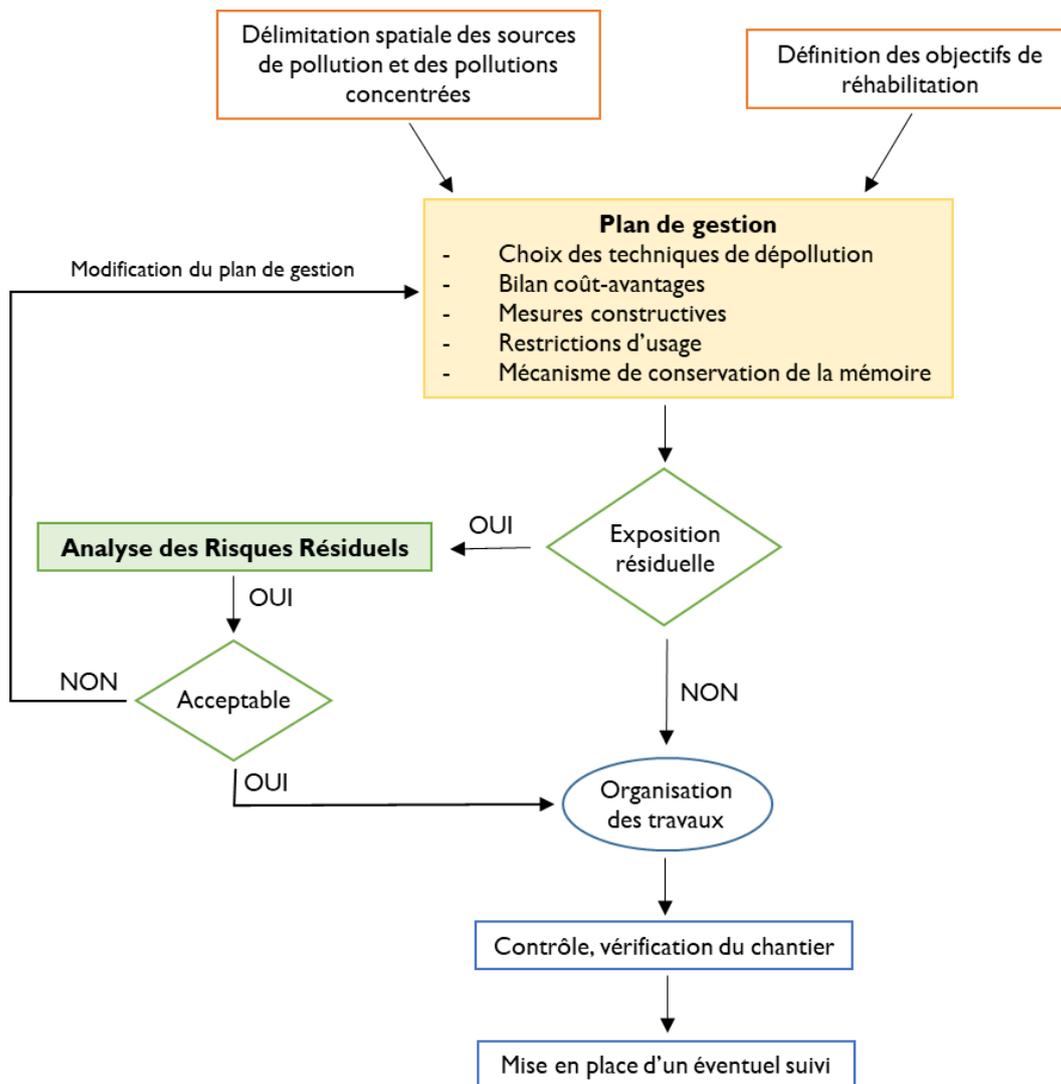


Figure 8 : Schéma de principe du plan de gestion

Pour cela, il faut :

- définir l’emprise horizontale et verticale de la zone de pollution concentrée (cf. E.3) ;
- réaliser un bilan coûts-avantages (cf. § E.5).

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

Compte-tenu de l'état qualitatif du site, nous rappelons que nous conseillons la mise en place d'une restriction d'accès au site rapidement, avant la mise en œuvre des mesures de gestion.

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 3 : 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 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.3.1.1. Les teneurs maximales, moyennes, les percentiles

Tableau 4 : Analyse statistique des données

Paramètre	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	HAP
Nombre de valeurs	41	41	41	41	37	37	41
Concentration maximale	4700	15.0	4900.0	3200.0	47000	5000	58.4
Concentration moyenne	483	1.5	333.5	99.5	1905	431	6.8
Médiane	26	0.3	32.0	0.28	38	61	0.8
Ecart type	1105	2.8	824.4	500.2	7821	954	11.9
Percentile 25	5	0.2	6.8	0.1	7	26	0.8
Percentile 75	180	1.2	310.0	2.1	180	310	6.1
Percentile 80	470	1.8	460.0	5.1	244	440	10.0
Percentile 90	1200	3.3	1000.0	103.0	2900	1280	20.1
Percentile 95	3000	7.1	1300.0	243.0	5800	1820	26.5
Ecart moyenne et médiane	95%	80%	90.4%	99.7%	98%	86%	88%
Ecart écart type et médiane	4150%	847%	2476%	178525%	20481%	1463%	1385%

Les écarts observés entre la moyenne et la médiane sont supérieurs à 50%.

Des écarts importants (> 50%) sont observés pour tous les métaux, cela signifie qu'il y a des valeurs extrêmes significatives de pollution concentrée.

E.3.1.2. L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations est réalisée via l'outil statistique fréquence d'Excel (calcul des fréquences relative et cumulée). Cela permet la 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 5 présente les fréquences d'occurrence relatives et cumulées de l'arsenic, du cadmium, du cuivre, du mercure, du plomb, du zinc et des HAP.

Tableau 5 : Fréquence d'occurrence des concentrations en arsenic, cadmium, cuivre et mercure

Gamme de concentration (mg/kg MS)	Arsenic			Cadmium			Cuivre			Mercure					
	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%
50	25	25	60.98%	0.2	18	18	43.90%	100	28	28	68.29%	25	34	34	82.93%
100	4	29	70.73%	0.4	4	22	53.66%	200	2	30	73.17%	50	2	36	87.80%
150	1	30	73.17%	0.6	5	27	65.85%	300	0	30	73.17%	75	0	36	87.80%
200	1	31	75.61%	0.8	0	27	65.85%	400	1	31	75.61%	100	0	36	87.80%
250	0	31	75.61%	1	1	28	68.29%	500	3	34	82.93%	125	1	37	90.24%
300	0	31	75.61%	1.2	3	31	75.61%	600	1	35	85.37%	150	1	38	92.68%
350	1	32	78.05%	1.4	0	31	75.61%	700	0	35	85.37%	175	0	38	92.68%
400	0	32	78.05%	1.6	0	31	75.61%	800	1	36	87.80%	200	0	38	92.68%
450	0	32	78.05%	1.8	1	32	78.05%	900	0	36	87.80%	225	0	38	92.68%
500	1	33	80.49%	2	1	33	80.49%	1000	1	37	90.24%	250	1	39	95.12%
550	0	33	80.49%	2.2	0	33	80.49%	1100	0	37	90.24%	275	0	39	95.12%
600	0	33	80.49%	2.4	0	33	80.49%	1200	1	38	92.68%	300	1	40	97.56%
650	1	34	82.93%	2.6	0	33	80.49%	1300	1	39	95.12%	325	0	40	97.56%
700	0	34	82.93%	2.8	0	33	80.49%	1400	1	40	97.56%	350	0	40	97.56%
750	1	35	85.37%	3	3	36	87.80%	1500	0	40	97.56%	375	0	40	97.56%
800	0	35	85.37%	3.2	0	36	87.80%	1600	0	40	97.56%	400	0	40	97.56%
850	0	35	85.37%	3.4	1	37	90.24%	1700	0	40	97.56%	425	0	40	97.56%
900	0	35	85.37%	3.6	0	37	90.24%	1800	0	40	97.56%	450	0	40	97.56%
950	0	35	85.37%	3.8	0	37	90.24%	1900	0	40	97.56%	475	0	40	97.56%
1000	0	35	85.37%	4	0	37	90.24%	2000	0	40	97.56%	500	0	40	97.56%
1050	0	35	85.37%	4.2	0	37	90.24%	2100	0	40	97.56%	525	0	40	97.56%
1100	0	35	85.37%	4.4	0	37	90.24%	2200	0	40	97.56%	550	0	40	97.56%
1150	0	35	85.37%	4.6	0	37	90.24%	2300	0	40	97.56%	575	0	40	97.56%
1200	2	37	90.24%	4.8	0	37	90.24%	2400	0	40	97.56%	600	0	40	97.56%
1250	0	37	90.24%	5	0	37	90.24%	2500	0	40	97.56%	625	0	40	97.56%
1300	0	37	90.24%	5.2	0	37	90.24%	2600	0	40	97.56%	650	0	40	97.56%
1350	0	37	90.24%	5.4	0	37	90.24%	2700	0	40	97.56%	675	0	40	97.56%
1400	0	37	90.24%	5.6	0	37	90.24%	2800	0	40	97.56%	700	0	40	97.56%
1450	0	37	90.24%	5.8	0	37	90.24%	2900	0	40	97.56%	725	0	40	97.56%
1500	0	37	90.24%	6	0	37	90.24%	3000	0	40	97.56%	750	0	40	97.56%
1550	0	37	90.24%	6.2	1	38	92.68%	3100	0	40	97.56%	775	0	40	97.56%
1600	0	37	90.24%	6.4	0	38	92.68%	3200	0	40	97.56%	800	0	40	97.56%
1650	0	37	90.24%	6.6	0	38	92.68%	3300	0	40	97.56%	825	0	40	97.56%
1700	0	37	90.24%	6.8	0	38	92.68%	3400	0	40	97.56%	850	0	40	97.56%
1750	0	37	90.24%	7	0	38	92.68%	3500	0	40	97.56%	875	0	40	97.56%
1800	0	37	90.24%	7.2	1	39	95.12%	3600	0	40	97.56%	900	0	40	97.56%
1850	0	37	90.24%	7.4	1	40	97.56%	3700	0	40	97.56%	925	0	40	97.56%
1900	0	37	90.24%	7.6	0	40	97.56%	3800	0	40	97.56%	950	0	40	97.56%
1950	0	37	90.24%	7.8	0	40	97.56%	3900	0	40	97.56%	975	0	40	97.56%
2000	0	37	90.24%	8	0	40	97.56%	4000	0	40	97.56%	1000	0	40	97.56%
2050	0	37	90.24%	8.2	0	40	97.56%	4100	0	40	97.56%	1025	0	40	97.56%
2100	0	37	90.24%	8.4	0	40	97.56%	4200	0	40	97.56%	1050	0	40	97.56%
2150	0	37	90.24%	8.6	0	40	97.56%	4300	0	40	97.56%	1075	0	40	97.56%
2200	0	37	90.24%	8.8	0	40	97.56%	4400	0	40	97.56%	1100	0	40	97.56%
2250	0	37	90.24%	9	0	40	97.56%	4500	0	40	97.56%	1125	0	40	97.56%
2300	0	37	90.24%	9.2	0	40	97.56%	4600	0	40	97.56%	1150	0	40	97.56%
2350	0	37	90.24%	9.4	0	40	97.56%	4700	0	40	97.56%	1175	0	40	97.56%
2400	0	37	90.24%	9.6	0	40	97.56%	4800	0	40	97.56%	1200	0	40	97.56%
2450	0	37	90.24%	9.8	0	40	97.56%	4900	1	41	100.00%	1225	0	40	97.56%
2500	1	38	92.68%	10	0	40	97.56%	5000	0	41	100.00%	1250	0	40	97.56%
2550	0	38	92.68%	10.2	0	40	97.56%	5100	0	41	100.00%	1275	0	40	97.56%
2600	0	38	92.68%	10.4	0	40	97.56%	5200	0	41	100.00%	1300	0	40	97.56%
2650	0	38	92.68%	10.6	0	40	97.56%	5300	0	41	100.00%	1325	0	40	97.56%
2700	0	38	92.68%	10.8	0	40	97.56%	5400	0	41	100.00%	1350	0	40	97.56%
2750	0	38	92.68%	11	0	40	97.56%	5500	0	41	100.00%	1375	0	40	97.56%
2800	0	38	92.68%	11.2	0	40	97.56%	5600	0	41	100.00%	1400	0	40	97.56%
2850	0	38	92.68%	11.4	0	40	97.56%	5700	0	41	100.00%	1425	0	40	97.56%
2900	0	38	92.68%	11.6	0	40	97.56%	5800	0	41	100.00%	1450	0	40	97.56%
2950	0	38	92.68%	11.8	0	40	97.56%	5900	0	41	100.00%	1475	0	40	97.56%
3000	1	39	95.12%	12	0	40	97.56%	6000	0	41	100.00%	1500	0	40	97.56%
3050	0	39	95.12%	12.2	0	40	97.56%	6100	0	41	100.00%	1525	0	40	97.56%
3100	0	39	95.12%	12.4	0	40	97.56%	6200	0	41	100.00%	1550	0	40	97.56%
3150	0	39	95.12%	12.6	0	40	97.56%	6300	0	41	100.00%	1575	0	40	97.56%
3200	0	39	95.12%	12.8	0	40	97.56%	6400	0	41	100.00%	1600	0	40	97.56%
3250	0	39	95.12%	13	0	40	97.56%	6500	0	41	100.00%	1625	0	40	97.56%
3300	0	39	95.12%	13.2	0	40	97.56%	6600	0	41	100.00%	1650	0	40	97.56%
3350	0	39	95.12%	13.4	0	40	97.56%	6700	0	41	100.00%	1675	0	40	97.56%
3400	0	39	95.12%	13.6	0	40	97.56%	6800	0	41	100.00%	1700	0	40	97.56%
3450	0	39	95.12%	13.8	0	40	97.56%	6900	0	41	100.00%	1725	0	40	97.56%
3500	0	39	95.12%	14	0	40	97.56%	7000	0	41	100.00%	1750	0	40	97.56%
3550	0	39	95.12%	14.2	0	40	97.56%	7100	0	41	100.00%	1775	0	40	97.56%
3600	0	39	95.12%	14.4	0	40	97.56%	7200	0	41	100.00%	1800	0	40	97.56%
3650	0	39	95.12%	14.6	0	40	97.56%	7300	0	41	100.00%	1825	0	40	97.56%
3700	0	39	95.12%	14.8	0	40	97.56%	7400	0	41	100.00%	1850	0	40	97.56%
3750	0	39	95.12%	15	0	40	97.56%	7500	0	41	100.00%	1875	0	40	97.56%
3800	0	39	95.12%	15.2	1	41	100.00%	7600	0	41	100.00%	1900	0	40	97.56%
3850	0	39	95.12%	15.4	0	41	100.00%	7700	0	41	100.00%	1925	0	40	97.56%
3900	0	39	95.12%	15.6	0	41	100.00%	7800	0	41	100.00%	1950	0	40	97.56%
3950	0	39	95.12%	15.8	0	41	100.00%	7900	0	41	100.00%	1975	0	40	97.56%
4000	0	39	95.12%	16	0	41	100.00%	8000	0	41	100.00%	2000	0	40	97.56%
4050	0	39	95.12%	16.2	0	41	100.00%	8100	0	41	100.00%	2025	0	40	97.56%
4100	1	40	97.56%	16.4	0	41	100.00%	8200	0	41	100.00%	2050	0	40	97.56%
4150	0	40	97.56%	16.6	0	41	100.00%	8300	0	41	100.00%	2075	0	40	97.56%
4200	0	40	97.56%	16.8	0	41	100.00%	8400	0	41	100.00%	2100	0	40	97.56%
4250	0	40	97.56%	17	0	41	100.00%	8500	0	41	100.00%	2125	0	40	97.56%
4300	0	40	97.56%	17.2	0	41	100.00%	8600	0	41	100.00%	2150	0	40	97.56%
4350	0	40	97.56%	17.4	0	41	100.00%	8700	0	41	100.00%	2175	0	40	97.56%
4400	0	40	97.56%	17.6	0	41	100.00%	8800	0	41	100.00%	2200	0	40	97.56%
4450	0	40	97.56%	17.8	0	41	100.00%	8900	0	41	100.00%	2225	0	40	97.56%
4500	0	40	97.56%	18	0	41	100.00%	9000	0	41	100.00%	2250	0	40	97.56%
4550	0	40	97.56%	18.2	0	41</									

Tableau 6 : Fréquence d'occurrence des concentrations en plomb, zinc et HAP

Plomb				Zinc				HAP			
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%
600	33	33	80.49%	125	24	24	58.54%	1	22	22	53.66%
1200	0	33	80.49%	250	5	29	70.73%	2	1	23	56.10%
1800	1	34	82.93%	375	2	31	75.61%	3	3	26	63.41%
2400	0	34	82.93%	500	2	33	80.49%	4	2	28	68.29%
3000	2	36	87.80%	625	2	35	85.37%	5	1	29	70.73%
3600	1	37	90.24%	750	0	35	85.37%	6	1	30	73.17%
4200	0	37	90.24%	875	0	35	85.37%	7	1	31	75.61%
4800	0	37	90.24%	1000	0	35	85.37%	8	1	32	78.05%
5400	1	38	92.68%	1125	0	35	85.37%	9	0	32	78.05%
6000	0	38	92.68%	1250	1	36	87.80%	10	1	33	80.49%
6600	0	38	92.68%	1375	0	36	87.80%	11	0	33	80.49%
7200	0	38	92.68%	1500	2	38	92.68%	12	0	33	80.49%
7800	0	38	92.68%	1625	1	39	95.12%	13	1	34	82.93%
8400	1	39	95.12%	1750	0	39	95.12%	14	0	34	82.93%
9000	1	40	97.56%	1875	0	39	95.12%	15	0	34	82.93%
9600	0	40	97.56%	2000	0	39	95.12%	16	0	34	82.93%
10200	0	40	97.56%	2125	0	39	95.12%	17	0	34	82.93%
10800	0	40	97.56%	2250	0	39	95.12%	18	1	35	85.37%
11400	0	40	97.56%	2375	0	39	95.12%	19	0	35	85.37%
12000	0	40	97.56%	2500	0	39	95.12%	20	1	36	87.80%
12600	0	40	97.56%	2625	0	39	95.12%	21	1	37	90.24%
13200	0	40	97.56%	2750	1	40	97.56%	22	0	37	90.24%
13800	0	40	97.56%	2875	0	40	97.56%	23	0	37	90.24%
14400	0	40	97.56%	3000	0	40	97.56%	24	0	37	90.24%
15000	0	40	97.56%	3125	0	40	97.56%	25	1	38	92.68%
15600	0	40	97.56%	3250	0	40	97.56%	26	0	38	92.68%
16200	0	40	97.56%	3375	0	40	97.56%	27	1	39	95.12%
16800	0	40	97.56%	3500	0	40	97.56%	28	0	39	95.12%
17400	0	40	97.56%	3625	0	40	97.56%	29	0	39	95.12%
18000	0	40	97.56%	3750	0	40	97.56%	30	0	39	95.12%
18600	0	40	97.56%	3875	0	40	97.56%	31	0	39	95.12%
19200	0	40	97.56%	4000	0	40	97.56%	32	0	39	95.12%
19800	0	40	97.56%	4125	0	40	97.56%	33	0	39	95.12%
20400	0	40	97.56%	4250	0	40	97.56%	34	0	39	95.12%
21000	0	40	97.56%	4375	0	40	97.56%	35	0	39	95.12%
21600	0	40	97.56%	4500	0	40	97.56%	36	0	39	95.12%
22200	0	40	97.56%	4625	0	40	97.56%	37	1	40	97.56%
22800	0	40	97.56%	4750	0	40	97.56%	38	0	40	97.56%
23400	0	40	97.56%	4875	0	40	97.56%	39	0	40	97.56%
24000	0	40	97.56%	5000	1	41	100.00%	40	0	40	97.56%
24600	0	40	97.56%	5125	0	41	100.00%	41	0	40	97.56%
25200	0	40	97.56%	5250	0	41	100.00%	42	0	40	97.56%
25800	0	40	97.56%	5375	0	41	100.00%	43	0	40	97.56%
26400	0	40	97.56%	5500	0	41	100.00%	44	0	40	97.56%
27000	0	40	97.56%	5625	0	41	100.00%	45	0	40	97.56%
27600	0	40	97.56%	5750	0	41	100.00%	46	0	40	97.56%
28200	0	40	97.56%	5875	0	41	100.00%	47	0	40	97.56%
28800	0	40	97.56%	6000	0	41	100.00%	48	0	40	97.56%
29400	0	40	97.56%	6125	0	41	100.00%	49	0	40	97.56%
30000	0	40	97.56%	6250	0	41	100.00%	50	0	40	97.56%
30600	0	40	97.56%	6375	0	41	100.00%	51	0	40	97.56%
31200	0	40	97.56%	6500	0	41	100.00%	52	0	40	97.56%
31800	0	40	97.56%	6625	0	41	100.00%	53	0	40	97.56%
32400	0	40	97.56%	6750	0	41	100.00%	54	0	40	97.56%
33000	0	40	97.56%	6875	0	41	100.00%	55	0	40	97.56%
33600	0	40	97.56%	7000	0	41	100.00%	56	0	40	97.56%
34200	0	40	97.56%	7125	0	41	100.00%	57	0	40	97.56%
34800	0	40	97.56%	7250	0	41	100.00%	58	0	40	97.56%
35400	0	40	97.56%	7375	0	41	100.00%	59	1	41	100.00%
36000	0	40	97.56%	7500	0	41	100.00%	60	0	41	100.00%
36600	0	40	97.56%	7625	0	41	100.00%	61	0	41	100.00%
37200	0	40	97.56%	7750	0	41	100.00%	62	0	41	100.00%
37800	0	40	97.56%	7875	0	41	100.00%	63	0	41	100.00%
38400	0	40	97.56%	8000	0	41	100.00%	64	0	41	100.00%
39000	0	40	97.56%	8125	0	41	100.00%	65	0	41	100.00%
39600	0	40	97.56%	8250	0	41	100.00%	66	0	41	100.00%
40200	0	40	97.56%	8375	0	41	100.00%	67	0	41	100.00%
40800	0	40	97.56%	8500	0	41	100.00%	68	0	41	100.00%
41400	0	40	97.56%	8625	0	41	100.00%	69	0	41	100.00%
42000	0	40	97.56%	8750	0	41	100.00%	70	0	41	100.00%
42600	0	40	97.56%	8875	0	41	100.00%	71	0	41	100.00%
43200	0	40	97.56%	9000	0	41	100.00%	72	0	41	100.00%
43800	0	40	97.56%	9125	0	41	100.00%	73	0	41	100.00%
44400	0	40	97.56%	9250	0	41	100.00%	74	0	41	100.00%
45000	0	40	97.56%	9375	0	41	100.00%	75	0	41	100.00%
45600	0	40	97.56%	9500	0	41	100.00%	76	0	41	100.00%
46200	0	40	97.56%	9625	0	41	100.00%	77	0	41	100.00%
46800	0	40	97.56%	9750	0	41	100.00%	78	0	41	100.00%
47400	1	41	100.00%	9875	0	41	100.00%	79	0	41	100.00%

