



RAPPORT

BOULEVARD DE LYON A ROUBAIX

Plan de gestion directeur

Projet N° Ea3732

Préparé pour

EPF Nord-Pas-de-Calais

Juin 2018

RAPPORT

BOULEVARD DE LYON A ROUBAIX

Plan de gestion directeur

Projet N° Ea3732

Préparé pour

EPF Nord-Pas-de-Calais

Juin 2018

Indice	Date	Ingénieur d'études (nom, visa)	Chef de projet (nom, visa)	Superviseur (nom, visa)
1	28/06/2018	Marianne de Singly	Solenn Guégan	Juliette Boursiez

Avertissement

Ce rapport a été rédigé pour répondre à une question spécifiquement posée par un maître d'ouvrage à un moment précis de son projet.

Son contenu correspond à une prestation acceptée par le maître d'ouvrage tant sur la chose que sur le prix.

Son utilisation totale ou partielle, en dehors du contexte dans lequel il a été rédigé et des compléments qui l'accompagnent, telles que lettre d'envoi, réunion de présentation,... expose l'utilisateur à une compréhension erronée des conclusions qu'il contient.

RESUME NON TECHNIQUE

L'Etablissement Public Foncier (EPF) du Nord-Pas-de-Calais est propriétaire, depuis 2012, d'un site localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon à Roubaix (59). Le site, d'une superficie totale de 4 418 m², était occupé jusqu'en 2008 par la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS qui y exerçait une activité de métallurgie et de traitement de surface.

Depuis 2004, plusieurs études environnementales et travaux ont été réalisés au droit de la zone d'étude pour le compte de l'ancien exploitant et l'EPF. Une pollution des sols et des eaux souterraines par les hydrocarbures et les COHV¹ a notamment été mise en évidence lors de ces différentes études.

Un plan de gestion a été réalisé dans le cadre de la cessation d'activité du dernier exploitant, déclarée le 30 juin 2008 pour un usage industriel. A la suite de ce plan de gestion, des travaux de gestion de la pollution identifiée ont été mis en œuvre en 2011 et en 2017.

La mairie de Roubaix envisage aujourd'hui l'aménagement de logements au droit du site. Aucun projet n'est à ce jour défini.

L'EPF Nord-Pas-de-Calais a mandaté EACM pour réaliser un diagnostic complémentaire sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol et un plan de gestion directeur. Ce diagnostic complémentaire a confirmé la pollution des eaux souterraines par les COHV et a mis en évidence une source de pollution concentrée par les COHV au droit du sondage S5 entre 0 et 0,7 m de profondeur au minimum et une pollution diffuse des remblais principalement par les métaux, les hydrocarbures et les COHV.

Sur la base du bilan coûts/avantages, des différentes mesures de gestion possibles et des résultats des investigations réalisées sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol, les mesures suivantes devront être mises en œuvre afin d'assurer la compatibilité de l'état environnemental du site avec un usage générique de logement :

- L'excavation et l'évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux de la source concentrée de pollution par les COHV mise en évidence au droit du sondage S5. Le volume de cette source pourra être affiné par la réalisation d'analyses complémentaires avant ou pendant les travaux ;
- La mise en place d'une barrière physique entre les futurs usagers et les matériaux résiduels constituée :
 - o D'enrobé au droit des parkings ou des voiries ;
 - o De 30 cm à 1 m de matériaux sains² au droit des espaces verts séparés des matériaux résiduels par un géotextile ou un grillage avertisseur ;
- La mise en place d'un espace ventilé³ au droit des logements. L'hypothèse d'un vide aéré au droit des logements de 1 m de hauteur avec un taux de renouvellement d'air de 36 par jour a été prise en compte dans le présent rapport. Toute modification de ces prescriptions est possible sous réserve de la vérification de leur compatibilité sanitaire par une nouvelle analyse des risques sanitaires.

¹ Composés Organiques Halogénés Volatils.

² 30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés

³ Les espaces ventilés correspondent à des espaces aérés entre les matériaux résiduels et les futures dalles des bâtiments. Les substances volatiles remontant à la surface passent par ces espaces d'air et sont éliminées hors des édifices par la ventilation naturelle ou forcée du vide obtenue grâce à des bouches d'aération périphériques. Si la ventilation naturelle n'est pas suffisante, une ventilation mécanique sera mise en place pour permettre de limiter de manière satisfaisante le transfert des gaz du sol vers les bâtiments.

Les canalisations d'eau potable devront être implantées dans les zones non polluées ou dans des remblais d'apports sains¹ ou des canalisations de nature imperméable aux substances organiques devront être utilisées.

Une réflexion sur l'aménagement du site devra, toutefois, être menée afin d'éviter de construire les bâtiments au droit des pollutions résiduelles les plus élevées.

Afin de valider les mesures de gestion proposées et la compatibilité sanitaire de l'état du site avec les usages futurs, une analyse des risques résiduels a été réalisée. Elle conclut à la compatibilité sanitaire du site avec les usages projetés sous réserve de la mise en œuvre de ces mesures de gestion.