ARSENIC

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

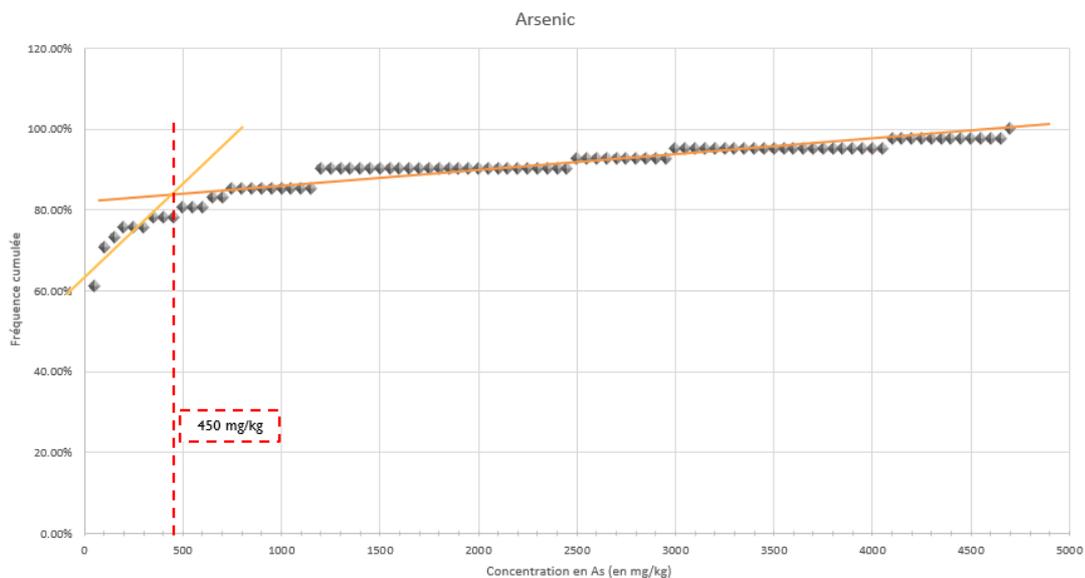


Figure 9 : Fréquence cumulée des teneurs en arsenic

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

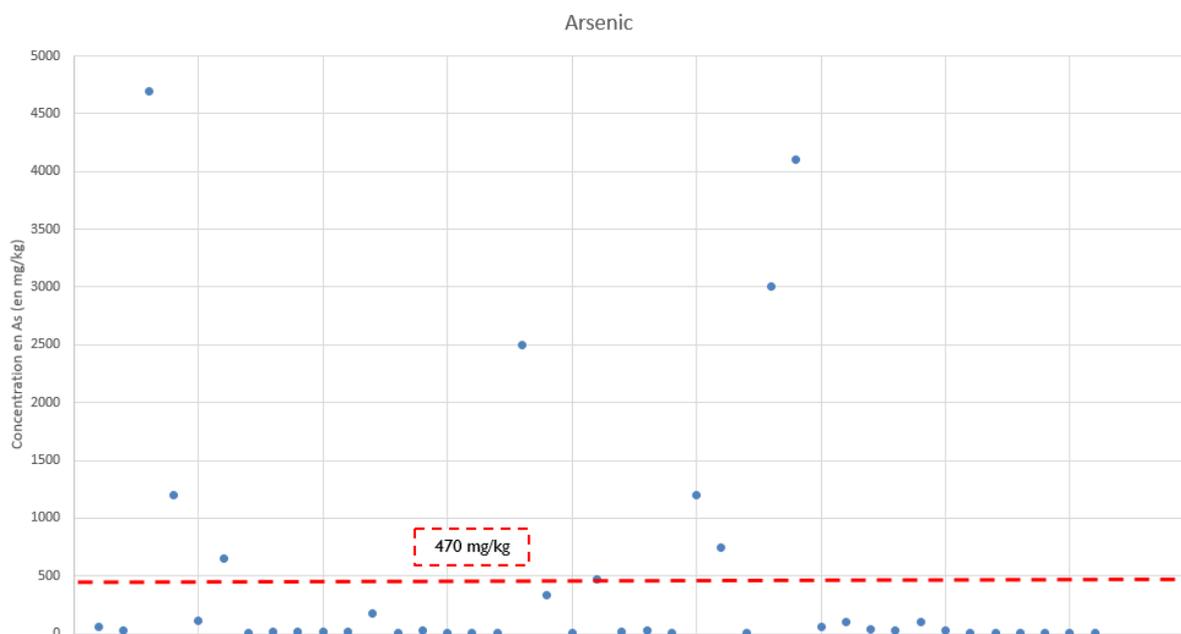


Figure 10 : Répartition des concentrations en arsenic

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 470 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

CADMIUM

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

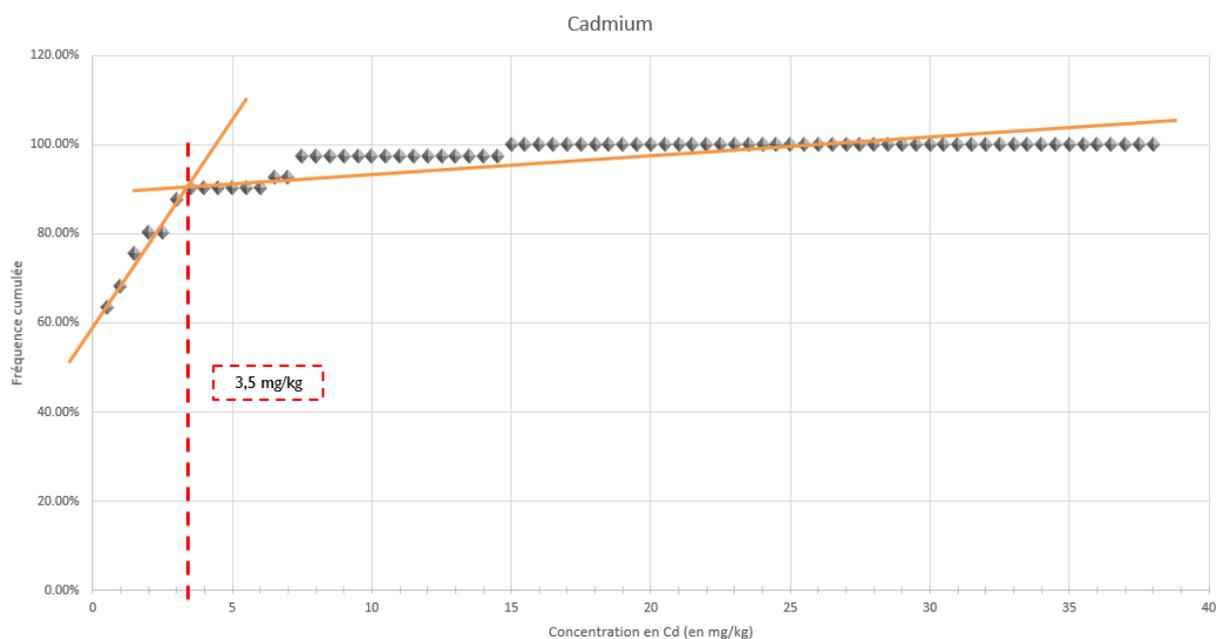


Figure 11 : Fréquence cumulée des teneurs en cadmium

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

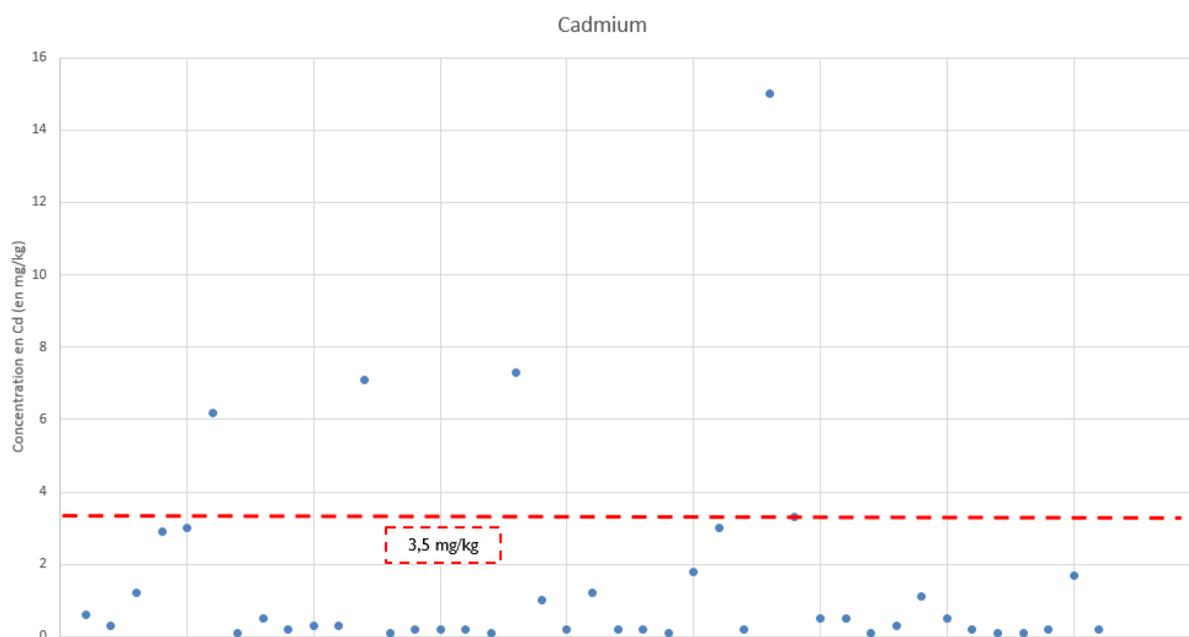


Figure 12 : Répartition des concentrations en cadmium

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 3,5 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

CUIVRE

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

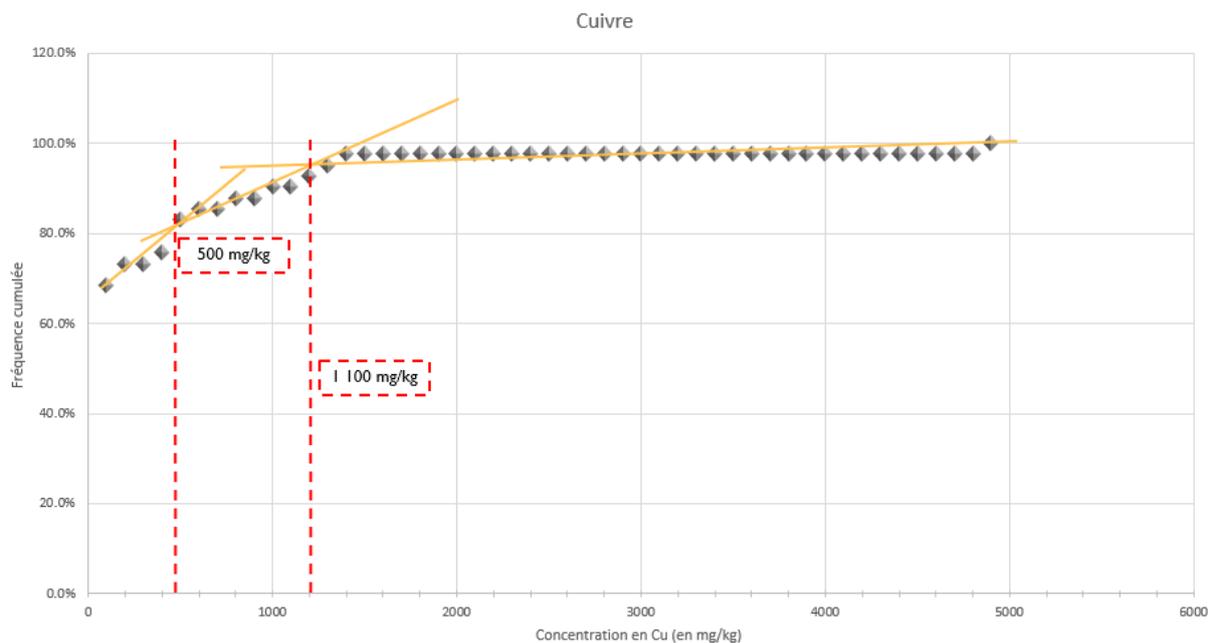


Figure 13 : Fréquence cumulée des teneurs en cuivre

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

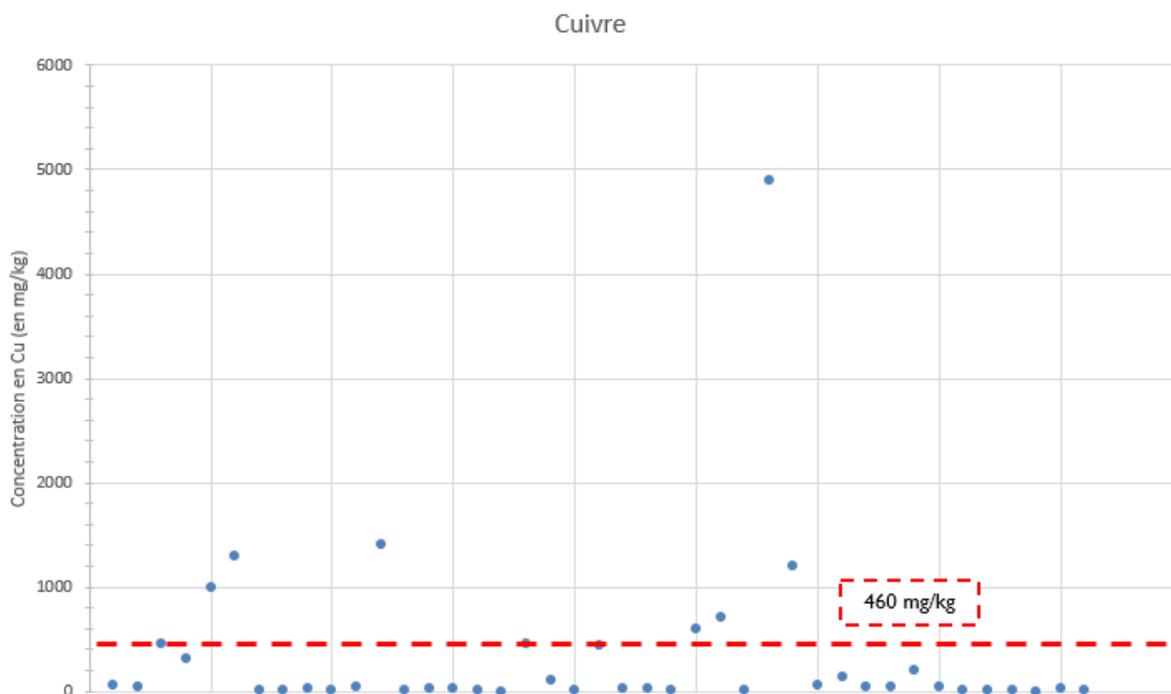


Figure 14 : Répartition des concentrations en cuivre

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 460 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

MERCURE

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

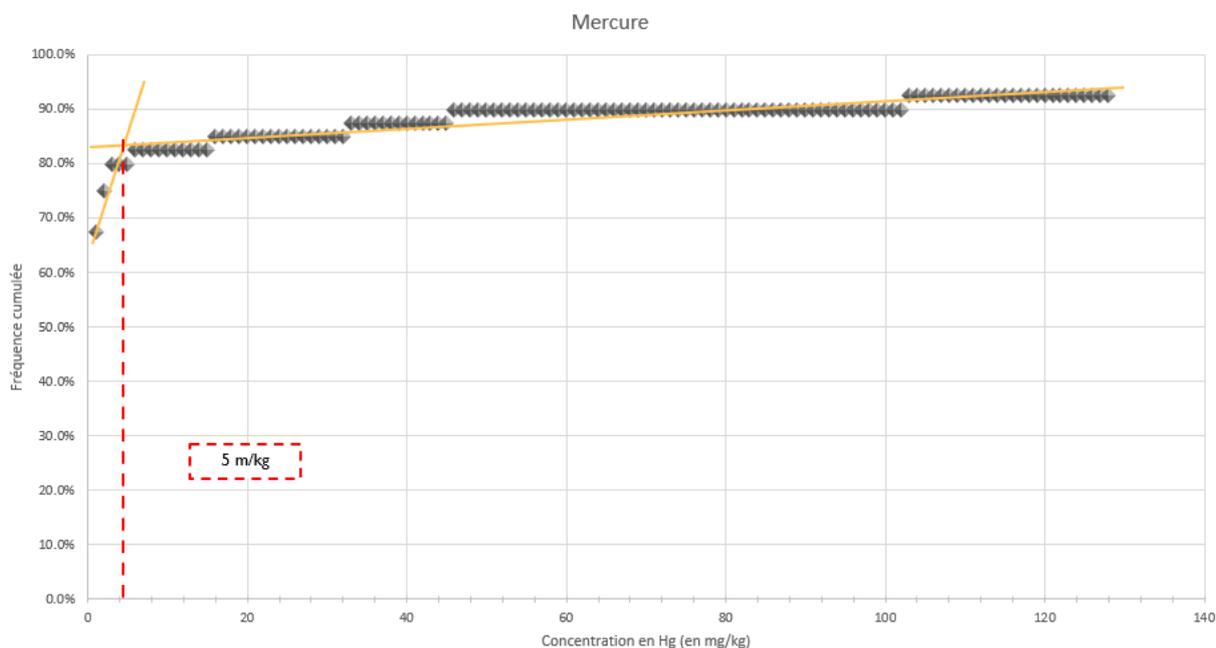


Figure 15 : Fréquence cumulée des teneurs en mercure

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

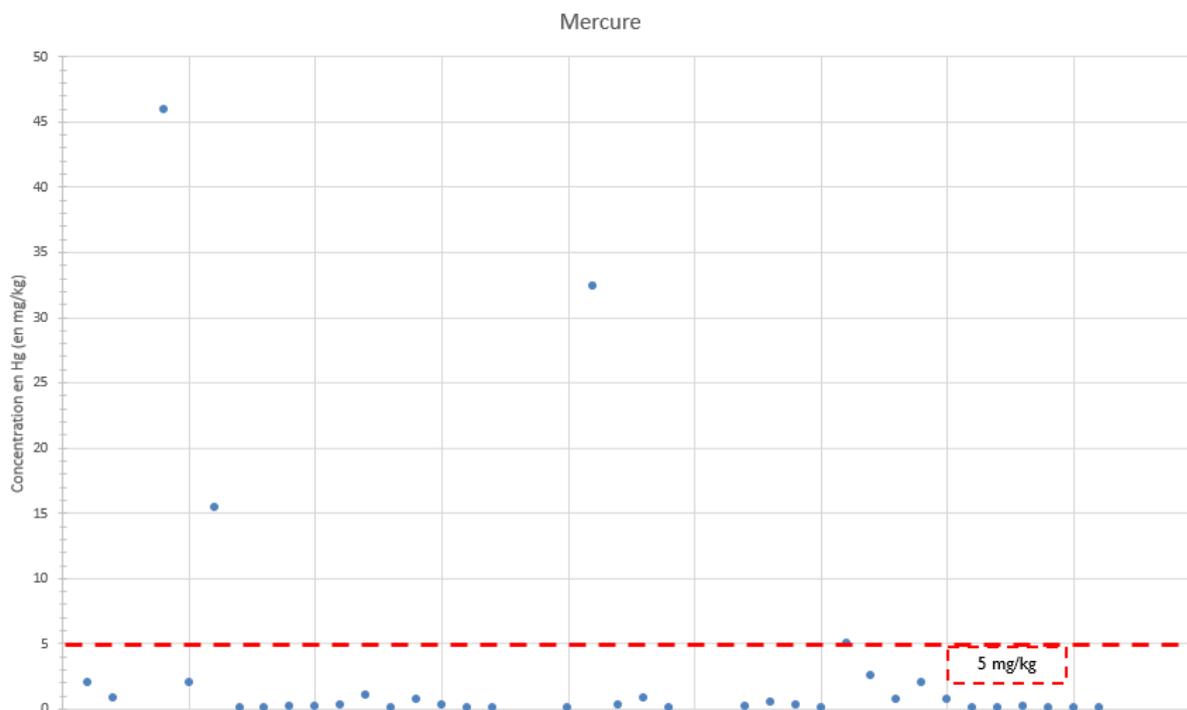


Figure 16 : Répartition des concentrations en mercure

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 5 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

PLOMB

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

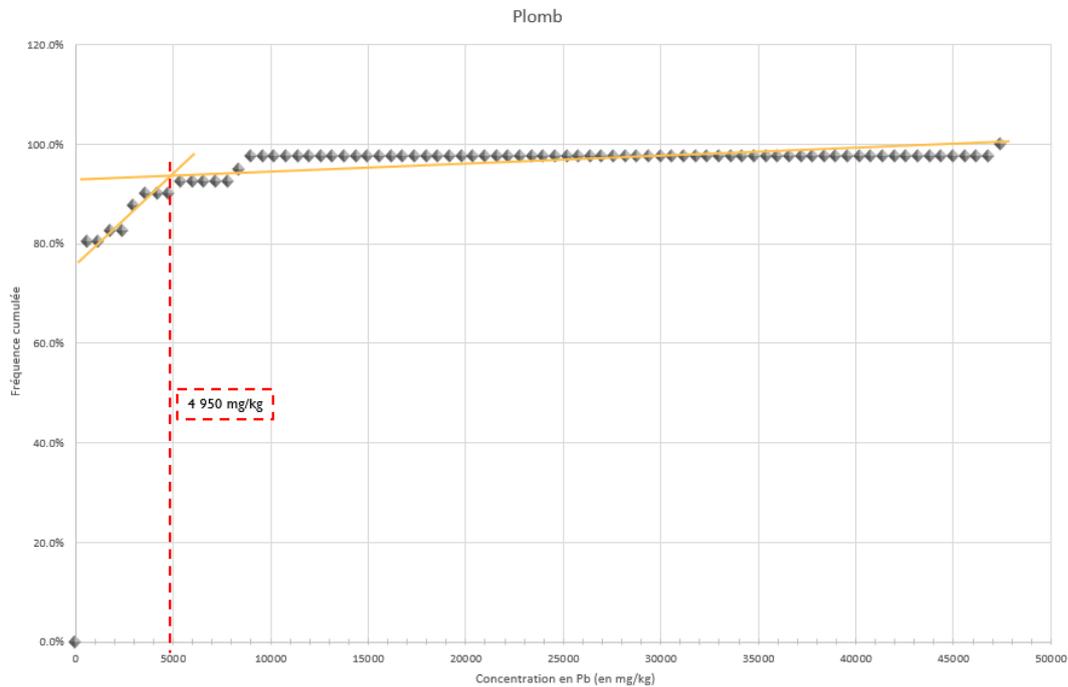


Figure 17 : Fréquence cumulée des teneurs en plomb (toutes valeurs)