Le présent plan de gestion pourra être affiné avec les résultats d'analyses de futures campagnes de prélèvements et d'analyses des gaz du sol.

Enfin, toute modification d'usage ou de configuration du site devra faire l'objet d'un nouveau plan de gestion.

¹ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

RESUME TECHNIQUE

L'Etablissement Public Foncier (EPF) Nord-Pas-de-Calais est propriétaire, depuis 2012, d'un site localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon à Roubaix (59). Dans le cadre de l'aménagement du site et sur la base de l'ensemble des résultats d'analyses, l'EPF a mandaté la société EACM pour la réalisation d'un diagnostic complémentaire sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol et d'un plan de gestion directeur.

Ce diagnostic complémentaire a confirmé la pollution des eaux souterraines par les COHV et a mis en évidence une source de pollution concentrée par les COHV au droit du sondage S5 entre 0 et 0,7 m de profondeur au minimum et une pollution diffuse des remblais principalement par les métaux, les hydrocarbures et les COHV.

➤ Mesures de gestion à mettre en œuvre

Sur la base du bilan coûts/avantages, des différentes mesures de gestion possibles et des résultats des investigations réalisées sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol, les mesures suivantes devront être mises en œuvre afin d'assurer la compatibilité de l'état environnemental du site avec un usage générique de logement :

- L'excavation et l'évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux des 300 m³ de matériaux les plus pollués par les COHV. Ce volume pourra être affiné par la réalisation d'analyses complémentaires avant ou pendant les travaux ;
- La mise en place d'une barrière physique entre les futurs usagers et les matériaux résiduels constituée :
 - D'enrobé au droit des parkings ou des voiries ;
 - De 30 cm à 1 m de matériaux sains¹ au droit des espaces verts séparés des matériaux résiduels par un géotextile ou un grillage avertisseur ;
- La mise en place d'un espace ventilé² au droit des logements. L'hypothèse d'un vide aéré au droit des logements de 1 m de hauteur avec un taux de renouvellement d'air de 36 par jour a été prise en compte dans le présent rapport. Toute modification de ces prescriptions est possible sous réserve de la vérification de leur compatibilité sanitaire par une analyse des risques résiduels.

Les canalisations d'eau potable devront être implantées dans les zones non polluées ou dans des remblais d'apports sains ou des canalisations de nature imperméable aux substances organiques devront être utilisées.

Une réflexion sur l'aménagement du site devra toutefois être menée afin d'éviter de construire les bâtiments au droit des pollutions résiduelles les plus élevées.

¹ 30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés

² Les espaces ventilés correspondent à des espaces aérés entre les matériaux résiduels et les futures dalles des bâtiments. Les substances volatiles remontant à la surface passent par ces espaces d'air et sont éliminées hors des édifices par la ventilation naturelle ou forcée du vide obtenue grâce à des bouches d'aération périphériques. Si la ventilation naturelle n'est pas suffisante, une ventilation mécanique sera mise en place pour permettre de limiter de manière satisfaisante le transfert des gaz du sol vers les bâtiments.

➤ Eléments pour l'organisation chargée du contrôle des mesures de gestion

La mise en œuvre de la barrière physique de 30 cm de terres saines au droit des espaces verts, 50 cm au droit des jardins potagers sans arbre fruitier et 1 m au droit des jardins avec arbre fruitier devra être vérifiée par un plan topographique réalisé avant et à l'issue des travaux sauf s'il est prouvé que les matériaux résiduels actuellement en place sont sains.

Par ailleurs, une analyse des matériaux d'apport sera réalisée afin de vérifier leur caractère sain¹.

Les bords et le fond de fouille de la source de pollution concentrée par les COHV feront l'objet d'un échantillonnage destiné à définir les caractéristiques chimiques des matériaux destinés à rester sur site et feront l'objet si besoin d'un confinement, constitué d'un géotextile et d'une dalle béton ou d'un enrobé bitumineux.

La mise en œuvre d'un vide aéré au droit des logements devra également être vérifiée.

➤ Eléments nécessaires à l'information et à la mise en œuvre des restrictions d'usage

Certaines contraintes doivent faire l'objet d'une conservation de la mémoire et de restrictions d'usages, a minima, dans les actes notariés :

- Le rappel de l'emplacement et des caractéristiques physico-chimiques des matériaux pollués résiduels ;
- Les indications relatives à la mise en place du confinement et de son maintien ;
- L'interdiction de mettre en place des potagers, des arbres fruitiers ou toutes espèces comestibles au droit du site (sauf si une couverture de 1 m de terres saines a été mise en œuvre) ;
- L'interdiction d'utilisation des eaux souterraines.