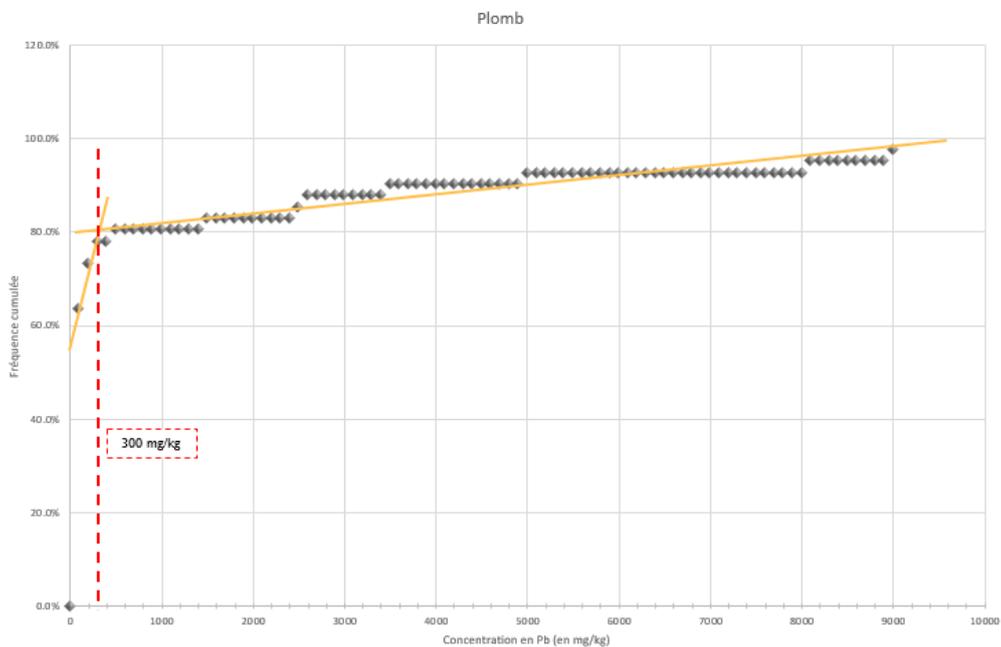


Figure 18 : Fréquence cumulée des teneurs en plomb (hors valeur maximale de 47 000 mg/kg MS)

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

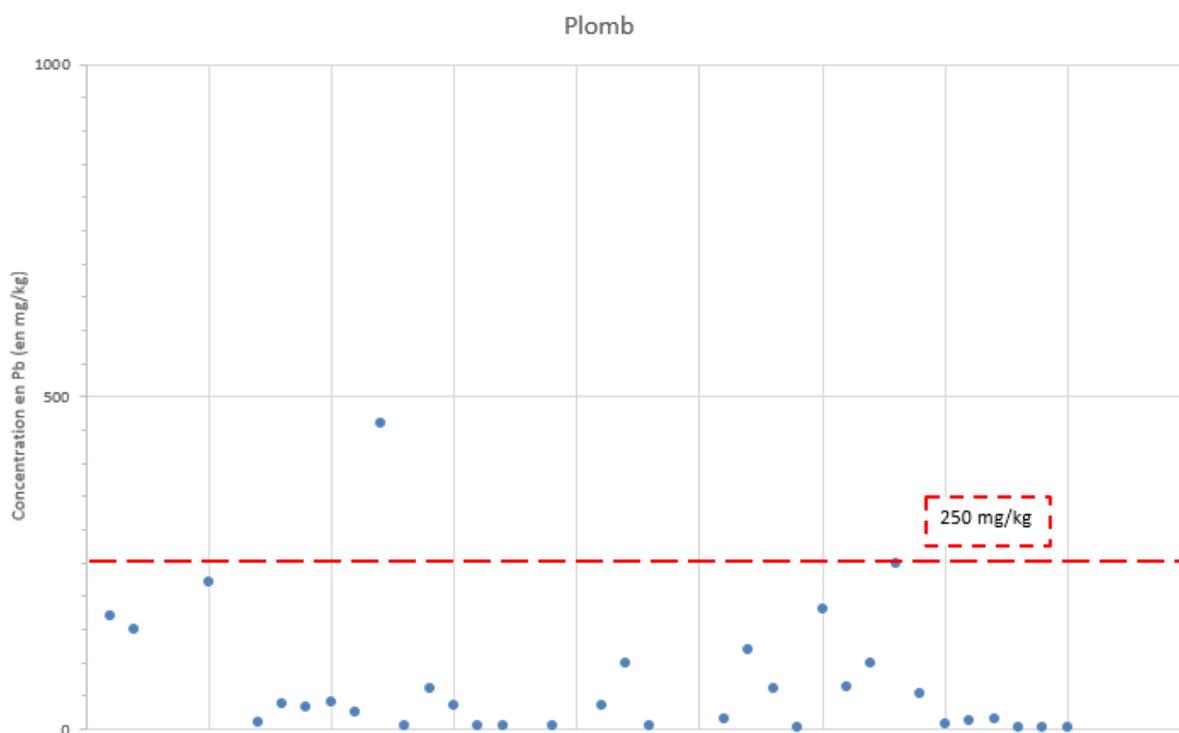


Figure 19 : Répartition des concentrations en plomb

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 250 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure (la valeur maximale étant très haute celle-ci « fausse » la valeur donnée par l'analyse des fréquences en figure 17).

ZINC

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

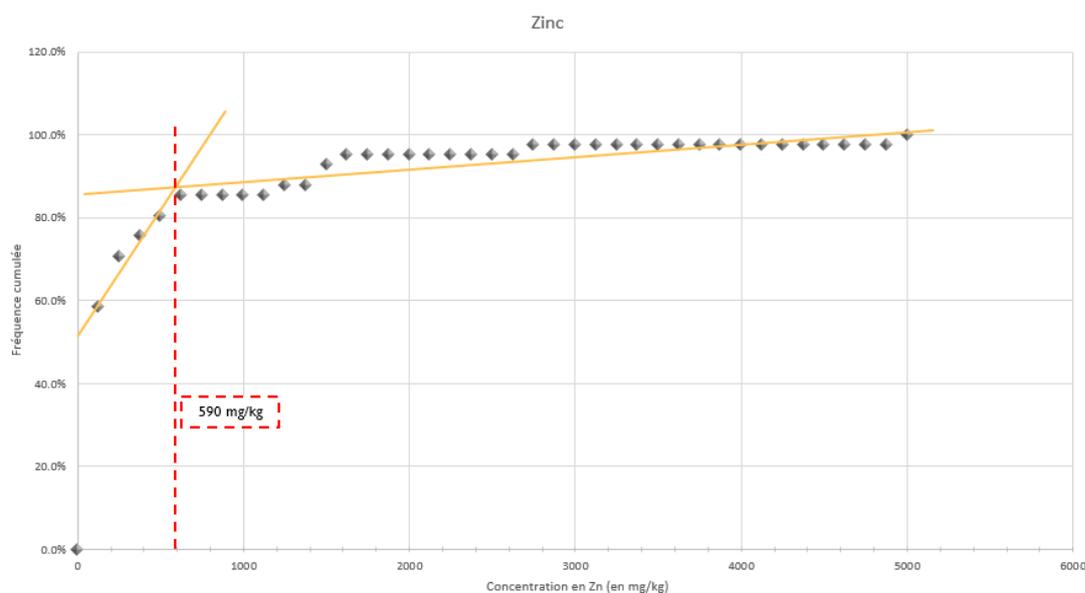


Figure 20 : Fréquence cumulée des teneurs en zinc

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

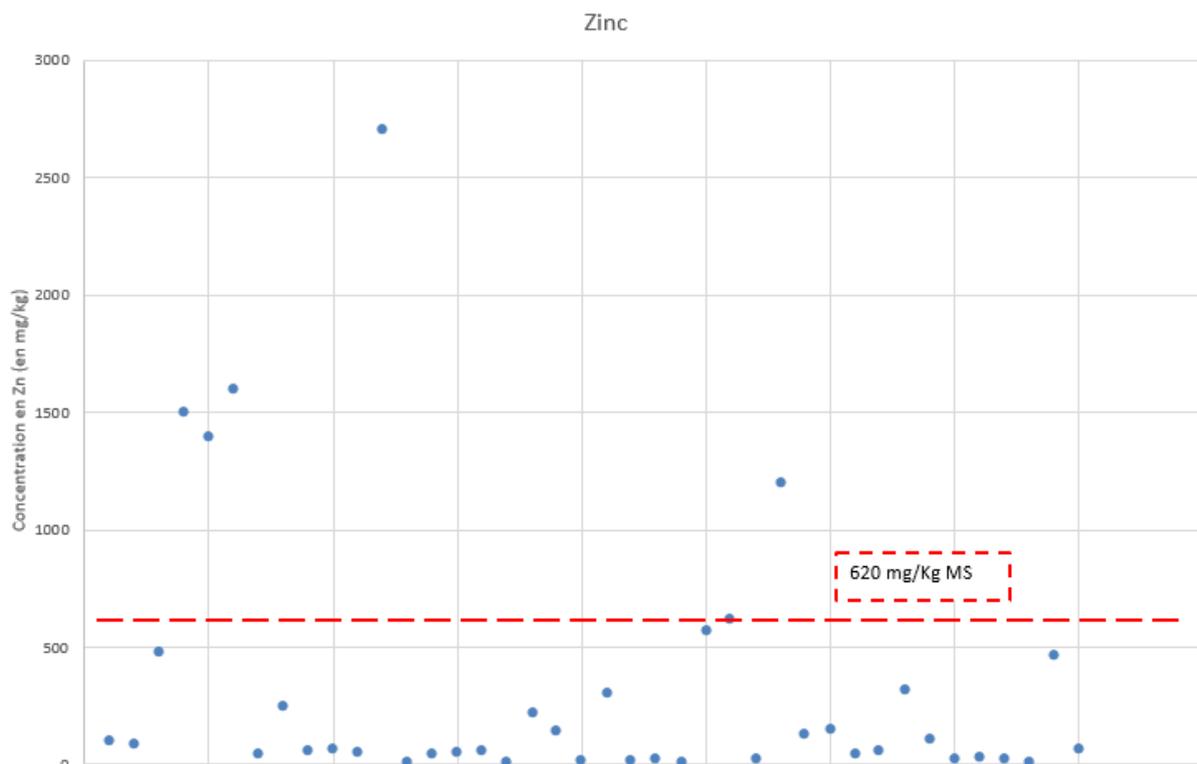


Figure 21 : Répartition des concentrations en zinc

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 550 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

HAP

L'analyse des fréquences d'occurrence des concentrations permet de tracer le graphique suivant.

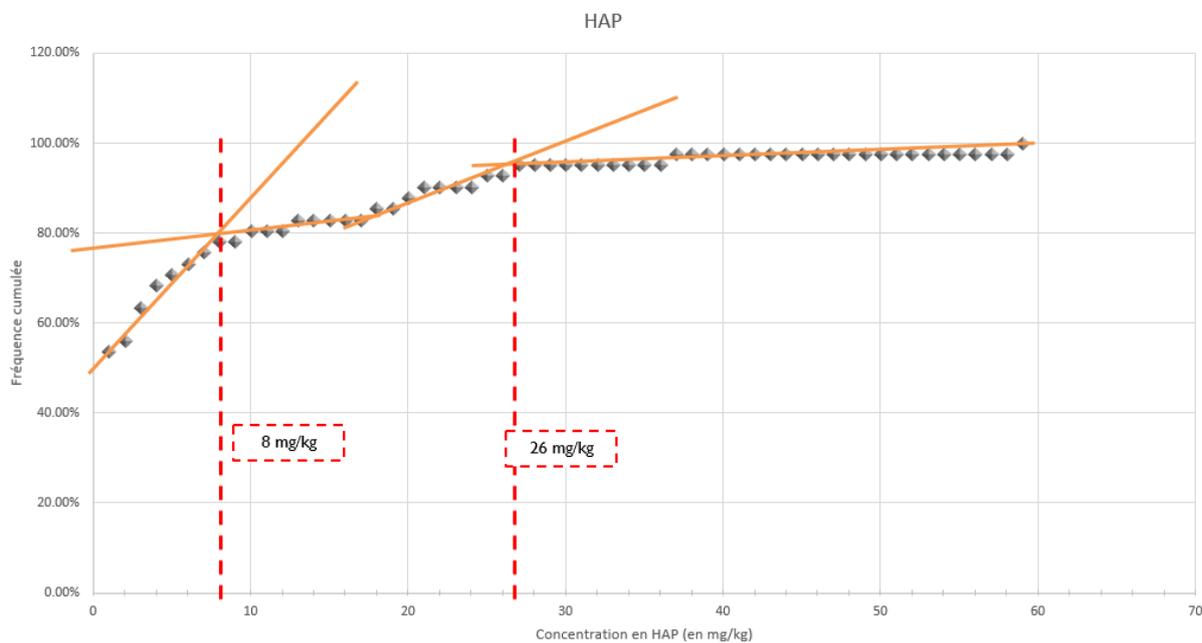


Figure 22 : Fréquence cumulée des teneurs en HAP

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

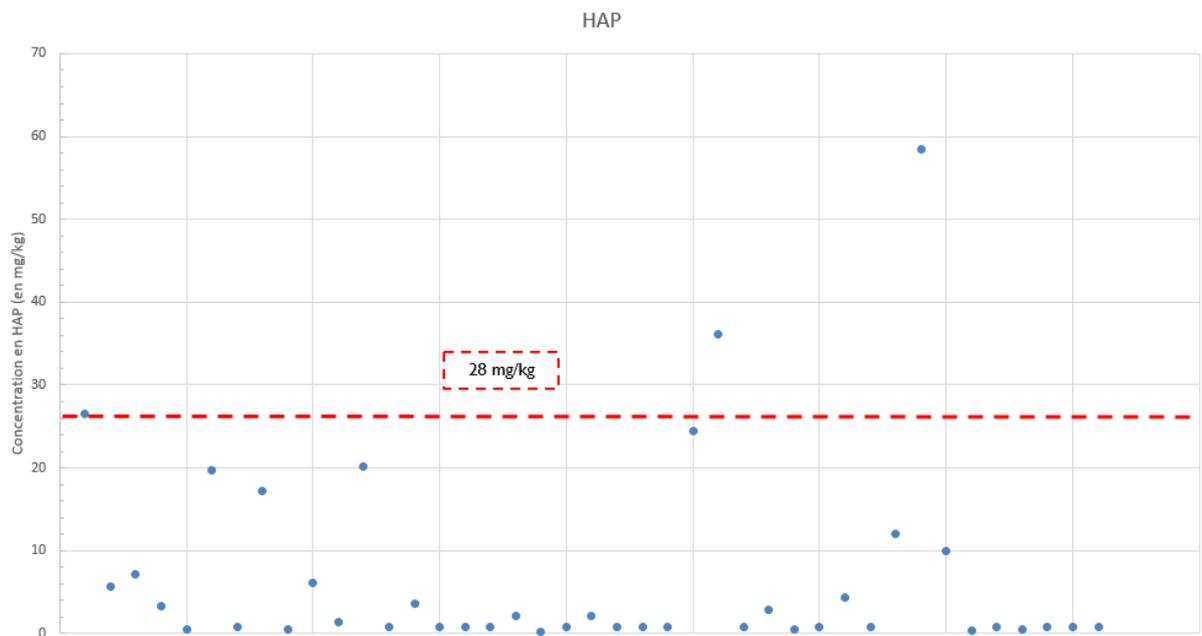


Figure 23 : Répartition des concentrations en HAP

Compte tenu de l'analyse statistique, une valeur de 27 mg/kg MS a été retenue comme seuil de coupure.

Les valeurs obtenues des analyses statistiques et de fréquences sont rappelées dans le tableau suivant.

Paramètre	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	HAP
Ruptures de pentes	450	3,5	500	4	4950	590	26
Percentile 80	470	1,8	460	5,1	244	440	10
Nuage de points	470	3,5	460	5	250	620	28

Au vu des résultats des diverses méthodes employés, nous pouvons voir que plusieurs valeurs sont proches ou identiques, indiquant que ces valeurs séparent bien des concentrations imputables au bruit de fond du site et des concentrations dues à de fortes anomalies. Nous pouvons donc dès lors déterminer des seuils de coupures.

L'ensemble des seuils de coupures retenus sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètre	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	HAP
Seuils de coupure (mg/kg MS)	470	3,5	460	5	250	550	27

Ainsi les figures suivantes définissent les zones de pollution retenues par les seuils de coupure.



Figure 24 : Zones de pollutions en arsenic, cadmium et HAP définies par les seuils de coupure



Figure 25 : Zones de pollutions en cuivre et mercure définies par les seuils de coupure



Figure 26 : Zones de pollutions en plomb et zinc définies par les seuils de coupure

E.3.2. Conclusion sur le seuil de coupure retenu

Les objectifs de réhabilitation tiennent compte des seuils de coupure définis ci-avant 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.3.3. Définition des mailles de terres présentant une pollution à gérer

Suite à la définition des zones de pollution ci-avant, nous pouvons désormais définir des mailles de terres polluées à gérer afin d'obtenir des volumes.

Ainsi la cartographie suivante présente les mailles de gestion des terres retenues.

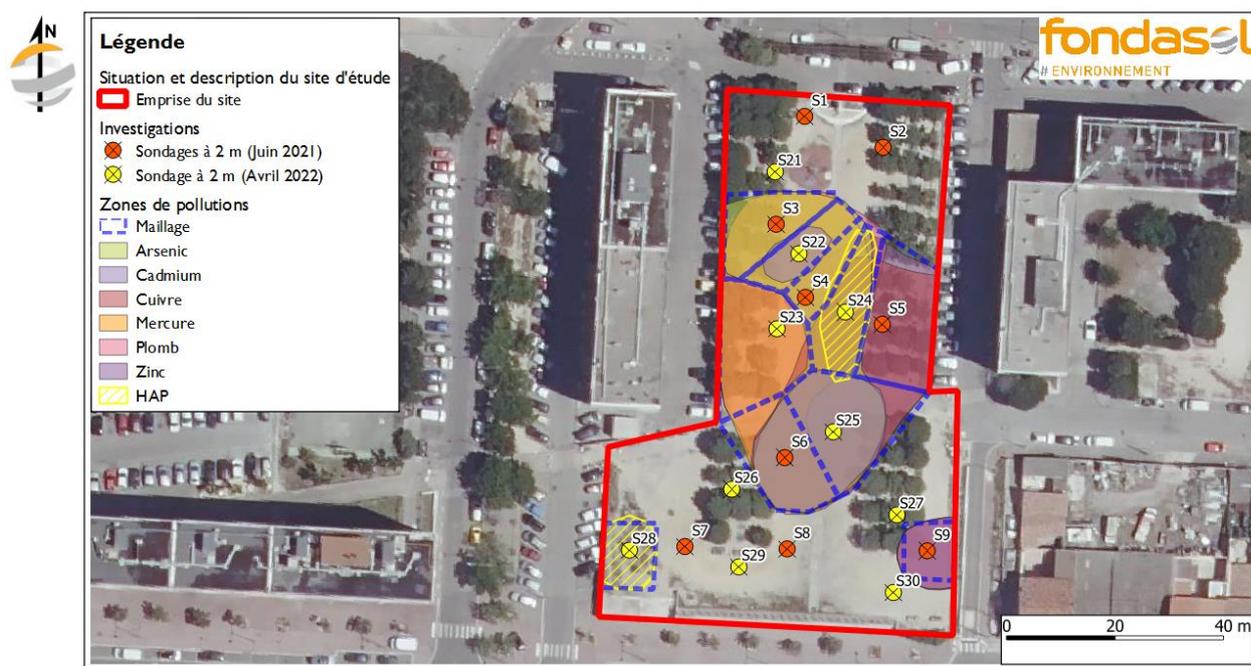


Figure 27 : Maillage des zones de pollution à gérer

Le tableau ci-après présente les pollutions gérées par chaque maille ainsi que les volumes associés :

Tableau 7 : Volumes concernés par les mesures de gestion

Echantillons	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	HAP (dont naphthalène)	Superficie (en m ²)	Volume (en m ³)
S3 (0,0-0,4 m)	X			X	X			200	80.0
S4 (0,0-0,4 m)	X			X	X	X		101	40.4
S5 (0,0-0,7 m)			X			X		335	234.5
S6 (0,0-1,0 m)	X	X	X	X	X	X		262	262.0
S9 (0,0-0,3 m) ²								98	29.4
S9 (0,3-0,8 m)		X	X		X	X			49.0
S22 (0,0-0,2 m) ²								135	27.0
S22 (0,2-0,6 m)	X	X		X	X				54.0
S22 (0,6-1,0 m)				X	X				54.0
S23 (0,0-0,3 m) ²								335	100.5
S23 (0,3-0,5 m)				X	X				67.0
S24 (0,0-0,1 m) ²								200	20.0
S24 (0,1-0,3 m)	X		X	X	X	X			40.0
S24 (0,3-0,6 m)	X		X	X	X	X	X		60.0
S25 (0,0-0,1 m)	Non analysé							338	33.8
S25 (0,1-0,5 m)	X	X	X			X			135.2
S25 (0,5-0,8 m)	X	X	X			X			101.4
S28 (0,0-0,7 m)							X	117	81.9
Total (en m ³)	773.0	601.6	882.1	657.4	706.4	922.5	141.9		1470

Compte tenu de ces volumes, il peut être déterminé les volumes pour chaque filière d'évacuation dans le cas où une gestion par excavation des terres serait retenue (d'après les résultats d'analyses présentés dans le rapport PR.69EN.22.0018-Pièce n°001).

² Bien que ces échantillons ne présentent pas de dépassement des seuils de coupures retenues ces derniers sont quand même présentés pour évaluer le volume de terre qui sera obligatoirement excavé dans le cadre de la réalisation de méthode sur site ou hors-site. Les volumes associés représentant des terres « saines » pourront être réutilisés en remblaiement.

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 (échantillons dont les lignes sont colorées en orange dans le tableau suivant), 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. Dans ce cadre, deux hypothèses ont été retenues pour cette étude :
 - une hypothèse basse en considérant que les terres présentant des indices (terres noires) mais aucun dépassement des seuils ISDI pourront être acceptées en ISDI,
 - une hypothèse haute en considérant que les terres présentant des indices (terres noires) mais aucun dépassement des seuils ISDI devront être orientées vers une ISDND,
- si aucune extrapolation n'a pu être réalisée du fait d'un manque de donnée une évacuation ISDI a été retenue pour l'hypothèse basse et une évacuation en ISDND a été retenue pour l'hypothèse haute.

Tableau 8 : Volume associés de chaque filière d'évacuation retenue

Filière envisagée hypothèse basse					
Echantillons	ISDI	Biocentre	ISDND	ISDD	Volume (en m ³)
S3 (0,0-0,4 m)	X				80.0
S4 (0,0-0,4 m)	X				40.4
S5 (0,0-0,7 m)			X		234.5
S6 (0,0-1,0 m)	X				262.0
S9 (0,0-0,3 m) ³	X				29.4
S9 (0,3-0,8 m)	X				49.0
S22 (0,0-0,2 m) ³	X				27.0
S22 (0,2-0,6 m)	X				54.0
S22 (0,6-1,0 m)	X				54.0
S23 (0,0-0,3 m) ³	X				100.5
S23 (0,3-0,5 m)	X				67.0
S24 (0,0-0,1 m) ³				X	20.0
S24 (0,1-0,3 m)			X		40.0
S24 (0,3-0,6 m)	X				60.0
S25 (0,0-0,1 m)	X				33.8
S25 (0,1-0,5 m)			X		135.2
S25 (0,5-0,8 m)	X				101.4
S28 (0,0-0,7 m)		X			81.9
Total (en m³)	958.5	81.9	409.7	20.0	1470.0
Filière envisagée hypothèse haute					
Echantillons	ISDI	Biocentre	ISDND	ISDD	Volume (en m ³)
S3 (0,0-0,4 m)			X		80.0
S4 (0,0-0,4 m)	X				40.4
S5 (0,0-0,7 m)			X		234.5
S6 (0,0-1,0 m)			X		262.0
S9 (0,0-0,3 m) ³	X				29.4
S9 (0,3-0,8 m)			X		49.0
S22 (0,0-0,2 m) ³	X				27.0
S22 (0,2-0,6 m)			X		54.0
S22 (0,6-1,0 m)			X		54.0
S23 (0,0-0,3 m) ³	X				100.5
S23 (0,3-0,5 m)			X		67.0
S24 (0,0-0,1 m) ³				X	20.0
S24 (0,1-0,3 m)			X		40.0
S24 (0,3-0,6 m)			X		60.0
S25 (0,0-0,1 m)			X		33.8
S25 (0,1-0,5 m)			X		135.2
S25 (0,5-0,8 m)			X		101.4
S28 (0,0-0,7 m)			X		81.9
Total (en m³)	197.3	0	1252.8	20.0	1470.0

De ce tableau, il ressort que les terres pouvant être réutilisées sur site en remblaiement (ces terres ne présentent pas de fortes teneurs sur brut et sont présent au droit des échantillons S9 (0,0-0,3 m), S22 (0,0-0,2 m), S23 (0,0-0,3 m), S24 (0,0-0,1 m)) peuvent être évacuées en ISDI ou ISDD. Ce volume représentant 176,4 m³, ce dernier ne sera pas pris en compte comme volume à évacuer. D'autre part, cela permettra d'éviter une évacuation d'un volume de 20 m³ en ISDD.

³ Bien que ces échantillons ne présente pas de dépassement des seuils de coupures retenues ces derniers sont quand même présenté pour évaluer le volume de terre qui sera obligatoirement excavé dans le cadre de la réalisation de méthode sur site ou hors-site. Les volumes associés représentant des terres « saines » pourront être réutilisé en remblaiement.

E.4. Revue des techniques disponibles

E.4.1. Classement par critères propres au site

Le choix d'une technique pour traiter et maîtriser les sources et les impacts est guidée par :

- les conditions d'accès à la source : aisées après déboisement du site ;
- les conditions physico-chimiques du milieu à traiter : oxygénation, pH, porosité et perméabilité à l'air des couches géologiques, niveau statique de nappe. Ces conditions sont propres à chaque zone source ;
- les objectifs à atteindre (qualitatif, quantitatif) : nous considérons le traitement d'une source dont la quantité est estimée sur la base des éléments fournis, et un objectif de qualité sur site compte tenu de l'usage futur et des risques associés ;
- la durée du traitement : certains traitements in situ peuvent dépasser plusieurs mois sans que ceci constitue un frein, lorsqu'il n'est pas prévu de réaménagement immédiat du site. Dans le cas présent, le projet de réaménagement du site peut s'étaler sur plusieurs mois ;
- les risques sanitaires et nuisances engendrés par le traitement : les traitements proposés doivent permettre de garantir une maîtrise des risques sanitaires pour les opérateurs et de maîtriser toute émission pour les riverains. En particulier, en cas de traitement in-situ, le risque de formation de produits de dégradation plus toxiques que le polluant traité doit être pris en compte. Cela pourrait ainsi être le cas pour des traitements in-situ biologiques anaérobie avec la production de chlorure de vinyle, particulièrement problématique vis-à-vis des risques sanitaires. En cas d'excavation, en regard des teneurs mesurées dans les gaz du sol, la coactivité doit être limitée au maximum et, si elle ne peut être évitée, des équipements de protection collective doivent être prévus (par exemple, excavation sous chapiteau) ;
- le coût : certaines techniques sont rapidement écartées car elles nécessitent la mobilisation d'installations coûteuses qui ne peuvent se justifier ;
- la simplicité de mise en œuvre : une technique simple et éprouvée est toujours préférable à une technique sophistiquée ou encore au stade expérimental (qui limiterait le nombre d'entreprises répondant à une consultation et qui complexifierait la maintenance du dispositif) ;
- les nuisances au voisinage : le site étant aujourd'hui à usage de promenade, ce dernier sera fermé au public lors du traitement.

E.4.2. Classement en fonction des procédés employés

Il existe plusieurs types de traitements :

- traitements physiques : ils induisent une modification des paramètres physiques pour extraire (pompage, excavation, volatilisation) ou isoler (confinement, stabilisation) un polluant ;
- traitements biologiques : ils utilisent des capacités métaboliques d'un microorganisme ou d'un consortium microbien pour réduire (biotertre), modifier (déchloration réductive) ou extraire (biolixiviation) un polluant ;
- traitements chimiques : ils utilisent des réactifs chimiques pour détruire (oxydation, réduction) ou de tensio-actifs pour extraire (lavage) un polluant ;

- traitements thermiques : ils utilisent de la chaleur pour extraire par fluidification / volatilisation ou destruction un polluant.

E.4.3. Classement en fonction des lieux de traitement

Pour chacune des sources de pollution, 4 techniques de traitement sont envisageables (cf. Figure 28) :

- in-situ (en place) : cette technique est appliquée aux sols non excavés et aux eaux non extraites ; le traitement du polluant agit directement sur le sous-sol ;
- sur site : les sols et les eaux pollués sont extraits et le traitement a lieu sur site même dans des installations mobiles ;
- hors site : les sols et les eaux pollués sont extraits et traités hors site dans des installations fixes et autorisées ;
- confinement : il consiste à empêcher / limiter la migration du polluant.

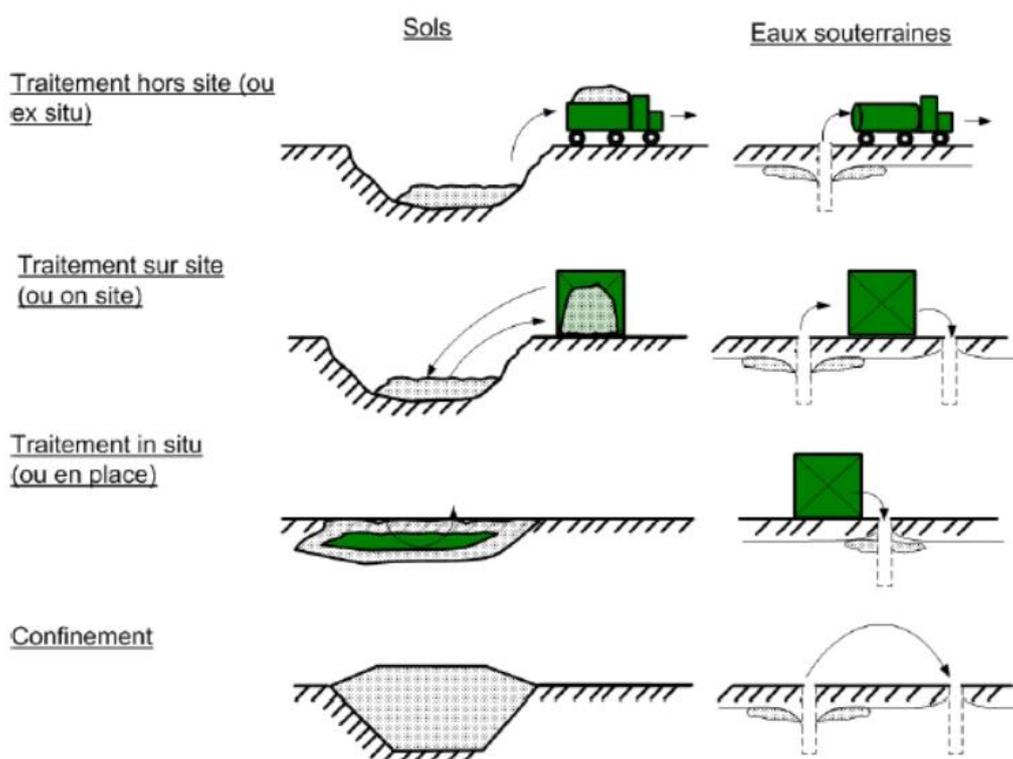


Figure 28 : Famille de techniques de dépollution par lieu de traitement (source : Rapport BRGM RP-57708-FR, juin 2010)

E.4.4. Classement par devenir des polluants

Il existe 2 possibilités :

- l'immobilisation qui met en jeu des techniques qui permettent de modifier la mobilité et/ou la toxicité des polluants par 2 types de processus :
 - la modification du polluant (en agissant sur le niveau d'oxydo-réduction, complexation, précipitation),
 - la modification du milieu récepteur (par solidification ou stabilisation ou par confinement) ;
- la destruction (totale ou partielle).

E.4.5. Sélection / rejet des techniques disponibles

Compte tenu des substances et des concentrations identifiées dans les différents milieux, le Tableau 9 présente l'ensemble des techniques théoriquement envisageables en première approche sur le site. Il indique celles qui ont été retenues pour une évaluation plus détaillée au chapitre suivant (surlignées en vert), et décrit les raisons qui ont conduit à faire ces choix.

Nota : compte tenu de la problématique du site, nous n'étudierons pas les techniques non adaptées aux zones non saturées ou aux composés étudiés.

Tableau 9 : Revue des techniques disponibles (norme NFX31-620-4)

Codification AFNOR (norme NFX31-620-4)	TECHNIQUE	Adapté à la problématique		Milieu concerné		Raison pour laquelle la solution n'est pas adaptée à la problématique					Commentaires	
		Oui	Non	ZNS	ZS	Absence d'action sur la source	Autres critères d'exclusion					
							Accessibilité de la source	Durée	Place disponible	Risque de formations de sous-produits toxiques		Objectifs atteignables
Techniques de dépollution in situ avec traitement sur site des polluants récupérés)												
C311	Méthodes physiques par extraction de la pollution in situ											
C311a	Ventilation de la zone non saturée <i>in situ</i>		X	X								Méthode non applicable aux métaux
C311b	Extraction multiphase <i>in situ</i>		X	X	X							Méthode non applicable aux métaux
C311c	Barbotage in situ (ou injection et bulles d'air <i>in situ</i>) / sparging <i>in situ</i>		X		X							Méthode non applicable aux métaux Méthode non applicable aux métaux
C311d	Pompage et traitement <i>in situ</i>		X		X							Méthode non applicable aux métaux Méthode non applicable aux métaux
C311e	Pompage / écrémage <i>in situ</i>		X		X							Méthode non applicable aux métaux
C312	Méthodes physiques par piégeage de la pollution in situ											
C312a	Confinement par couverture et étanchéification <i>in situ</i>	X		X								Recouvrement par de l'enrobé ou au moins 30 cm de terre végétale saine
C312b	Confinement vertical <i>in situ</i>		X	X	X	X						Absence d'impact dans la nappe Ne traite pas la source
C312c	Piège hydraulique ou confinement hydraulique <i>in situ</i>		X		X	X		X				Absence d'impact dans la nappe
C312d	Solidification/stabilisation <i>in situ</i>	X		X								Ne traite pas la source Gestion du matériel contaminé
C313	Méthodes chimiques in situ											
C313a	Lavage <i>in situ</i>		X	X		X						Nécessite la réalisation d'une analyse granulométrique avant traitement.
C313b	Oxydation chimique <i>in situ</i>		X		X					X		Possibilité de transfert des contaminants (parfois non totalement détruits) et des oxydants dans les eaux souterraines avec possibilité de déplacement conséquent de la pollution
C313c	Réduction chimique <i>in situ</i>		X		X					X		Possibilité de transfert des contaminants (parfois non totalement détruits) et des réducteurs dans les eaux souterraines avec possibilité de déplacement conséquent de la pollution
C314	Méthodes thermiques in situ											
C314a	Désorption thermique <i>in situ</i>		X	X			X					Faibles volumes. Méthode non rentable. Ne traite qu'une partie des composés (mercure et HAP)
C315	Méthodes biologiques in situ											
C315a	Biodégradation dynamisée ou atténuation naturelle dynamisée) <i>in situ</i>		X		X		X			X		Ne traite qu'une partie des milieux (pas d'action sur la ZNS) Conditions peu favorables à une voie par biodégradation anaérobie + risque de production de sous-produits toxiques

C315b	Bioventing <i>in situ</i>		X	X			X			X		Non applicable aux composés non volatils
C315c	Biosparging <i>in situ</i>		X		X		X			X		Absence d'impact dans la nappe
C315d	Phytoremédiation <i>in situ</i>	X		X								Adaptée aux sols de surface uniquement, sur une partie du site A envisager en fonction de la profondeur des sources. Cependant non adapté au projet.
C316	Autres techniques <i>in situ</i>											
C316a	Barrière perméable réactive <i>in situ</i> - système mur		X	X		X			X			Absence d'impact dans la nappe Durée et suivi à très long terme
C316b	Barrière réactive <i>in situ</i> - système porte		X	X		X			X			Absence d'impact dans la nappe Durée et suivi à très long terme
Techniques de dépollution sur site (avec traitement sur site des polluants récupérés)												
C321	Méthodes physiques par évacuation de la pollution sur site											
C321a	Excavation des sols sur site	X		X								Source de faible profondeur facilement accessible Méthode compatible avec tous les composés
C321b	Tri granulométrique sur site	X		X								Nécessité de réaliser un test granulométrique
C321c	Lavage à l'eau sur site	X		X								Nécessité de réaliser un test granulométrique A coupler avec la méthode C321b
C322	Méthodes physiques par piégeage de la pollution sur site											
C322a	Encapsulation sur site	X		X								Possibilité d'une encapsulation d'une partie des terres sous forme de merlons recouverts de terre végétale saine, à l'exception des terres fortement impactées en mercure
C322b	Solidification/ stabilisation sur site	X		X								Ne traite pas la source Gestion du matériel contaminé
C324	Méthodes thermiques sur site											
C324b	Désorption thermique sur site		X	X		X						Ne traite qu'une partie des composés (mercure et HAP) Solution énergivore
C325	Méthodes biologiques sur site											
C325a	Bioréacteur sur site		X	X		X						Non adaptée au site étudié Non adapté aux composés inorganiques
C325b	Biotertre sur site		X	X		X						Non adaptée au site étudié Non adapté aux composés inorganiques
C325d	Landfarming sur site		X	X		X						Non adaptée au site étudié Non adapté aux composés inorganiques

Les paragraphes suivants présentent donc le bilan coûts-avantages :

- d'un traitement des sources concentrées. Les traitements retenus pour le bilan coût-avantage sont :
 - C315d : phytoremédiation in-situ,
 - C321a : excavation des sols et évacuation hors site,
 - C321b : tri granulométrique sur site,
 - C321c : lavage à l'eau sur siteLes solutions in-situ pouvant être envisagées seront validées au préalable par des tests de faisabilité (traitabilité en laboratoire et pilote sur le terrain).
- et/ou d'une mesure de gestion de coupure ou maîtrise de la voie de transfert :
 - C312a : confinement par couverture et étanchéification in-situ,
 - C312d : solidification/stabilisation in-situ,
 - C322a : encapsulation sur site,
 - C322b : solidification/stabilisation sur site.

Au total, 2 solutions de gestion seront étudiées :

- solution 1 : excavation et élimination hors site de l'ensemble des mailles ;
- solution 2 : excavation et élimination hors site des mailles présentant de fortes teneurs en mercure et naphtalène et confinement du reste des mailles.

E.5. Bilan coûts-avantages

E.5.1. Méthodologie

Les avantages, les inconvénients et les coûts de chacun des scénarios de gestion doivent être étudiés à l'aide d'un bilan « coûts –avantages » : il consiste à produire une étude comportant des éléments factuels et détaillés, de comparaison de chaque scénario de gestion pertinent sur les mêmes critères de comparaison, intégrant l'ensemble des coûts y compris les coûts annexes (essais de faisabilité et de traitabilité, essais pilotes, démolition de bâtiments, surveillance et contrôles, mesures constructives, prévention/sécurité des travailleurs et gestion des déchets générés, appréciation qualitative de l'impact sur la valeur foncière ou locative du terrain, etc.).

Au moins deux scénarios de gestion sont retenus et correspondent aux bilans « coûts -avantages » les plus favorables, tant au plan sanitaire qu'environnemental, en veillant à privilégier les scénarios qui permettent :

- en premier lieu, l'élimination de la source de pollution ;
- en second lieu, la désactivation des vecteurs de transfert.

Pour cela, le bilan coûts-avantages qui prend en considération 5 familles de critères :

- les critères **techniques** (robustesse de la technique), **normatifs**, et **organisationnels** : ils sont focalisés sur l'aspect « pratique » de la gestion du site :
 - critères propres aux polluants (nature, distribution spatiale, toxicité, stabilité, ...),

- critères propres aux milieux supports du polluant (géologie, hydrogéologie, hydrologie),
 - critères propres au site (encombrement, accessibilité, contraintes liées à l'activité, présence de réseaux, ...),
 - critères d'orientation vers une filière de traitement (seuils d'acceptation, distance site-exutoire, ...),
 - critères d'objectifs (de dépollution, pression médiatique et/ou politique, ...),
 - critères organisationnels (stratégie de dépollution dans le temps et dans l'espace) ;
- les critères **économiques** : coûts des travaux de dépollution, des restrictions d'usage (servitudes) et des dispositions constructives nécessaires et de leur éventuelle maintenance (tenant compte de la valeur du terrain, et des aides éventuelles), ainsi que des surveillances ultérieures. Ces coûts peuvent être liés :
 - à la ou les techniques de dépollution : amené/repli, mise en place, consommation énergétique, fonctionnement, élimination des déchets...,
 - aux travaux annexes devant être impérativement réalisés pour permettre la mise en œuvre de la ou les techniques de dépollution (exemple : frais inhérents à la mise en œuvre d'un soutènement des parois des fouilles dans le cadre de l'excavation de terres polluées),
 - aux dispositions constructives,
 - à d'éventuels suivis (suivi lors des travaux, surveillance des milieux post-travaux, ou suivi de l'efficacité et de la pérennité de certaines mesures de gestion, etc.),
 - à d'éventuelles études complémentaires nécessaires. Ces études peuvent notamment correspondre à la constitution d'un dossier de demande de servitudes ;
- les critères **environnementaux** et liés à l'Hygiène et la Sécurité : bilan environnemental de la mesure de gestion : consommation énergétique, réduction de la masse de polluants, émissions de CO₂, utilisation de ressources naturelles, impact ou bénéfique sur la biodiversité, revalorisation des matériaux traités, impact de la pollution résiduelle sur l'environnement... Ce critère étudie également les implications en termes d'hygiène et sécurité (H&S) sur site et hors site : transport de terres, envol de poussières, impact sur les eaux souterraines... Les questions auxquelles ils doivent répondre sont les suivants.
 - Ce scénario sera-t-il générateur de déchets ?
 - Ceux-ci auront-ils un impact sur des espèces (faune/flore) présentes au droit du site ? Certaines sont-elles protégées ? Quel sera l'impact paysager (notamment dans le cas d'un confinement) ?
 - Quelle sera la consommation énergétique associée ? L'utilisation de ressources naturelles ?
 - Quels seront les besoins liés au transport ?
 - Le procédé est-il à l'origine d'émissions de gaz à effet de serre ?
 - Est-il possible de définir des filières de revalorisation des matériaux traités ?
 - Quel sera l'impact du résiduel de la pollution qui sera laissé en place sur le site ?

- les critères **socio-politiques** : ils regroupent les nuisances du chantier (visuelles, sonores, olfactives...), l'augmentation du trafic (également en lien avec les critères environnementaux ci-avant), l'acceptabilité du projet d'aménagement envisagé (usage futur, servitudes éventuelles, objectifs de réhabilitation et teneurs résiduelles qui en découlent), mais aussi les bénéfices de ce chantier (création d'emplois, amélioration du cadre de vie, valorisation financière, image du site et du MO...)...;
- les critères **juridiques et réglementaires** : ils permettent essentiellement d'identifier la responsabilité à court et long terme du maître d'ouvrage (contraintes résiduelles, surveillances obligatoires, responsabilité liée aux déchets générés par un éventuel chantier, etc.

Tableau 10 : Implications juridiques possibles (source : « Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués »)

Thématique	Implications possibles pour le MO et/ou le responsable juridique de la pollution
Hygiène Sécurité Environnement (HSE)	Le MO conserve une part de responsabilité juridique relative aux éventuelles problématiques HSE en lien avec la réhabilitation entreprise au droit du site.
Autorisations administratives	La mise en œuvre de certaines techniques de dépollution requiert l'obtention préalable d'autorisations administratives.
Loi sur l'eau	Dans les contextes hors ICPE, il convient de vérifier les rubriques de l'article R214-1 du code de l'environnement pour déterminer si un dossier « loi sur l'eau » doit être établi. Dans le contexte d'un site ICPE, le cas échéant, un porté à connaissance ICPE devra être transmis à l'administration en lieu et place du « dossier loi sur l'eau » (conformément à l'article L214-1). Dans le cas d'une pollution accidentelle, il n'est par ailleurs pas nécessaire d'établir un « dossier loi sur l'eau ». Le préfet doit néanmoins être informé (conformément à l'article R214-44 du code de l'environnement).
Déchets	Le MO conserve la responsabilité des déchets générés sur le site d'étude jusqu'à leur revalorisation ou élimination finale selon des filières adaptées.
Pollutions résiduelles	Le responsable de la pollution au sens juridique (propriétaire, exploitant, MO...) conserve une responsabilité juridique à long terme dans le cas où une pollution résiduelle est laissée en place sur site après la réhabilitation. Des surveillances ultérieures pourront être nécessaires. Il sera alors du ressort du responsable de la pollution d'en assurer (y compris financièrement) l'organisation régulière.
Restrictions d'usage	La mise en place de restrictions peut engendrer un coût lié à la dépréciation des terrains. Dans certains cas, le responsable de la pollution devra indemniser les propriétaires concernés par la mise en place d'une restriction d'usage les concernant.

E.5.2. Grille de pondération des critères

Le détail du bilan coûts-avantages et le détail de notation sont donnés dans les tableaux suivants.

Le système de pondération est basé sur un barème de 1 à 3 (les valeurs proches de 1 correspondent alors aux critères jugés les moins importants dans le contexte de gestion, tandis que les valeurs proches ou égales à 3 correspondent aux critères jugés primordiaux).

Tableau II : Pondération des critères (norme NFX31-620-4)

Famille de critères	Critères	Pondération retenue (0 à 3)
Critères techniques et normatifs	Caractère des polluants et adéquation de la technique Accessibilité du site Absence d'accès à l'eau et à l'électricité sur site	3
Critères temps	Temps disponible	2
Critères économiques	Coûts de la mise en œuvre de la technique Coûts des suivis ultérieurs	2
Critères environnementaux	Augmentation du trafic Déchets générés	3
Critères socio-politiques	Nuisance au voisinage	3
Critères juridiques et réglementaires	Contraintes résiduelles (restrictions d'usages, surveillance, ...)	1

L'attribution des notes a ensuite été établie sur une échelle de 1 à 5 (que l'on multiplie par la pondération associée du Tableau II), la note de 1 étant attribuée lorsque le scénario étudié est fortement défavorable pour le critère considéré, et la note de 5 lorsque le scénario est particulièrement favorable pour le critère étudié.

Tableau 12 : Grille de notation du bilan coût-avantages

Coût (pondération 2)		
2	>500 €/m ³	
4	350-500 €/m ³	
6	250-350 €/m ³	
8	150-250 €/m ³	Excavation et élimination hors site
10	<150 €/m ³	Confinement horizontal

Durée (pondération 2)		
2	> 24 mois	
4	18 mois -24 mois	
6	12 - 18 mois	
8	6 - 12 mois	
10	< 6 mois	Excavation et élimination hors site Confinement horizontal

Robustesse (pondération 3)		
3	Technique incertaine	
6	Technique moyennement expérimentée - efficacité à déterminer	
9	Technique expérimentée - efficacité à déterminer	
12	Technique éprouvée - efficacité élevée, à déterminer	Confinement horizontal
15	Technique éprouvée - efficacité élevée garantie	Excavation et élimination hors site

Dépense environnementale (pondération 3)		
3	>50 kg CO ₂ émis /tonne traitée	Excavation et traitement hors site
6	20 - 50 kg CO ₂ émis /tonne traitée	
9	10-20 kg/CO ₂ émis / tonne traitée	
12	5-10 kg/CO ₂ émis /tonne traitée	
15	0 - 5 kg/CO ₂ émis / tonne traitée	Confinement horizontal

Critère socio-politique (pondération 3)		
3	Faible	Confinement horizontal : pas de traitement de la pollution
6	Médiocre	Excavation et traitement hors site
9	Moyenne	
12	Positive	
15	Elevée	

Le Tableau 13 suivant présente la notation finale du bilan coûts-avantages.

Tableau 13 : Notation du bilan coûts-avantages

	Critères	Coûts	Durée	Robustesse	Dépense environnementale	Aspect socio-économique	Total
	Pondération	2	2	3	3	3	
Sur site/Hors site	Excavation des terres	8	10	15	3	6	42
In situ	Confinement horizontal	10	10	12	15	3	50

E.5.3. Présentation des différentes solutions

E.5.3.1. Solution 1 : 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.

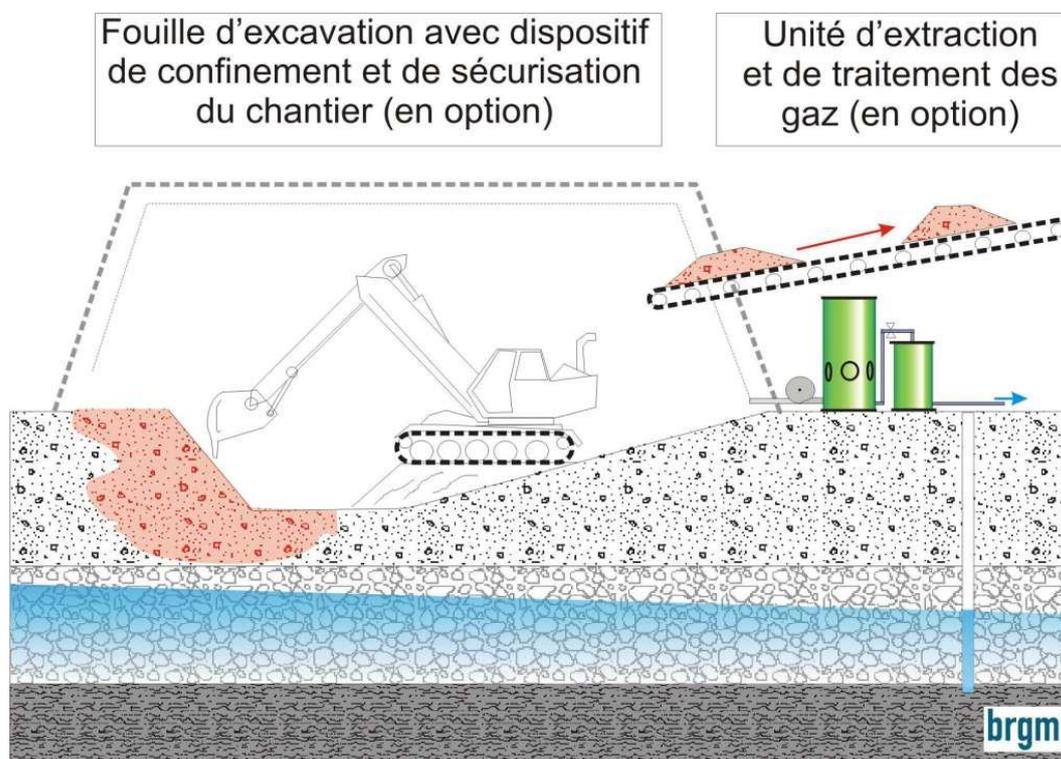


Figure 29 : Schéma de principe d'excavation

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 I4 : 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 ...),• plus la pollution est étendue, plus le volume de terres à excaver est important et les travaux sont difficiles à organiser et à réaliser,• 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 d'infrastructures enterrées, chute de personne dans la fouille,• 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),▪ 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 ;
- les concentrations en métabolites éventuels ;
- le suivi de la qualité de l'air si nécessaire (envol de poussières, volatilisation) ;
- 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 mois, décomposée comme suit :

- préparation administrative et technique : 1 mois ;
- dévoiement des réseaux : à préciser par les concessionnaires concernés ;
- installation de chantier (clôture, amenée de la pelle mécanique et base vie) : 1 semaine ;
- excavation, chargement et transport vers la filière spécialisée : 7 jours (hypothèse d'une cadence de 200 m³/jour) ;
- remblaiement par apport de matériaux non pollués (en provenance du site ou hors site) et compactage : 7 jours ;
- réfection des réseaux et de la voirie : 1 semaine ;
- démobilisation : 1 semaine.

SEUILS DE RECEPTION

La réception sera faite sur les différents milieux concernés (prélèvement de sols en fond et bords de fouille).

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

ESTIMATION FINANCIERE

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

Tableau 15 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur l'ensemble du site (C321a)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€.H.T)	Total (€.H.T)
Organisation et suivi du chantier	F	1	13 k	13 k
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 €)• Réception du chantier (amené repli de la pelle mécanique) (1000 €)• Terrassement des terres impactées (non compris, dispositifs de soutènement des terres) : 14 jours à 800 € (11 200 €)				
Sous-total I				13 k
Excavation	F	1	165 à 253 k	165 à 253 k
Ce prix comprend :				
<ul style="list-style-type: none">• Terrassement des terres impactées (non compris, dispositifs de soutènement des terres)• Suivi de chantier, analyses fond et bord de fouille (5k€)				

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€.H.T)	Total (€.H.T)
<ul style="list-style-type: none"> • Transport et prise en charge des terres excavées ○ Vers un ISDI (70€ HT/ m³) : 800 à 40 m³ ○ Vers une ISDND (180€ HT/ m³) : 410 à 1250 m³ ○ Vers un biocentre (135€ HT/ m³) : 82 à 0 m³ ○ Vers une ISDD (350€ HT/ m³) : 0 m³ • Remblaiement par des matériaux d'apport sain (15€ HT/ m³) : 1 293 m³ 				
Sous-total 2				165 à 253 k
TOTAL				178 à 266 k

Tableau 16 : Estimation des coûts pour l'excavation des sols sur les mailles contenant de fortes teneurs en éléments volatils (HAP/naphtalène et mercure)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€.H.T)	Total (€.H.T)
Organisation et suivi du chantier	F	I	5 k	5 k
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 €) • Réception du chantier (amené repli de la pelle mécanique) (1000 €) • Terrassement des terres impactées (non compris, dispositifs de soutènement des terres) : 4 jours à 800 € (3 200 €) 				
Sous-total 1				5 k
Excavation	F	I	76 à 144 k	76 à 144 k
Ce prix comprend :				
<ul style="list-style-type: none"> • Terrassement des terres impactées (non compris, dispositifs de soutènement des terres) • Suivi de chantier, analyses fond et bord de fouille (4 k) • Transport et prise en charge des terres excavées ○ Vers un ISDI (70€ HT/ m³) : 617 à 40 m³ ○ Vers une ISDND (180€ HT/ m³) : 40 à 699 m³ ○ Vers un biocentre (135€ HT/ m³) : 82 à 0 m³ ○ Vers une ISDD (350€ HT/ m³) : 0 m³ • Remblaiement par des matériaux d'apport sain (15€ HT/ m³) : 739 m^{3r} 				
Sous-total 2				76 à 144 k
TOTAL				81 à 149 k

E.5.3.2. Solution 2 : Confinement par couverture et étanchéification in situ (C312a)

PRINCIPES

Les confinements physiques ont pour but d'empêcher l'écoulement des eaux souterraines hors du lieu contaminé.

Le confinement physique consiste à :

- isoler les contaminants de façon à prévenir leur propagation de manière pérenne ;
- s'assurer du maintien de cet isolement par des mesures de contrôles rigoureux ;
- s'assurer de l'efficacité de cet isolement par des mesures de suivi à long terme.

Les mesures à mettre en place seront choisies et modulées en fonction des conditions particulières de chaque cas, tels que :

- la nature et l'ampleur de la contamination ;
- les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques du terrain ;
- l'usage du terrain (nappe d'eau souterraine utilisée comme source d'eau potable...) ;
- et, le cas échéant, les spécificités du projet envisagé (maisons, jardins...).

De telles mesures de confinement doivent être pérennes et adaptées aux usages du site. Aussi, il est important d'apporter des éléments démonstratifs tangibles sur les performances du confinement et sur leur pérennité.

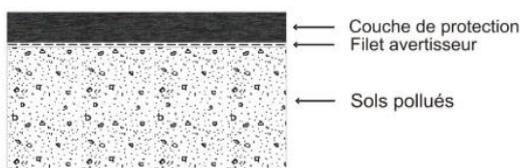
Le but de l'isolation de surface (confinement par couverture et étanchéification) est multiple :

- confinement des sols souillés pour prévenir la contamination vers les enjeux identifiés en :
 - mettant en place une isolation de surface perméable ou semi-perméable afin d'empêcher (ou de limiter) la percolation des eaux de pluie à travers la zone non saturée, puis l'infiltration des eaux souillées vers les eaux souterraines et superficielles,
 - mettant en place une barrière entre la source de pollution et :
 - les humains (ingestion directe de sols, contact cutané),
 - la faune (rongeurs, terriers),
 - la flore (racine),
 - mettant en place une barrière au-dessus de la source de pollution afin de prévenir l'envol de poussières,
- limitation des flux de gaz vers l'atmosphère et les bâtiments et maîtrise de leur récupération ;
- surélévation de la surface du sol afin de fournir les pentes adaptées pour le ruissellement et le drainage contrôlé des eaux de surface ;
- renforcement de la stabilité mécanique du stockage ;
- intégration du site dans son environnement (mise en place de conditions permettant la croissance des plantes).

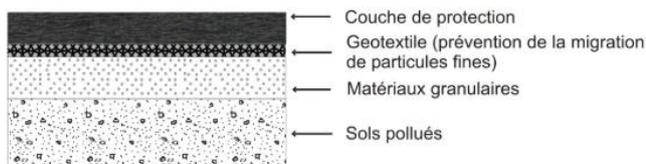
En fonction des enjeux identifiés, l'isolation de surface pourra mettre en jeu différents types de couverture (simple ou multicouche) :

- la couverture multicouche terreuse : d'une perméabilité supérieure ou égale à 10^{-6} m/s, elle est peu performante vis-à-vis des infiltrations d'eau. Elle concerne :
 - les sites à faible potentiel polluant (ou faiblement évolutif) vis-à-vis des gaz, des eaux souterraines et superficielles,
 - les sites devant faire l'objet d'un confinement vis-à-vis du contact direct et de l'ingestion de sols souillés ;
- la couverture multicouche semi-perméable : d'une perméabilité comprise entre 10^{-6} et 10^{-9} m/s, elle limite moyennement les infiltrations et les émanations de gaz. Elle est utilisée pour :
 - les sites présentant un environnement peu vulnérable,
 - les sites dont on souhaite épuiser le potentiel polluant tout en limitant l'impact des rejets ;
- la couverture multicouche imperméable : d'une perméabilité inférieure ou égale à 10^{-9} m/s, elle limite très fortement les infiltrations et les émanations de gaz. C'est pourquoi, elle s'applique à :
 - des sites à fort potentiel polluant,
 - des sites à environnement vulnérable.

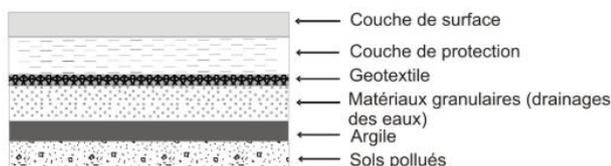
Couverture pour prévenir le contact direct l'ingestion et le réenvol de poussières



Couverture pour prévenir la remontée de pollution



Couverture pour prévenir la pollution des eaux souterraines



Couverture pour collecter les émanations gazeuses

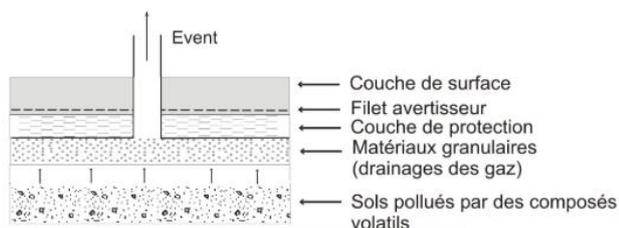


Figure 30 : Schéma de principe de confinement par couverture et étanchéification (la solution considérée dans ce cas serait la première)

APPLICABILITE – AVANTAGES/INCONVENIENTS

Ce type de traitement peut être appliqué à presque tous les types de pollution COV, COHV, PCB, HAP, métaux/métalloïdes à condition que :

- les tests de percolation, l'infiltration à travers les sols pollués ainsi que la charge hydraulique soient compatibles avec l'usage des eaux souterraines ;
- les émanations gazeuses soient compatibles avec l'usage futur (non possible dans notre cas sur la partie du site concerné par des éléments volatils).

Ce type de confinement est essentiellement utilisé pour les métaux/métalloïdes présents en grande quantité (notamment dans les remblais) sous forme non ou peu lessivable.

Dans tous les cas, il conviendra de confiner les sols à une cote altimétrique supérieure à celle du niveau piézométrique des plus hautes eaux.

Le confinement peut être temporaire ou final.

Tableau 17 : Avantages/inconvénients du confinement par couverture et étanchéité

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• technique éprouvée, grande fiabilité• résultats extrêmement significatifs,• permet de confiner un très grand nombre de polluants,• particulièrement bien adapté pour les grands volumes de pollution par des composés inorganiques voire mixtes,• compétitivité en termes de coût et de performance pour des volumes importants et des composés récalcitrants.	<ul style="list-style-type: none">• les pollutions ne sont pas détruites et restent en place : aucune action n'est réalisée sur le volume et la toxicité des déchets. La seule action est relative à la réduction importante du transfert de pollution,• il est primordial de garder la mémoire de la pollution et d'instaurer des restrictions,• il est nécessaire de réaliser un suivi à très long terme,• il est nécessaire d'entretenir le confinement afin de s'assurer la pérennité de son bon fonctionnement (endommagement du confinement dû au gel/dégel, tassement différentiel, passage d'engins, dessiccation, attaque de rongeurs, végétation, ...),• la couverture permet seulement de limiter les transferts verticaux (eaux pluviales, gaz, contact, réenvols de poussières) mais ne permet pas de contrôler les flux horizontaux,• nécessite parfois d'autres mesures de confinements complémentaires (confinement vertical, encapsulation, mesures constructives...),• la mise en place notamment au niveau des soudures doit être irréprochable,• il est nécessaire de tenir compte des exigences d'entretien et de suivi dans le temps (servitudes ...),• étant donné que les confinements existants n'ont que quelques dizaines d'années au plus, il est difficile de prouver l'efficacité du confinement sur le long terme,• compte tenu de la typologie du site, une différence de topographie sera présente entre la partie confiné et la partie excavé du fais du remblaiement sur une épaisseur d'environ 50 cm.

DONNEES NECESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT

La faisabilité d'un traitement est évaluée à l'aide d'essais :

- d'orientation qui visent à valider la possibilité de mettre en œuvre une technique de dépollution ;
- d'évaluation des performances qui servent à vérifier l'atteinte des objectifs et à estimer la vitesse du traitement donc sa durée.

Le dimensionnement devra prendre en compte :

- les aspects géotechniques (afin de s'assurer de la tenue des terrains) ;
- les aspects environnementaux :
 - eaux souterraines et superficielles : en particulier, l'impact du confinement actuel et à long terme
 - air (non adapté à l'étude) :
 - impact du stockage actuel et à long terme (sous-produits de dégradation),
 - estimation et vérification de la production et de la qualité des gaz : drainage, traitement sur site ;
- la définition du projet : délais, objectifs de traitement, seuils de dépollution, surface concernée ;
- le site : accessibilité, présence d'obstacles aériens et/ou souterrain, présence d'ouvrages/bâtiments avoisinants, de contraintes liées à l'environnement et aux riverains, topographie, ... ;
- le sol ou matériau à traiter : géologie ;
- les polluants : nature, concentration, présence de produits purs, estimation du stock...

PARAMETRES DE SUIVI

Le suivi devra être obligatoirement à long terme et devra permettre de vérifier le fonctionnement du confinement et de suivre l'évolution de son efficacité. Le but est de pouvoir caractériser le flux de matière échangé avec l'extérieur. Le suivi consistera à :

- prélever des échantillons dans l'eau souterraine afin d'en vérifier la qualité et de suivre son évolution (conditions du milieu, sous-produits de dégradation...). Des prélèvements d'eau au droit de la source de pollution sont aussi recommandés ;
- le cas échéant, vérifier les émissions atmosphériques par prélèvement de poussières, émissions gazeuses ou autres ;
- passer régulièrement sur le terrain pour s'assurer que les mesures de confinement sont toujours en place et fonctionnelles et que l'usage qui est fait du terrain ne remet pas en question l'intégrité de ces mesures programme d'entretien des ouvrages et/ou de gardiennage à mettre en place ?).

Par ailleurs, il est nécessaire de réaliser le suivi des servitudes (par exemple : absence de culture potagère, absence d'arbre à racines profondes, présence de filets avertisseurs). Ces servitudes doivent aussi permettre de garder la mémoire de ces travaux dans le temps.

SEUILS DE RECEPTION

Avec cette méthode, il n'y a pas d'action sur les terres impactées et donc pas d'objectifs de traitement.

ESTIMATION FINANCIERE

Tableau 18 : Estimation des coûts pour le confinement par couverture et étanchéification (C312a)

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (€.H.T)	Total (€.H.T)
Organisation et suivi du chantier	F	I	2 k	2 k
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 €)Réception du chantier (amené repli de la pelle mécanique) (1000 €)				
Sous-total 1				2 k
Confinement par couverture et étanchéification (C312a)	F	I	20 k	20 k
Ce prix comprend :				
<ul style="list-style-type: none">Combinaison membrane (PEHD 2 mm) et 0,25 m de sable bentonite (25 €/m²) : 771 m²Profilage (avec engins de terrassement classiques) 1 jour à 800 euros.				
Sous-total 2				20 k
TOTAL				22 k

E.5.4. Synthèse des solutions retenues

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des solutions de gestion proposées et étudiées.

Tableau 19 : Synthèse des solutions de gestion proposées

	Codification AFNOR (norme NFX31-620-4)	Solution de gestion	Notation obtenue	Coûts estimés (k€)			Avantages	Inconvénients	Objectifs de dépollution	Durée
				Etudes préalables	Traitement	Surveillance				
Solution 1										
Sur site	C321a	Excavation des sols sur site/hors site (<i>ensemble des zones polluées</i>)	42	0	165 à 253	5 (prélèvements en parois et fond de fouille)	Méthode permettant de traiter l'ensemble des polluants présent (volatils et métaux) Aucun besoin d'étude préalable Aucune déstabilisation du bâtiment	Cout de traitement élevé	Prélèvement de fond et bord de fouille - Teneurs inférieures aux seuils de coupures	Inférieur à 4 mois
Somme				0	165 à 253	5				Inférieur à 6 mois
Solution 2										
Sur site	C321a	Excavation des sols sur site/hors site (<i>zones présentant des fortes teneurs en éléments volatils</i>)	42	0	76 à 144	4 (prélèvements en parois et fond de fouille)	Méthode permettant de traiter l'ensemble des polluants présent (volatils et métaux) Aucun besoin d'étude préalable	Cout de traitement élevé	Prélèvement de fond et bord de fouille - Teneurs inférieures aux seuils de coupures	Inférieur à 4 mois
In situ	C312a	Confinement par couverture et étanchéification in situ	50	0	22	10	Méthode très efficace et rapide à mettre en place à des coûts peu élevés.	Ne traite pas les composés. Agit seulement sur les voies de transferts. ne marche pas sur les composés volatils dans notre cas.	Aucun	Mise en place inférieure à 4 mois – Présence et donc suivi de l'ouvrage de confinement jusqu'à remodification de la topographie du site
Somme				0	98 à 166	14				Inférieur à 1 an

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 et en HAP, 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 risques⁴ 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).

4 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. »

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.

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'anomalies⁵ 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 20 : Surveillance des milieux

		Solution de traitement concernée
Contrôle sur les sols		
Paramètres	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn et HAP (dont naphthalène)	Excavation des terres impactées
Fréquence	1 fois à la fin des excavations (prélèvement en parois et fond de fouille)	
Budget	Entre 4 000 et 5 000 € H.T.	
Contrôle des eaux souterraines		
Paramètres	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn et HAP (dont naphthalène)	Confinement des sols
Fréquence	Suivi des concentrations par prélèvements des eaux souterraines tous les ans pendant 5 ans	
Budget	10 k € H.T.	

⁵ Par exemple, terres imprégnées d'hydrocarbures.

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 ;
- **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 21.

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

Tableau 21 : 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
<p>SUP</p> <p>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.</p>	<p>Partie législative : articles L515-8 à 12</p> <p>Code de l'environnement : articles R.515-24 à R.515-31, R.512-39-3, R.512-46-27</p> <p>Circulaire du 18 octobre 2005 relative à la cessation d'activité</p> <p>Circulaire du 8 février 2007 relative aux installations classées</p>	<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

Types de servitudes	Fondement	Portée (possibilités vis-à-vis du milieu sol)	Report dans les documents d'urbanisme	Publication au service de publicité foncière
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 • 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 	Oui	Non
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, 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 22.

Tableau 22 : 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"> Jardins recouverts (enrobé, au moins 50 cm de terres saines) avec potentiels jeux pour enfants. 	<ul style="list-style-type: none"> Jardins non recouverts Tout aménagement non précisé dans « occupation autorisée » sans en avoir au préalable vérifié la compatibilité avec l'état des milieux 	<p><u>Avec prescription particulière :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'un recouvrement des sols par une dalle béton ou d'un revêtement spécifique ou au moins 50 cm de terres saines ; Mise en place des canalisations d'amenée d'eau potable dans des fosses de sables propres et implantées en dehors des zones impactées. Dans le cas de figure où les canalisations d'eau potable seraient implantées dans des zones impactées, les canalisations devront être métalliques ou en matériaux anti-perméation (type tricouche par exemple). Nous rappelons que si des canalisations d'eau potable passe déjà au droit des zones impactées nous recommandons la réalisation de prélèvements d'eaux du robinets des habitations collective voisine du site. 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"> Infiltration des eaux dans la zone Tout usage non précisé dans « usage autorisé » sans en avoir au préalable vérifié la compatibilité avec l'état des milieux 	<p><u>Prescriptions particulières :</u></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 RISQUES RESIDUELS

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.1. 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 31).

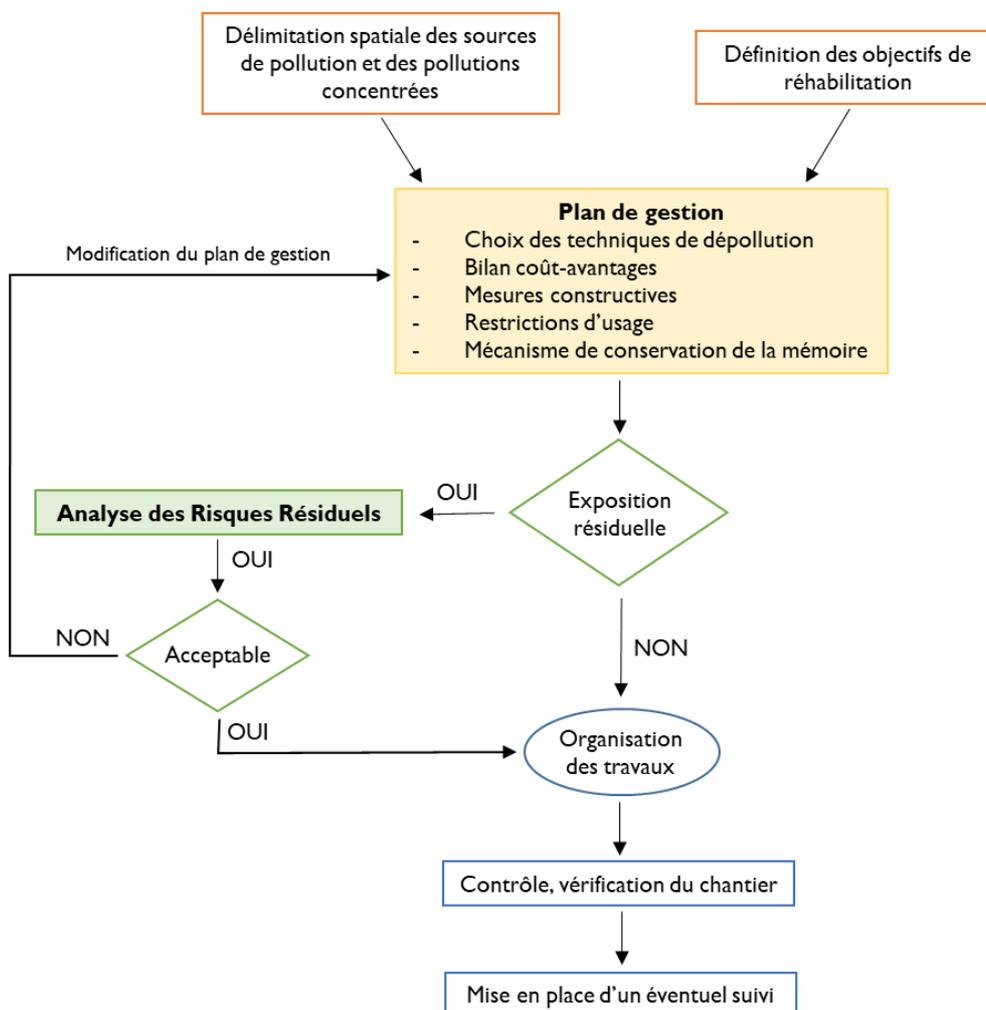


Figure 31 : Principe de l'Analyse des Risques Résiduels

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, eaux souterraines et gaz du sol), les composés retenus (en **gras**) par milieu sont présentées dans le Tableau 23 suivant.

Tableau 23 : 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 eaux souterraines (µg/l)	Concentration maximale mesurée dans les gaz du sol (µg/m ³)	Concentration maximale mesurée dans l'air ambiant (µg/m ³)	Prise en compte pour la voie inhalation
Métaux					
Mercure	Seuil de coupure à 5	< LQ	Pas de piézair associé Pa3 : 0,029	< LQ AAI en Pa3	Oui, concentration supérieure au bruit de fond géochimique – seuil de coupure retenu Une teneur égale à 5% ⁶ de la concentration maximale mesurée dans les sols est considérée soit 0,25 mg/kg MS
Autres métaux	Divers	Zinc : 7,1	-	-	Non, composés non volatils
Hydrocarbures					
Hydrocarbures C ₅ -C ₁₆ ⁷	C8-C10 : 0,26 (S7 (0,0-1,0 m)) C10-C12 : < LQ C12-C16 : < LQ	< LQ	Piézairs associés Pa7 Ali. C5-C6 : < LQ Ali. C6-C8 : < LQ Ali. C8-C10 : 100 Ali. C10-C12 : 97 (PA9) 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	AA2 air ambiant associé à Pa7 Ali. C5-C6 : 2,3 AA3 Ali. C6-C8 : 2,77 AA3 Ali. C8-C10 : 25,3 AA3 Ali. C10-C12 : 70,8 AA3 Ali. C12-C16 : 8,4 AA3 Aro. C5-C7 : cf. benzène Aro. C7-C8 : cf. toluène Aro. C8-C10 : 41 AA3 Aro. C10-C12 : 1,5 AA3 Aro. C12-C16 : < LQ	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
Hydrocarbures C ₁₆ -C ₄₀	330 (S3 (0,0-0,4 m))	< LQ	n.a	n.a	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					
Tétrachloroéthylène	< LQ	0,2 en PZ3	Pas de piézair associé <LQ	Pas d'air ambiant associé 0,05 en AA3	Oui, composé quantifié dans eaux souterraines et absence de piézair ou d'air ambiant associé → la teneur pris en compte dans les eaux souterraines sera testée en incertitudes
Tétrachlorométhane	< LQ	< LQ	< LQ	0,19 en AA3	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
1,2-Dichloroéthane	< LQ	< LQ	< LQ	0,27 en AA2	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
Trichlorométhane	< LQ	< LQ	< LQ	0,03 en AA2 et AA3	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
BTEX					
Benzène	< LQ	<LQ	3 en Pa4	Pas d'air ambiant associé 0,77 en AA3	Oui, composé quantifié dans les gaz du sol à une teneur supérieure à la valeur de comparaison (2 µg/m ³)
Toluène	< LQ	<LQ	7 en Pa4	1,3 en AA3	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
Ethylbenzène	< LQ	<LQ	<LQ	6 en AA3	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
Xylènes	< LQ	<LQ	10 en Pa7	1,87 en AA3	Non, composé quantifié dans l'air ambiant à une teneur inférieure à la valeur de comparaison
HAP					
Autre HAP (hors naphtalène)	Seuil de coupure des HAP à 27 S27 (0,0-0,7 m) : 58,4	0,03 en PZ2	n.a	n.a	Non => teneur supérieure au bruit de fond mais composés non volatils (avec des pressions de vapeur inférieures à 10 Pa)
Naphtalène	Seuil de coupure des HAP à 27 0,1 en S28 (0,7-1 m)	< LQ	Pas de piézair associé < LQ	Pas d'air ambiant associé 0,33 en AA3	Oui, pas de piézairs ni d'air ambiant associé : on considère 10% de naphtalène dans les HAP on retient donc 2,7 mg/kg MS
PCB					
PCB	S27 (0,3-0,9 m) : 0,03	<LQ	n.a	n.a	Non => composés non volatils (avec des pressions de vapeur inférieures à 10 Pa)

• LQ = Limite de Quantification du laboratoire

n.r. = non recherché

⁶ 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% ».

⁷ 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 détoxification, 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).

Le détail est expliqué en Annexe 6.

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

Tableau 24 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation

Impression Bibliothèque	Dénomination	N° CAS	DIT Inhalation	Année	Nom source d'information	ERU Inhalation	Année	Nom source d'information
	Symbole		VTRs,inh			VTRss,inh		
	Unité		mg/m3			(mg/m3)-1		
<input type="checkbox"/> VE Environnement Indicateurs de la qualité de l'air ambiant Date de Mise à jour								
Substances (Dénomination Int)								
		Avril 2022	Avril 2022			Avril 2022		
Mercur	7439-97-6		0.00003	2008	OEHHA	-		
Composés Organo-halogénés Volatils (COHV)								
Tétrachloroéthylène PCE	127-18-4		0.4	2018	Anses	0.00026	2017	Anses
BTEX & CAV								
Benzène	71-43-2		0.01	2008	ANSES	0.026	2013	Anses
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 25 conformément aux hypothèses suivantes.

Les cibles considérées sont les enfants et adultes fréquentant le site.

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

Tableau 25 : 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 32 : 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 $long_zp$	110 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 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 $\Theta_{eau,1}$	0.054 - Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol		
et Teneur en air $\Theta_{air,1}$	0.321 -		
Couche source			
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 $\Theta_{air,source}$	0.321 sans unité Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol		
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 23 et résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 26 : Concentrations calculées dans l'air extérieur

Substance	N° CAS	Concentration dans l'air			VALEURS RELEMENTAIRES Décret n° 2010-1250			VALEURS GUIDES			Calculé	Calculé
		INERIS valeurs au 30/11/2018	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³ (sauf précision)	µg/m ³	µg/m ³ (sauf précision)	Air ambiant extérieur à 1 m	Air ambiant extérieur à 1,50 m
Métaux et métalloïdes												
Mercure	7439-97-6	0.03	0.20	-				En ng/m ³ : rural: 0,8 à 4,3 industriel: 1,4 (une valeur)			1.29E-02	8.58E-03
Composés organochlorés Méthyle (COMA)												
Tétrachloroéthylène PCE BTEX & CAV	127-18-4	250.00	1250.00	1380.00					[<1,2-4]	urbain : [0,4-1]	8.42E-07	5.61E-07
Benzène	71-43-2	2.00	10.00	30.00	2 (annuel)	5 (annuel)		urbain : 0,25 à 3 - trafic : 1 à 9,3 péri-urbain: 0,3 à 2 - rural: 0,6 à 1,2 industriel: 0,4 à 10,6	<0.1-2.9]	urbain : [0,6-4,8] - péri-urbain [1-1,5] rural : [0,5-1,2] - industriel : [0,2-3,5]	6.81E-05	4.54E-05
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)												
Naphtalène	91-20-3	10.00	50.00	-						En ng/m ³ : urbain : [0,8-9] industriel : 0,8	2.67E-01	1.78E-01

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

G.5.2.1. Estimation des concentrations dans les eaux des canalisations

Les paramètres d'entrée sont présentés en Figure 33.

Figure 33 : Données d'entrée pour les canalisations

Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Usage	Logements collectifs		
Nombre d'appartements considérés	70 Appartements		
Couche source			
Longueur de la zone polluée traversée par la canalisation L	110.00 m		
Canalisation			
Rayon interne R _{interne}	50.0 mm	Canalisations d'eau potable NF industriel et résidentiel : données des catalogues	
Épaisseur de la canalisation De	4.0 mm	M.BRICOLAGE et LEROY MERLIN	
Durée de stagnation de l'eau dans la canalisation dt	1 jour	Valeurs par défaut HESP ; Veerkamp, 1994	
Débit d'eau transitant par la canalisation Q	42.00 m ³ /j	Calcul pour des résidents de 150 L/jour/personne en moyenne soit 600L/jour/logement soit 0.6 m ³ /jour pour un logement	
Type de sol :	Sable		
Densité du sol p	1.8 g/cm ³	Constat de terrain BP RISC	
Teneur en eau $\theta_{eau,source}$	0.054 sans unité	Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol	
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 les canalisations est présenté en Annexe 8.

Les concentrations dans les eaux des canalisations sont estimées à partir des concentrations d'entrée retenues dans les différents milieux et rappelées dans le Tableau 23 et résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 27 : Concentrations calculées dans les canalisations

Unité	N° CAS	Concentration dans l'eau du robinet		Calculé	Calculé
		Limite de potabilité	Limite de potabilisation	Eau canalisation à partir des teneurs dans les sols	Eau canalisation à partir des concentrations dans les gaz du sol
µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
Substance					
Métaux et métalloïdes					
Mercur	7439-97-6	1	1		
Composés Organohalogénés					
Tétrachloroéthylène PCE BTEX & CAV	127-18-4	10	-		1.06E-08
Benzène	71-43-2	1	-		3.84E-06
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)					
Naphtalène	91-20-3	-	-	1.10E-01	

Interprétation : Les concentrations estimées dans l'eau des canalisations 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

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

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

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations l'air présentées dans le Tableau 26 pour l'air extérieur,

Le détail des calculs est donné en Annexe 9.

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)

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

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 28.

Tableau 28 : Résultats des calculs de risques sanitaires pour les futurs usagers

<u>Valeurs de risques</u>	QD			ERI		
	<i>Enfants</i>	<i>Adultes</i>	<i>Composés tirant le risque</i>	<i>Enfants</i>	<i>Adultes</i>	<i>Composés tirant le risque</i>
Inhalation de vapeurs en extérieur	3,64E-02	2,42E-02	Mercure	1,07E-08	2,85E-08	Mercure
<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 FLUXOBAT⁸, 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.

Tableau 29 : Teneurs retenues en incertitudes (n°1) dans les gaz du sol

Substance	N° CAS	Concentration dans les gaz du sol				
		Mesuré	Calculé	Mesuré	Calculé	Mesuré
Unité		Gaz du sol retenus au droit du bâtiment	Gaz du sol à la source sous bâtiment	Gaz du sol retenus au droit des espaces extérieurs	Gaz du sol à la source sous espaces extérieurs	Gaz du sol au droit des canalisations
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Métaux et métalloïdes						
Mercure	7439-97-6				1.79E+03	
Composés Organo-halogènes Volatils (COHV)						
Tétrachloroéthylène PCE	127-18-4			5.00E-02		
BTEX & CAV						
Benzène	71-43-2			3.00E+00		3.00E+00
Toluène	108-88-3			7.00E+00		
Xylènes	1330-20-7			1.00E+01		
Hydrocarbures aliphatiques						
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	Aliph>8-10			1.00E+02		
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	Aliph>10-12			9.70E+01		
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)						
Naphtalène	91-20-3				2.10E+04	

⁸ 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.

Les résultats de cette incertitude sont présentés dans le Tableau 33.

Compte tenu de la quantification en tétrachloroéthylène et en l'absence de piézair ou de mesure d'air ambiant associé, une étude de sensibilité (n°2) a été menée en modélisant le tétrachloroéthylène à partir d'une source nappe. Les teneurs ainsi retenues sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 30 : Caractéristiques du milieu retenu pour l'incertitude n°2

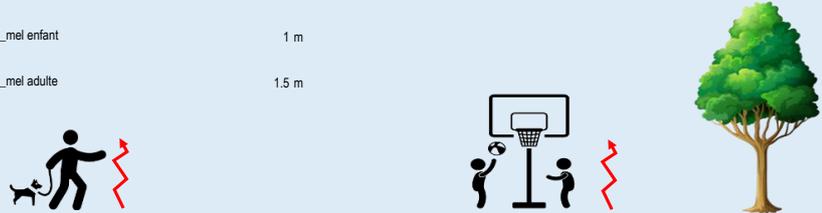
Paramètre	Valeur retenue	Unité	Justification
Vitesse du vent vit_v	3 m.s-1		Vitesse moyenne observée en France
			
Longueur de la zone d'émission parallèle à la direction du vent long_zp	110 m		Valeur mesurée sur plan
Hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant h_mel enfant	1 m		
Hauteur de la zone 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 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	5.83 m		Observation de terrain
Porosité n ₁	0.375 -		
dont Teneur en eau $\Theta_{eau,1}$	0.054 -		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
et Teneur en air $\Theta_{air,1}$	0.321 -		
Couche de sol 3			
Type de sol	Sable		Constat de terrain
Epaisseur de la couche de sol l ₃	6 m		
Epaisseur de la frange capillaire L _{c2}	0.17 m		
Porosité n ₃	0.375 sans unité		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
dont Teneur en eau $\Theta_{eau,3}$	0.253 sans unité		
et Teneur en air $\Theta_{air,3}$	0.122 sans unité		
Couche source			
Couche source	Source nappe		
Type de sol	Couche 1 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}	6 m		
Porosité n _{source}	0.375 sans unité		
Teneur en air $\Theta_{air,source}$	0.122 sans unité		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
Teneur en eau $\Theta_{eau,source}$	0.253 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 33.

- uniquement les substances volatiles car il est rappelé que seul le transfert par inhalation a été considéré dans la présente EQRS : l'hypothèse apparait réaliste,
- des hypothèses des caractéristiques de projet (terre végétale au droit des espaces verts) sont validée par le Plan de Gestion. Ces hypothèses paraissent réalistes.

Une étude de sensibilité (n°3) a été menée en considérant l'absence de mise en place de confinement au droit du site. Les caractéristiques retenues sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 31 : Caractéristiques du milieu retenue pour l'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	110	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 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 $\Theta_{eau,1}$ 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	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 $\Theta_{air,source}$	0.321 sans unité		Valeur proposées par modèle J & E pour ce type de sol
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 33. Cette modélisation induit des risques sanitaires inacceptables.

Une étude de sensibilité (n°4) a été menée en considérant la mise en place d'enrobé sur 10 cm d'épaisseur. Les caractéristiques ainsi retenues sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 32 : Caractéristiques du milieu retenue pour l'incertitude 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	110	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_couv	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 p	1.8	g/cm ³	BP RISC
Couche de sol 1			
Type de sol	Sable		
Epaisseur de la couche l ₁	0.1 m		
Porosité n ₁	0.375 -		
dont Teneur en eau $\theta_{eau,1}$ et Teneur en air $\theta_{air,1}$	0.054 - 0.321 -		
Couche source			
Couche source	Couche 1		
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 $\theta_{air,source}$ Teneur en eau $\theta_{eau,source}$	0.321 sans unité 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 33.

- 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 limons gravo-sableux issus de calcaires altérés. 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 33 : 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 :		3,64E-02	2,42E-02	1,07E-08	2,85E-08	
Csource = valeur des gaz du sols si dépassement des valeurs de comparaison	Csource = Tous les composés quantifiés dans les gaz du sol	3,64E-02	2,43E-02	1,08E-08	2,89E-08	Non
		+0,03%	+0,04%	+0,87%	+1,30%	
Recouvrement des sols par 30 cm de terres végétales	Absence de recouvrement	9,17E-01	6,12E+01	2,68E-07	7,16E-07	OUI
		+1259,48%	+2422,63%	+2407,83%	+2408,09%	
	Mise en place d'un enrobé de 10 cm d'épaisseur	5,02E-02	3,35E-02	1,47E-08	3,92E-08	Non
		+38,04%	+38,004%	+37,25%	+37,25%	
Concentration en Tétrachloroéthylène mesurée dans les gaz du sol	Concentration en tétrachloroéthylène mesurée dans les eaux souterraines	6,84E-02	4,56E-02	3,49E-12	9,31E-12	Non
		+88%	+88%	-100%	-100%	

L'analyse des incertitudes permet de constater que l'absence de recouvrement au droit du site entrainerai 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 et la mise en place d'un enrobé au droit des voiries.

H. SCHEMA DE FONCTIONNEMENT

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

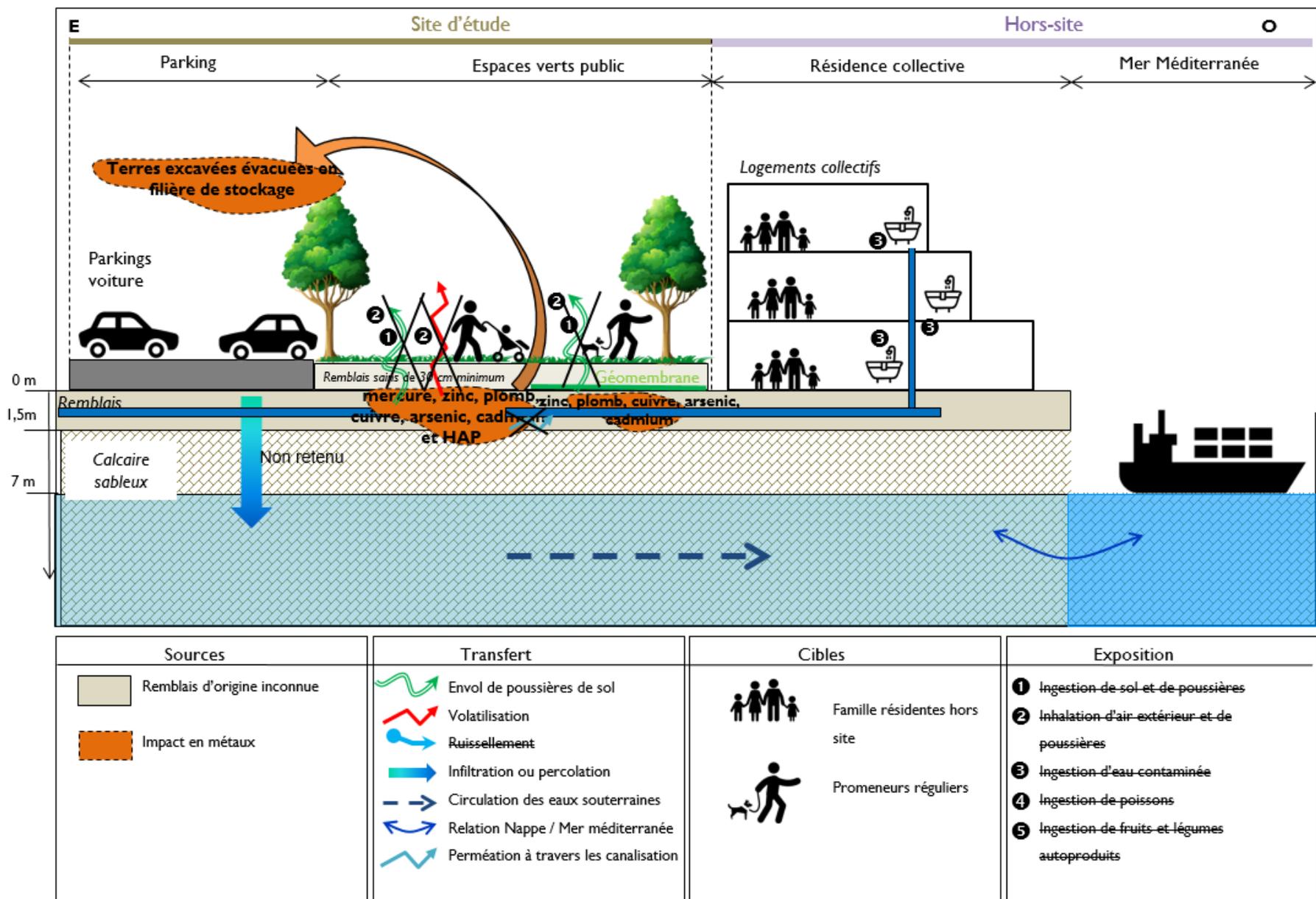


Figure 34 : Modèle de fonctionnement

I. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES

Les mesures de gestion résumées dans le tableau 19 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.

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 reprenneur 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 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.

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 ainsi que des prélèvements de gaz du sol en fond de fouille.

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.

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

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.

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, constituant 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 entremise 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 quel que 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 différent 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 expresse 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'histoire 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 inévitables 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, aux traitements 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. À 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. À 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. À 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.ue 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. À 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. À 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. À 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 des dites 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 DÉLAI DE 30 JOURS SUIVANT L'ENVOI D'UNE CORRESPONDANCE FAISANT ÉTAT D'UN DIFFÉREND, TOUT LITIGE SERA SOUMIS POUR RÉSOLUTION AUX JURIDICTIONS DU RESSORT DU SIÈGE SOCIAL DU PRESTATAIRE QUI SONT SEULES COMPÉTENTES, ET AUXQUELLES LES PARTIES ATTRIBUENT COMPÉTENCE EXCLUSIVE, MÊME EN CAS DE DEMANDE INCIDENTE OU D'APPEL EN GARANTIE OU DE PLURALITÉ DE DÉFENDEURS. LA LANGUE DU CONTRAT ET DE TOUT RÈGLEMENT 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
ERI	Excès de Risque Individuel de cancer

Abréviation	Définition
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
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation

Abréviation	Définition
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 2 pages

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 ».

Normes de prélèvement et documents de référence spécifiques pour les calculs de risques

- Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols (rapport INERIS DRC-01-25587/DESP-R01 en date de novembre 2001)
- Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges (rapport INERIS DRC-03-47026-BDo-N°03DR177 en date du 18 décembre 2003)

- Paramètres physico-chimiques et coefficients de transfert des dioxines pour l'évaluation des risques (INERIS DRC-03-45959 / ERSA – n° 272 – RBn, 9 février 2004)
- Johnson & Ettinger - User's guide for evaluation subsurface vapor intrusion into building" version révisée du 22 février 2004
- Jeux d'équation pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle (rapport INERIS-DRC-08-94882-16675C en date du 01/08/2010)
- Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS (rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C en date du 23/06/2017)
- Guide de gestion des résultats des diagnostics réalisés dans les lieux accueillant enfants et adolescents – Choix des valeurs permettant la construction des repères R1, R2 et R3 (rapport INERIS -DRC-18-173500-10929A en date du 30/01/2018)
- Bilan des choix de VTR disponibles sur le portail des substances chimiques de l'INERIS (rapport INERIS-177741-2035498-v1.1 en date du 28/01/2020)
- Mise à jour des valeurs-repères R1, R2 et R3 dans le cadre de la méthodologie de gestion des sites et sols pollués (rapport INERIS 20487-2706501-v1.0 de novembre 2021)
- Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et l'air en France au 30 juin 2020 (rapport INERIS 20-200358-2190502-v1.0 en date du 19/10/2020)
- Tableau des VTR construites et choisies par l'ANSES en date du 01/06/2021
- Typologies d'usage dans le contexte des sites et sols pollués (rapport INERIS 201082-2199664-v2.0 en date du 15/02/2021)

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

Cette annexe contient 8 pages

Secteur de la zone d'étude		Unité	Bruit de fond géochimique (I)	PR.69EN.21.0037 - 001										PR.69EN.22.0018-001				
Echantillons	Valeurs de références pour le plomb			S3 (0,0-0,4 m)	S4 (0,0-0,4 m)	S5 (0,0-0,7 m)	S22 (0,0-0,2 m)	S22 (0,2-0,4 m)	S22 (0,4-1,0 m)	S23 (0,0-0,3 m)	S23 (0,3-0,5 m)	S23 (0,5-1,0 m)	S23 (1,0-1,5 m)	S24 (0,0-0,1 m)	S24 (0,1-0,3 m)	S24 (0,3-0,6 m)	S24 (0,6-1,0 m)	
Date de prélèvements	Valeur de vigilance			Valeur seuil	21.06.2021	21.06.2021	21.06.2021	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022
Facès				Sables et limons gris foncés à orangés voire rougeâtre avec graves	Sables et limons graveleux beiges à orangés	Sables limono graveleux bruns orangés à gris légèrement humide	Couche de forme gravo-sableuse beige	Limons sableux beiges à marron	Calcaire	Couche de forme gravo-sableuse beige	Limons gravo-sableux	Limons gravo-sableux beige	Limons gravo-sableux beige	Couche de forme gravo-sableuse	Sable marron graveleux	Limons gravo-sableux noirâtre à gris foncé	Calcaire fracturé	
Indice organoleptique				-	-	Débris plastiques	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Couleur noirâtre	-	
Paramètre	%			90,8	95,5	88,6	99	83,5	93	99	90	96	92,5	98,4	88,8	82,7	96	
Matière sèche	mg/kg Ms						5500			1900				2200				
COT Carbone Organique Total																		
Métaux Lourds																		
Arsenic	mg/kg Ms	25		4700	1200	110	1,5	2500	330	3,2	470	15	29	2,7	1200	740	4,7	
Cadmium	mg/kg Ms	0,45		1,2	2,9	3	0,1	7,3	1	0,2	1,2	0,2	0,2	0,1	1,8	3	0,2	
Chrome	mg/kg Ms	90		7,8	8,7	17	3,5	8,3	7,9	9,4	14	14	9,9	7,9	11	7,5	11	
Cuivre	mg/kg Ms	20		460	310	1000	1,2	460	100	6,8	440	20	32	5,8	590	710	15	
Mercurure	mg/kg Ms	0,1		243	45,9	2,08	0,06	3200	282	-0,05	32,4	0,36	0,84	-0,05	103	140	0,23	
Nickel	mg/kg Ms	60		7,8	8,2	11	1,9	4,1	2,5	8,6	8,5	2,3	2,3	7,1	8,8	8,3	2,2	
Pb	mg/kg Ms	50	100	300	8100	2400	230	5	47000	9000	5,8	2500	36	99	4,3	5000	3500	
Zinc	mg/kg Ms	100		480	1500	1400	6,3	220	140	19	310	20	24	15	570	620	26	
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)																		
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Dichlorométhane	mg/kg Ms			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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	<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.	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	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	
Toluène	mg/kg Ms			<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	
Ethylbenzène	mg/kg Ms			<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,050	<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	<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	<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.	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.	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	<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	<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	<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	<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	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms			<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<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	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	
Fraction C5-C10	mg/kg Ms			<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
Hydrocarbures Totaux																		
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms			330	59,9	<20,0	<20,0	110	<20,0	<20,0	48	<20,0	<20,0	<20,0	150	120	<20,0	
Fraction C10-C12	mg/kg Ms			<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<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	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	
Fraction C16-C20	mg/kg Ms			24,6	4,7	3,7	<2,0	4,9	<2,0	<2,0	2,7	<2,0	<2,0	17,5	20,7	<2,0		
Fraction C20-C24	mg/kg Ms			64,1	10,6	4	<2,0	13,7	<2,0	<2,0	9,6	<2,0	<2,0	30	28,4	<2,0		
Fraction C24-C28	mg/kg Ms			110	18,7	4	<2,0	30,3	3,2	<2,0	15,7	<2,0	<2,0	39,9	32,5	<2,0		
Fraction C28-C32	mg/kg Ms			85	14	4,1	<2,0	34	3,3	<2,0	12	<2,0	<2,0	33	27	<2,0		
Fraction C32-C36	mg/kg Ms			34,7	7,4	<2,0	<2,0	19,5	<2,0	<2,0	5,6	<2,0	<2,0	18,7	11,5	<2,0		
Fraction C36-C40	mg/kg Ms			10,2	2,7	<2,0	<2,0	5,4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	5,9	3	<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	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Acénaphthène	mg/kg Ms			<0,050	0,052	0,065	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,06	0,088	<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	<0,050	0,2	0,19	<0,050	
Pyène	mg/kg Ms			0,95	0,6	0,077	<0,050	0,38	0,066	<0,050	0,32	<0,050	<0,050	0,29	5	<0,050		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms			0,54	0,22	0,067	<0,050	0,19	<0,050	<0,050	0,26	<0,050	<0,050	1,9	3,1	<0,050		
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms			0,068	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,25	0,27	<0,050		
Anthracène	mg/kg Ms			0,15	0,07	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,72	0,42	<0,050		
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms			0,55	0,27	0,062	<0,050	0,16	<0,050	<0,050	0,17	<0,050	<0,050	1,9	2,8	<0,050		
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms			0,34	0,28	0,064	<0,050	0,17	<0,050	<0,050	0,12	<0,050	<0,050	1,9	2,9	<0,050		
Benzo(g,h,i)perylène	mg/kg Ms			0,36	0,27	<0,050	<0,050	0,14	<0,050	<0,050	0,13	<0,050	<0,050	1,4	2,2	<0,050		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms			0,29	0,14	<0,050</												

Secteur de la zone d'étude		Unité	Bruit de fond géochimique (1)	Valeurs de références pour le plomb		PR.69EN.21.0037 - 001						PR.69EN.22.0018-001					
Echantillons				S6 (0,0-1,0 m)	S25 (0,1-0,5 m)	S25 (0,5-0,8 m)	S25 (0,8-1,2 m)	S26 (0,3-0,7 m)	S26 (0,7-1,0 m)								
Date de prélèvements				21.06.2021	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022								
Facès			Valeur de vigilance	Valeur seuil	Sables et limons graveleux marron	Sable graveleux marron	Sable graveleux marron noirâtre	Sable graveleux beige	Sable graveleux marron	Sable limono-graveleux gris							
Indice organoleptique					-	-	Couleur noirâtre et Mâchefer	-	-	-							
Paramètre																	
Matière sèche	%				91,3	87,7	87,5	96,1	90,5	91,6							
COT Carbone Organique Total	mg/kg Ms				-	13000	-	-	5300	-							
Métaux Lourds																	
Arsenic	mg/kg Ms	25			650	3000	4100	57	100	36							
Cadmium	mg/kg Ms	0.45			6.2	15	3.3	0.5	0.5	0.1							
Chrome	mg/kg Ms	90			17	11	16	16	14	6.7							
Cuivre	mg/kg Ms	20			1300	4900	1200	52	130	34							
Mercurure	mg/kg Ms	0.1			15.4	0.48	0.26	<0.05	5.07	2.55							
Nickel	mg/kg Ms	60			9.8	12	12	2.8	9.2	3.6							
Plomb	mg/kg Ms	50	100	300	1500	120	61	3.8	180	63							
Zinc	mg/kg Ms	100			1600	5000	1200	130	150	44							
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)																	
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms				<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							
Trichlorométhane	mg/kg Ms				<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							
Trichloroéthylène	mg/kg Ms				<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							
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<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							
1,1-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<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							
cis-1,2-Dichloroéthène	mg/kg Ms				<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							
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<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.							
BTEX																	
Benzène	mg/kg Ms				<0.05	<0.050	<0.05	<0.05	<0.050	<0.05							
Toluène	mg/kg Ms				<0.05	<0.050	<0.05	<0.05	<0.050	<0.05							
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0.05	<0.050	<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							
o-Xylène	mg/kg Ms				<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.							
Somme BTEX	mg/kg Ms				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							
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg Ms				<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							
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg Ms				<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							
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms				<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							
Fraction C5-C10	mg/kg Ms				<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0							
Hydrocarbures Totaux																	
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms				120	<20.0	<20.0	<20.0	22.5	<20.0							
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<4.0	<4.0	<4.0	<4.0	<4.0	<4.0							
Fraction C12-C16	mg/kg Ms				5.1	<4.0	<4.0	<4.0	<4.0	<4.0							
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				25.1	<2.0	<2.0	<2.0	3.8	<2.0							
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				23.1	<2.0	<2.0	<2.0	3.8	5.3							
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				32	2.9	<2.0	<2.0	5	3.6							
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				24	2.3	<2.0	<2.0	4.6	<2.0							
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				9.2	<2.0	<2.0	<2.0	3	<2.0							
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				2.5	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0							
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)																	
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050							
Acénaphthène	mg/kg Ms				0.26	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050							
Fluorène	mg/kg Ms				0.22	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050							
Pyrène	mg/kg Ms				3.3	0.5	0.1	<0.050	0.67	0.13							
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				1.3	0.19	<0.050	<0.050	0.35	0.076							
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				0.13	<0.050	<0.050	<0.050	0.06	<0.050							
Anthracène	mg/kg Ms				0.59	0.087	<0.050	<0.050	0.13	<0.050							
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				1.5	0.22	<0.050	<0.050	0.36	0.082							
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms				1.4	0.18	<0.050	<0.050	0.33	0.076							
Benzo(g,h,i)perylène	mg/kg Ms				1	0.14	<0.050	<0.050	0.19	0.073							
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				0.69	0.095	<0.050	<0.050	0.17	<0.050							
Chrysène	mg/kg Ms				1.3	0.22	<0.050	<0.050	0.35	0.076							
Fluoranthène	mg/kg Ms				3.6	0.57	0.19	<0.050	0.83	0.17							
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms				0.92	0.17	<0.050	<0.050	0.27	0.059							
Naphtalène	mg/kg Ms	0.15			<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050							
Phénanthrène	mg/kg Ms				3.5	0.46	0.15	<0.050	0.63	0.12							
Somme HAP (6)	mg/kg Ms				8.91	1.35	0.19	n.d.	2.14	0.454							
Somme HAP (VROM)	mg/kg Ms				14.5	2.14	0.34	n.d.	3.26	0.656							
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms	14.7			19.7	2.83	0.44	n.d.	4.34	0.862							
PCB																	
PCB (28)	mg/kg Ms				<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							
PCB (101)	mg/kg Ms				<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							
PCB (138)	mg/kg Ms				0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001							
PCB (153)	mg/kg Ms				0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001							
PCB (180)	mg/kg Ms				0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001							
Somme PCB (7)	mg/kg Ms				0.003	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.							

Secteur de la zone d'étude		Unité	Bruit de fond géochimique (1)	Valeurs de références pour le plomb		PR.69EN.21.0037 - 001		PR.69EN.22.0018-001			
Echantillons				S9 (0,0-0,3 m)	S9 (0,3-0,8 m)	S27 (0,3-0,9 m)	S30 (0,0-0,4 m)	S30 (0,4-1,0 m)	S30 (1,0-2,0 m)		
Date de prélèvements				21.06.2021	21.06.2021	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022	12.04.2022		
Facès				Valeur de vigilance	Valeur seuil	Couche de forme (sables graveleux)	Limon sablo-graveleux marron	Limon graveleux-sableux marron	Couche de forme graveleux-beige	Sable graveleux beige	Sable graveleux beige
Indice organoleptique					-	-	Débris de verre	-	-	-	
Paramètre											
Matière sèche	%				98,4	93,7	93,7	98,3	95,6	97	
COT Carbone Organique Total	mg/kg Ms				-	-	19000	1100	-	-	
Métaux Lourds											
Arsenic	mg/kg Ms	25			13	180	32	1,3	4	1,6	
Cadmium	mg/kg Ms	0,45			0,3	7,1	0,3	0,2	1,7	0,2	
Chrome	mg/kg Ms	90			7,2	37	14	3,1	19	8,5	
Cuivre	mg/kg Ms	20			36	1400	37	1,3	33	1,8	
Mercure	mg/kg Ms	0,1			0,31	1,1	0,75	<0,05	<0,05	<0,05	
Nickel	mg/kg Ms	60			5,7	23	8,6	1,6	5,5	2,4	
Plomb	mg/kg Ms	50	100	300	26	460	100	2	3	1,9	
Zinc	mg/kg Ms	100			55	2700	61	7,8	470	63	
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)											
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms				<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	
Trichlorométhane	mg/kg Ms				<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	
Trichloroéthylène	mg/kg Ms				<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	
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg Ms				<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	
1,1-Dichloroéthane	mg/kg Ms				<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	
cis-1,2-Dichloroéthène	mg/kg Ms				<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	
Trans-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg Ms				<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.	
BTEX											
Benzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,050	<0,050	<0,05	<0,05	
Toluène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,050	<0,050	<0,05	<0,05	
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05	<0,050	<0,050	<0,05	<0,05	
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<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	
Somme Xylènes	mg/kg Ms				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.	
Hydrocarbures Volatils											
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg Ms				<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	
Fraction aromatique >C6-C8	mg/kg Ms				<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	
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg Ms				<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	
Fraction >C6-C8	mg/kg Ms				<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	
Fraction C5-C10	mg/kg Ms				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
Hydrocarbures Totaux											
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms				<20,0	50,3	61,2	<20,0	<20,0	<20,0	
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<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	
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				<2,0	8,1	5,8	<2,0	<2,0	<2,0	
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				<2,0	12,1	7,8	<2,0	<2,0	<2,0	
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				<2,0	11,7	10,6	<2,0	<2,0	<2,0	
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				<2,0	9,1	13	<2,0	<2,0	<2,0	
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				<2,0	4,5	12,1	<2,0	<2,0	<2,0	
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				<2,0	<2,0	8,6	<2,0	<2,0	<2,0	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)											
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<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	
Fluorène	mg/kg Ms				<0,050	0,066	0,081	<0,050	<0,050	<0,050	
Pyrène	mg/kg Ms				0,25	3,2	1,5	<0,050	<0,050	<0,050	
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				0,11	1,9	1,1	<0,050	<0,050	<0,050	
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				<0,050	0,25	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	
Anthracène	mg/kg Ms				<0,050	0,27	0,32	<0,050	<0,050	<0,050	
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				0,13	1,8	1,2	<0,050	<0,050	<0,050	
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms				0,16	2,3	1	<0,050	<0,050	<0,050	
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg Ms				0,12	1,4	0,82	<0,050	<0,050	<0,050	
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				0,071	1	0,58	<0,050	<0,050	<0,050	
Chrysène	mg/kg Ms				0,12	1,5	1,2	<0,050	<0,050	<0,050	
Fluoranthène	mg/kg Ms				0,24	3,3	2,1	<0,050	<0,050	<0,050	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms				0,12	1,5	0,91	<0,050	<0,050	<0,050	
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15			<0,050	<0,050	0,074	<0,050	<0,050	<0,050	
Phénanthrène	mg/kg Ms				0,13	1,6	1,2	<0,050	<0,050	<0,050	
Somme HAP (6)	mg/kg Ms				0,821	11,4	6,51	n.d.	n.d.	n.d.	
Somme HAP (VROM)	mg/kg Ms				1,09	14,7	9,4	n.d.	n.d.	n.d.	
Somme HAP (EPA)	mg/kg Ms	14,7			1,45	20,1	12,1	n.d.	n.d.	n.d.	
PCB											
PCB (28)	mg/kg Ms				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (52)	mg/kg Ms				0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (101)	mg/kg Ms				0,006	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (118)	mg/kg Ms				0,007	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (138)	mg/kg Ms				0,012	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (153)	mg/kg Ms				0,015	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	
PCB (180)	mg/kg Ms				0,007	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	
Somme PCB (7)	mg/kg Ms				0,051	n.d.	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	

EAUX SOUTERRAINES

Paramètre	Unité	Directive (UE) 2020/2184 du 16/12/2020 modifiant la directive 98/83/CE	Arrêté du 11 janvier 2007, modifié par l'arrêté du 4 août 2017	PZ2	PZ3
		Eaux destinées à la consommation humaine	Eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (annexe II)		
Métaux lourds					
Arsenic	µg/l	10	100	<5.0	<5.0
Cadmium	µg/l	5	5	<0.10	<0.10
Chrome	µg/l	50	50	<2.0	<2.0
Cuivre	µg/l	2000	-	<2.0	<2.0
Mercurure	µg/l	1	1	<0.030	<0.030
Nickel	µg/l	20	-	<5.0	<5.0
Plomb	µg/l	10	50	<5.0	<5.0
Zinc	µg/l	-	5000	3.8	7.1
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)					
Dichlorométhane	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
Tétrachlorométhane	µg/l	-	-	<0.1	<0.1
Trichlorométhane	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
1,1-Dichloroéthane	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
1,2-Dichloroéthane	µg/l	3	-	<0.5	<0.5
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
1,1,2-Trichloroéthane	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
1,1-Dichloroéthylène	µg/l	-	-	<0.1	<0.1
Chlorure de Vinyle	µg/l	0.5	-	<0.2	<0.2
Cis-1,2-Dichloroéthène	µg/l	-	-	<0.50	<0.50
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l	-	-	<0.50	<0.50
Trichloroéthylène	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
Tétrachloroéthylène	µg/l	10	-	<0.1	0.2
BTEX					
Benzène	µg/l	1	-	<0.2	<0.2
Toluène	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
Ethylbenzène	µg/l	-	-	<0.5	<0.5
m,p-Xylène	µg/l	-	-	<0.2	<0.2
o-Xylène	µg/l	-	-	<0.50	<0.50
Somme Xylènes	µg/l	-	-	n.d.	n.d.
Hydrocarbures Volatils					
Fraction aliphatique >C6-C8	µg/l	-	-	<2.0	<2.0
Fraction aromatique >C6-C8	µg/l	-	-	<2.0	<2.0
Fraction aliphatique >C8-C10	µg/l	-	-	<2.0	<2.0
Fraction aromatique >C8-C10	µg/l	-	-	<2.0	<2.0
Fraction >C6-C8	µg/l	-	-	<4.0	<4.0
Fraction >C8-C10	µg/l	-	-	<4.0	<4.0
Fraction C5-C10	µg/l	-	-	<10	<10
Hydrocarbures Totaux					
Hydrocarbures totaux C10-C40	µg/l	-	1000	<50	<50
Fraction C10-C12	µg/l	-	-	<10	<10
Fraction C12-C16	µg/l	-	-	<10	<10
Fraction C16-C20	µg/l	-	-	<5.0	<5.0
Fraction C20-C24	µg/l	-	-	<5.0	<5.0
Fraction C24-C28	µg/l	-	-	<5.0	<5.0
Fraction C28-C32	µg/l	-	-	<5.0	<5.0
Fraction C32-C36	µg/l	-	-	<5.0	<5.0
Fraction C36-C40	µg/l	-	-	5.3	<5.0
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)					
Naphtalène	µg/l	-	-	<0.02	<0.02
Acénaphthylène	µg/l	-	-	<0.050	<0.050
Acénaphthène	µg/l	-	-	<0.01	<0.01
Fluorène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Phénanthrène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Anthracène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Pyréne	µg/l	-	-	0.011	<0.010
Benzo(a)anthracène	µg/l	-	-	0.019	0.012
Chrysène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Fluoranthène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Benzo(b)fluoranthène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Benzo(k)fluoranthène	µg/l	-	-	<0.01	<0.01
Indéno(1,2,3-c-d)pyréne	µg/l	0.1	1	<0.010	<0.010
Benzo(g,h,i)pyrénylène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Benzo(a)pyrénylène	µg/l	0.01	-	<0.010	<0.010
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Somme HAP	µg/l	-	-	0.011	n.d.
Somme HAP (VROM)	µg/l	-	-	0.011	n.d.
Somme HAP (16 EPA)	µg/l	-	-	0.03	0.012
PCB					
PCB (28)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (52)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (101)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (118)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (138)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (153)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
PCB (180)	µg/l	-	-	<0.010	<0.010
Somme PCB (STI) (ASE)	µg/l	-	-	n.d.	n.d.
Somme PCB (7)	µg/l	-	-	n.d.	n.d.

GAZ DES SOLS

Paramètre	Unité	R1	R2	R3	PA1	PA3	PA4	PA6	PA7	PA9
Référence		Inéris, valeurs au 21/10/2021								
Métaux lourds										
Mercure élémentaire	µg/m ³	0.03	0.2	-	0.015	0.029	0.007	0.036	0.015	0.015
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)										
I,1-Dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	<2	<2	<3	<3	<2	<3
Chlorure de Vinyle	µg/m ³	2.6	26	1 300	<2	<2	<3	<3	<2	<3
Dichlorométhane	µg/m ³	10	100	2 100	<6	<6	<6	<6	<6	<6
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/m ³	-	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
I,1-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/m ³	60	600	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Trichlorométhane (chloroforme)	µg/m ³	63	150	150	<5	<5	<5	<5	<5	<5
I,2-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
I,1,1-Trichloroéthane	µg/m ³	1 000	5 000	5 000	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tétrachlorométhane	µg/m ³	110	190	1900	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Trichloroéthylène	µg/m ³	10	50	3 200	<1	<1	<1	<1	<1	<1
I,1,2-Trichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	250	1 250	1 380	<5	<5	<5	<5	<5	<5
BTEX										
Benzène	µg/m ³	2	10	30	<1	<1	3	<1	2	<1
Toluène	µg/m ³	20 000	21 000	21 000	<2	4	7	4	5	3
Ethylbenzène	µg/m ³	1 500	15 000	22 000	<2	<2	<3	<3	<2	<3
m,p-Xylène	µg/m ³	-	-	-	<2	<2	4	<3	5	<3
o-Xylène	µg/m ³	-	-	-	<2	<2	4	<3	5	<3
Xylènes	µg/m ³	100	1 000	8 800	<4	<4	8	<6	10	<6
Hydrocarbures aliphatiques										
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	µg/m ³	18 000	180 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	µg/m ³	18 000	180 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	µg/m ³	1 000	10 000	-	<50	54	76	78	100	<51
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	µg/m ³	1 000	10 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	97
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	µg/m ³	1 000	10 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures aromatiques										
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	µg/m ³	-	-	-	<1	<1	3	<1	2	<1
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	µg/m ³	-	-	-	<2	4	7	4	5	3
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	µg/m ³	200	2 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	µg/m ³	200	2 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	µg/m ³	200	2 000	-	<50	<49	<51	<50	<49	<51
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
Naphtalène	µg/m ³	10	50	-	<2	<2	<3	<3	<2	<3

AIR AMBIANT

Paramètre	Unité	R1	R2	R3	AA1	AA2	AA3 (témoin)
Référence		Inérés, valeurs au 21/10/2021					
Métaux lourds							
Mercurie élémentaire	µg/m ³	0.03	0.2	-	<0.024	<0.024	<0.024
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)							
1,1-Dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	<0.07	<0.06	<0.07
Chlorure de Vinyle	µg/m ³	2.6	26	1 300	<0.03	<0.03	<0.03
Dichlorométhane	µg/m ³	10	100	2 100	<0.02	<0.02	<0.02
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/m ³	-	-	-	<0.07	<0.06	<0.07
1,1-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<0.07	<0.06	<0.07
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/m ³	60	600	-	<0.07	<0.06	<0.07
Trichlorométhane (chloroforme)	µg/m ³	63	150	150	<0.02	0.03	0.03
1,2-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	0.19	0.27	0.25
1,1,1-Trichloroéthane	µg/m ³	1 000	5 000	5 000	<0.03	<0.03	<0.03
Tétrachlorométhane	µg/m ³	110	190	1900	0.12	0.13	0.19
Trichloroéthylène	µg/m ³	10	50	3 200	<0.02	<0.02	<0.02
1,1,2-Trichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	<0.03	<0.03	<0.03
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	250	1 250	1 380	0.02	0.04	0.05
1,2-Dichloropropane	µg/m ³	-	-	-	<0.02	<0.02	<0.02
Trans-1,3-Dichloropropène	µg/m ³	-	-	-	<0.02	<0.02	<0.02
Cis-1,3-Dichloropropène	µg/m ³	-	-	-	<0.02	<0.02	<0.02
BTEX							
Benzène	µg/m ³	2	10	30	0.52	0.65	0.77
Toluène	µg/m ³	20 000	21 000	21 000	0.66	0.99	1.3
Ethylbenzène	µg/m ³	1 500	15 000	22 000	3.3	5.1	6
m,p-Xylène	µg/m ³	-	-	-	0.58	0.84	1.2
o-Xylène	µg/m ³	-	-	-	0.44	0.53	0.67
Xylènes	µg/m ³	100	1 000	8 800	1.02	1.37	1.87
Hydrocarbures aliphatiques							
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	µg/m ³	18 000	180 000	-	1.1	1.8	2.3
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8	µg/m ³	18 000	180 000	-	1.32	2.22	2.77
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	µg/m ³	1 000	10 000	-	13.4	22.5	25.3
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	µg/m ³	1 000	10 000	-	36.6	63.4	70.8
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	µg/m ³	1 000	10 000	-	3	7.1	8.4
Hydrocarbures aromatiques							
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	µg/m ³	-	-	-	0.52	0.65	0.77
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	µg/m ³	-	-	-	0.66	0.99	1.3
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	µg/m ³	200	2 000	-	22.9	34.4	41
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	µg/m ³	200	2 000	-	0.93	1.3	1.5
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	µg/m ³	200	2 000	-	<0.02	<0.02	<0.02
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)							
Naphtalène	µg/m ³	10	50	-	0.2	0.27	0.33

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** (Eureopean 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 35 ci-après.

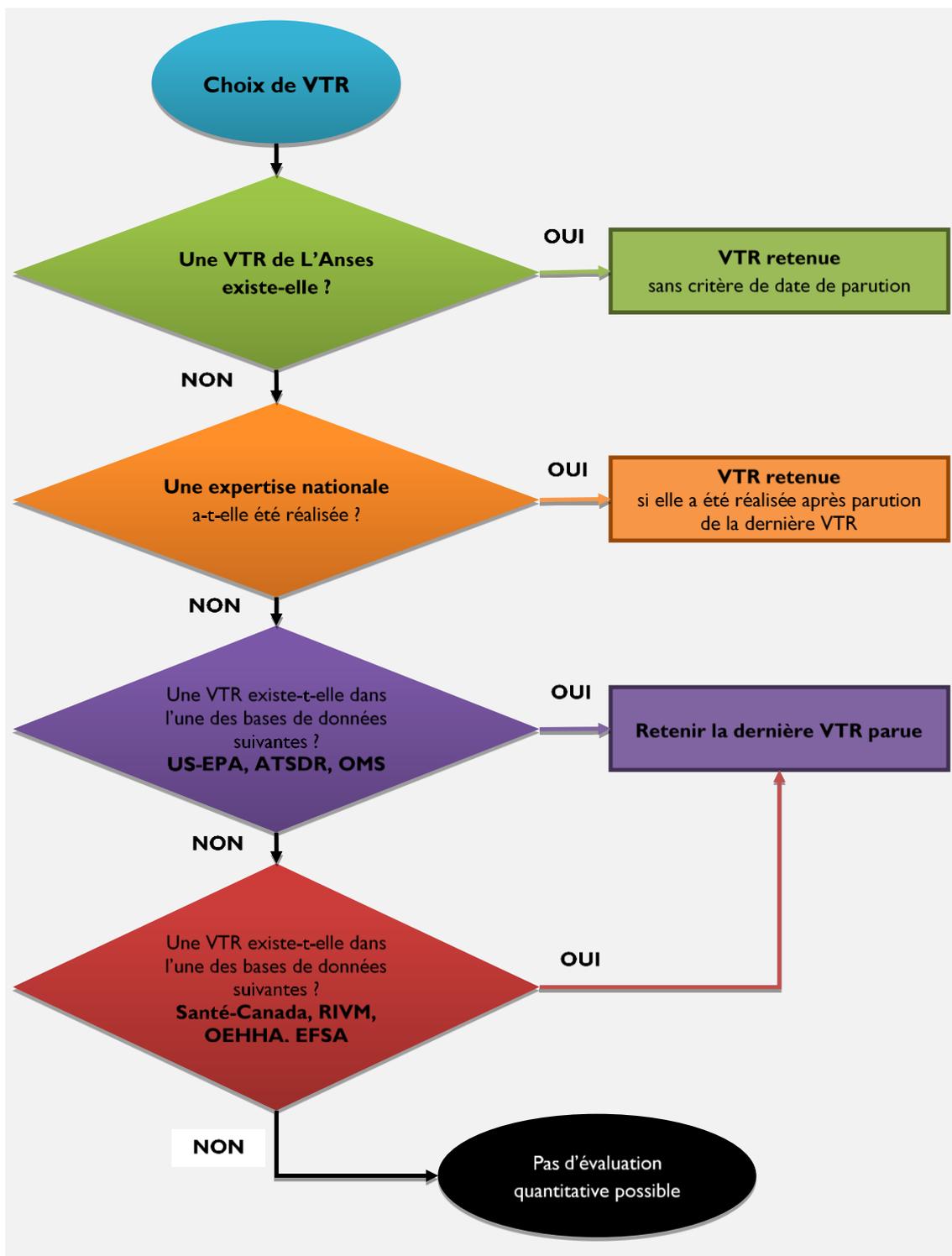


Figure 35 : Logigramme de sélection des VTR

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 34 : 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 E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	3 : Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent probablement non cancérogène chez l'homme -

Tableau 35 : 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 36 : Classification en termes d'effets toxiques pour la reproduction (UE)

R1A : 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'OEHHA ($1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$).

- 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 37 : 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)
Composés Organo-halogénés Volatils (COHV)										
Tétrachloroéthylène PCE	127-18-4	0.4	0.4	2018	Anses	Choix INERIS 2020, retenue ANSES 2021	oui		30	
		0.4	0.4	2012	USEPA			homme	30	Effets neurologiques
		0.2	0.2	2006	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	choix INERIS 2018			100	Néphrotoxicité (travailleur)
		0.25	0.25	1997	HCSP, Anses				2010	
		0.25	0.25	1997	ATSDR			homme	100	Neurotoxicité (rat)
		0.25	0.25	2001	RIVM			homme		
		0.035	0.035	1991	OEHHA					
		0.035	0.035	2003	OEHHA					Néphrotoxicité et hépatotoxicité (rat)
0.36	0.36	1992	Health Canada				souris	1000	Multiple (souris)	
BTEX & CAV										
Benzène	71-43-2	0.01	0.01	2008	ANSES	retenue ANSES 2021	oui			
		0.002	0.002	2011	Décret 2011-1727	choix INERIS 2018				
		0.01	0.01	2010	HCSP	valeur action rapide				
		0.028	0.028	2007	ATSDR			homme	10	Immunotoxicité (homme)
		0.03	0.03	2003	US-EPA			homme	300	Lymphopénie (homme)
		0.003	0.003	2014	OEHHA			homme	200	Hématotoxicité (homme)
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 38 : 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								
Tétrachloroéthylène PCE	127-18-4	0.00026	0.00026	2017	Anses	retenu ANSES 2021 - choix INERIS 2020	oui		C2	2A	B2
		0.00026	0.00026	2013	US-EPA						
		0.25	0.25	2010	HCSP						
		0.0059	0.0059	2005	OEHHA			souris			
BTEX & CAV											
Benzène	71-43-2	0.026	0.026	2013	Anses	retenu ANSES, 2021	oui	homme	CIA MIB	I	A
		0.005	0.005	2011	Décret 2011-1727						
		0.0078	0.0078	2000	US-EPA			homme			
		0.0022	0.0022	1998	US-EPA			homme			
		0.0022	0.0022	1998	US-EPA			homme			
		0.006	0.006	1997	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)			homme			
		0.029	0.029	2009	OEHHA						
0.003	0.003	1991	Health Canada			homme					
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 (VGA1)						
		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 39 : 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)
<input type="checkbox"/> Substances présentes dans l'air ambiant Date de Mise à jour												
Substances (Dénomination int)		Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022	Avril 2022
Mercure		7439-97-6	0.0567	-	21 250	4.3	2.99E-01	20.00	7.20E-03	729.36	0.0307	6.30E-06
Composés Organo-halogénés Volatils (COHV)												
Tétrachloroéthylène PCE		127-18-4	150	++	247	2.4	7.44E-01	25	1.82E-02	1844	7.20E-02	8.20E-06
BTEX & CAV												
Benzène		71-43-2	1830	++	134.1	2.1	2.25E-01	25	5.51E-03	558	9.70E-02	1.02E-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

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 :

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

<u>où :</u>	$C_{\text{air ambiant}}$:	concentration dans l'air ambiant (mg/m ³)
	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/m ³) (cf. équations 8, 9 et 10)

Le coefficient FA s'exprime de la manière suivante :

$$\text{FA} = \frac{1}{1 + \frac{\text{vit}_v \times h_{\text{mel}}}{\text{long}_{\text{zp}}} \times \left(\frac{L_s}{D_{\text{eff-sol}}} + \frac{h_{\text{-couv}}}{D_{\text{eff-couv}}} \right)} \text{ [Equation 2]}$$

<u>où :</u>	vit_v :	vitesse du vent (m/s)
	h_{mel} :	hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant (m)
	L_s :	profondeur de la source (m)
	$D_{\text{eff-sol}}$:	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)
	$h_{\text{-couv}}$:	épaisseur de la couverture (m)
	$D_{\text{eff-couv}}$:	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.

$$D_{\text{eff}} = D_{\text{sa}} + D_{\text{w}}$$

avec

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

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

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

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

où :

- D_{sa} : diffusion effective dans l'air (cm²/s)
- D_{air} : coefficient de diffusion de la substance dans l'air (cm²/s)
- D_{w} : diffusion effective dans l'eau (cm²/s)
- D_{eau} : coefficient de diffusion de la substance dans l'eau (cm²/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 :

$$D_{\text{eff}} \text{ totale} = D_{\text{eff}} \text{ couche 1} * 10\ 000 / 86\ 400 \text{ [Equation 7a]}$$

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

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

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

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

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

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

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 $C_{\text{air sol}} = C_w * H * 1000$ [Equation 3a]

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

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

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

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 chaleurs⁹

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

⁹ <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/frequently-asked-questions-faqs/asphalt-pavement-construction/>

CONCENTRATION DANS LES POUSSIÈRES

Des particules du sol peuvent être mises en suspension dans l'air par l'action du vent ou par des phénomènes mécaniques comme le trafic routier ou les travaux agricoles.

L'équation utilisée est issue du modèle intégré HESP (ou VOLASOIL) :

$$C_{\text{poussières}} = C_s \times \text{TSP} \times \text{frs}$$

<u>Avec</u>	$C_{\text{poussières}}$:	concentration de polluant sous forme particulaire inhalable (mg/m ³)
	C_s :	concentration dans les sols de surface (mg/kg)
	TSP :	concentration de particules en suspension dans l'air (kg/m ³)
	frs :	fraction de sol dans les poussières (-)

Cette équation a été appliquée pour le calcul de la concentration de poussières dans l'air atmosphérique.

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- fraction du sol dans les poussières (frs) : dans l'air extérieur de 0,5 et dans l'air intérieur de 0,8 (valeurs par défaut du logiciel HESP) ;
- quantités de particules en suspension dans l'air extérieur (TSPe) : 0,07 mg/m³ et dans l'air intérieur (TSPi) de 0,0525 mg/m³ (valeurs par défaut du logiciel HESP).

CONCENTRATION DANS L'EAU DES CANALISATIONS

La concentration dans les eaux des canalisations d'amenée d'eau potable qui seront enfouies dans les terrains peut être évaluée par l'équation suivante (issue du modèle intégré HESP correspondant au seul outil permettant de calculer ces concentrations) :

$$C_{\text{canalisation}} = C_{\text{eau-extérieur}} \times D_{\text{PEHD}} \times dt \times \frac{2 \cdot \pi \times R_{\text{interne}} \times L}{D_e \times Q} \quad \text{[Equation 1]}$$

<u>Avec</u>	$C_{\text{canalisation}}$:	concentration dans l'eau de la canalisation (mg/l) sur une journée
	$C_{\text{eau-extérieur}}$:	concentration dans l'eau interstitielle des sols au contact de la canalisation (mg/l) (cf. équation 2)
	D_{PEHD} :	coefficient de perméation du PEHD pour le composé étudié (m ² /j)
	dt :	durée de stagnation de l'eau dans la canalisation (=1 jour, valeur par défaut de HESP : Veerkamp, 1994). Ce facteur permet de prendre en compte la correction (sur une journée) liée à une période de stagnation.
	R_{interne} :	rayon interne de la canalisation (m)
	L :	longueur de la zone polluée traversée par la canalisation (m)
	D_e :	épaisseur de la canalisation (m)
	Q :	débit d'eau transitant dans la canalisation (m ³ /j)

Par ailleurs, les paramètres liés aux canalisations pris en compte sont les suivants :

- longueur de la zone polluée considérée est de 110 mètres (remarque : dans un premier temps, nous avons considéré la dimension maximale de la source de pollution la plus importante mise en évidence sur le site).
- le rayon interne de la canalisation et son épaisseur ne sont pas connus. Les dimensions standards de tuyauterie d'AEP ont donc été considérées :
 - industriel /résidentiel collectif :
 - rayon interne : 50 mm,
 - épaisseur 4 mm¹⁰ ;
 - tertiaire (petite taille) / résidentiel individuel :
 - rayon interne : 9,8 mm,
 - épaisseur 2,7 mm (VeerKamp, 1994).
- le débit transitant a été pris égal à 150 L/j/personne en considérant que 4 personnes occupant en moyenne un appartement,
- le débit transitant a été pris égal à 40 L/j/personne dans les bureaux.

¹⁰ Donnée issue des catalogues M. BRICOLAGE et LEROY MERLIN, pour des canalisations d'amenée d'eau potable NF.

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 $C_{\text{air sol}} = C_w * H * 1000$ [Equation 2a]

et si $C_{\text{eau sol}} > \text{solubilité}$ alors $C_{\text{air sol}} = S * H * 1000$ [Equation 2b]

où $C_{\text{eau sol}} = (C_t \times \rho_b) / (\theta_a \times H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$ [Equation 2c]

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

$$C_{\text{air sol}} = C_{\text{nappe}} * H * 1000 \text{ [Equation 2d]}$$

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)

- la concentration dans l'eau des sols a été calculée à partir de concentration dans **les gaz du sol**, de la manière suivante :

$$C_{\text{eaudusol}} = \frac{C_{\text{airdusol}}}{H} \text{ [Equation 3]}$$

Avec H : constante de Henry (-)

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

Lieu d'exposition		Inhalation								
Enfant	Cible 1	VTR inh		Inhalation de vapeurs en extérieur						
		VTR _{5,inh}	VTR _{55,inh}	C _i	C _{i,cible1,s}	C _{i,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 $C_i = (C_i \times t_i) / F_i \times T_f^m$		Quotien de Danger $Qd = C_i / VTR_{5,i}$	Excès de Risque Individuel $ERI_i = C_{i,ss} \times VTR_{5,i}$		
		mg/m ³	(mg/m ³)-1	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	sans unité	sans unité		
Unité										
Substance		N°CAS								
Métaux et métalloïdes										
Mercure		7439-97-6		3.00E-05	1.29E-05	1.07E-06	9.20E-08	3.58E-02		
Composés Organo-halogénés Volatils (COHV)										
Tétrachloroéthylène PCE		127-18-4		4.00E-01	2.60E-04	8.42E-10	7.02E-11	6.01E-12	1.75E-10	1.56E-15
BTEX & CAV										
Benzène		71-43-2		1.00E-02	2.60E-02	6.81E-08	5.67E-09	4.86E-10	5.67E-07	1.26E-11
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
Naphtalène		91-20-3		3.70E-02	5.60E-03	2.67E-04	2.23E-05	1.91E-06	6.02E-04	1.07E-08

QD _{cible1}	ERI _{cible1}
3.64E-02	1.07E-08

Lieu d'exposition		Inhalation								
Adulte	Cible 2	VTR inh		Inhalation de vapeurs en extérieur						
		VTR _{5,inh}	VTR _{55,inh}	C _i	C _{i,cible2,s}	C _{i,cible2,ss}	QD _{cible2}	ERI _{cible2}		
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 $C_i = (C_i \times t_i) / F_i \times T_f^m$		Quotien de Danger $Qd = C_i / VTR_{5,i}$	Excès de Risque Individuel $ERI_i = C_{i,ss} \times VTR_{5,i}$		
		mg/m ³	(mg/m ³)-1	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	sans unité	sans unité		
Unité										
Substance		N°CAS								
Métaux et métalloïdes										
Mercure		7439-97-6		3.00E-05		8.58E-06	7.15E-07	2.45E-07	2.38E-02	
Composés Organo-halogénés Volatils (COHV)										
Tétrachloroéthylène PCE		127-18-4		4.00E-01	2.60E-04	5.61E-10	4.68E-11	1.60E-11	1.17E-10	4.17E-15
BTEX & CAV										
Benzène		71-43-2		1.00E-02	2.60E-02	4.54E-08	3.78E-09	1.30E-09	3.78E-07	3.37E-11
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
Naphtalène		91-20-3		3.70E-02	5.60E-03	1.78E-04	1.48E-05	5.09E-06	4.01E-04	2.85E-08

QD _{cible2}	ERI _{cible2}
2.42E-02	2.85E-08



www.groupefondasol.com

AGENCE ENVIRONNEMENT CENTRE-SUD

106 avenue Franklin Roosevelt
69120 – VAULX-EN-VELIN

☎ 04.74.37.68.88

✉ environnement.lyon@fondasol.fr