¹ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	12
1.1	Contexte	12
1.2	Objectif et contenu du document	12
1.3	Sources documentaires	13
2	DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE ET DE SON ENVIRONNEMENT	15
2.1	Localisation du site	15
2.2	Urbanisme	16
2.3	Contexte environnemental	16
3	ETAT ENVIRONNEMENTAL DU SITE	19
3.1	Synthèse de l'étude historique	19
3.2	Rappel des campagnes d'investigations et des travaux de gestions de la pollution réalisées entre 2004 et 2018	19
3.3	Investigations complémentaires en 2018 sur les sols	23
3.4	Investigations complémentaires sur les eaux souterraines	31
3.5	Investigations complémentaires sur les gaz du sol	36
3.6	Conclusion sur l'état environnemental du site	41
4	SCHEMA CONCEPTUEL INITIAL	42
4.1	Sélection des agents chimiques et physiques	42
4.2	Propriétés physico-chimiques des substances retenues	44
4.3	Identification des voies potentielles de transfert	47
5	GESTION DE LA POLLUTION	53
5.1	Objectifs du plan de gestion	53
5.2	Caractéristiques du plan de gestion	53
5.3	Rappel des sources de pollution	54
5.4	Bilan coûts/avantages	56
5.5	Description des mesures de gestion prévues	64
5.6	Mesures de gestion en phase chantier	66
5.7	Schéma conceptuel résiduel	69
5.8	Contrôle de l'efficacité et suivi des mesures de gestion	73
5.9	Validation du plan de gestion	73
6	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS PREDICTIVE	74
6.1	Rappel des substances retenues	74
6.2	Effets qualitatifs et quantitatifs des substances	74
6.3	Quantification de l'exposition	81
6.4	Caractérisation des risques	87
6.5	Discussion des résultats – Incertitudes	89
7	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	97
8	ACTIONS À PREVOIR EN CAS DE CHANGEMENT D'USAGE D'AMENAGEMENT	98

GLOSSAIRE

PCB : Polychlorobiphényles

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils

BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

TCE : Trichloroéthylène

PCE : Tétrachloroéthylène

ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes

OQAI : Observatoire de la Qualité de l’Air Intérieur

CI : Concentration Inhalée

DJE : Dose journalière d’exposition

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

QD : Quotient de Danger

ERI : Excès de Risque Individuel

FIGURES

Figure 1 - Plan de localisation du site

Figure 2 - Plan de localisation du site sur une carte IGN

Figure 3 - Plan de localisation des investigations et zones excavées

Figure 4 - Plan de localisation des piézomètres

Figure 5 - Plan de localisation des investigations 2018 – EACM

Figure 6 - Cartographie des dépassements des valeurs de comparaison pour les paramètres organiques sur brut

Figure 7 - Cartographie des dépassements des valeurs de comparaison pour les métaux

Figure 8 - Sens d'écoulement des eaux souterraines

Figure 9 - Cartographie des dépassements des valeurs de comparaison pour les eaux souterraines

Figure 10 - Plan de localisation des piézairs

Figure 11 - Cartographie des dépassements des valeurs de comparaison pour les gaz du sol

ANNEXES

Annexe 1 - Extrait du Plan Local d'Urbanisme de la ville de Roubaix

Annexe 2 - Cartographies des teneurs résiduelles à la fin des deux phases de travaux

Annexe 3 - Localisation des piézairs prélevés lors des anciennes études

Annexe 4 - Fiches de sondages des investigations des sols

Annexe 5 - Bordereaux des analyses des sols

Annexe 6 - Fiches de prélèvement des eaux souterraines

Annexe 7 - Bordereaux des analyses des eaux souterraines

Annexe 8 - Fiches de prélèvement des gaz de sol

Annexe 9 - Bordereaux des analyses des gaz de sol

Annexe 10 - Rapport de modélisation du logiciel MODUL'ERS - Air intérieur

Annexe 11 - Rapport de modélisation du logiciel MODUL'ERS - Air extérieur

Annexe 12 - Grilles de calculs de risques - Durée d'exposition de 30 ans

Annexe 13 - Grilles de calculs de risques - Durée d'exposition de 70 ans

Annexe 14 - Rapport de modélisation du logiciel MODUL'ERS - Air intérieur et extérieur - Dégradation des COHV

Annexe 15 - Grilles de calculs de risques - Dégradation des COHV

ANNEXES SUR CD-ROM

Annexe A - Rapport TAUW GROUP « Diagnostic de la qualité des sols / Rapport d'intervention », référencé R/6036800 d'octobre 2008

Annexe B - Rapport final URS « Plan de gestion » référencé LIL-RAP-11-00560B de novembre 2009

Annexe C - Rapport URS « Rapport de fin de travaux de remise en état » référencé LIL-RAP-09-00100B de mai 2011

Annexe D - Rapport BURGEAP « Diagnostic environnemental du milieu souterrain » référencé RSPNO02127-01 de novembre 2012

Annexe E - Rapport URS « Surveillance annuelle de la qualité des eaux souterraines - Campagne de mars 2014 » référencé LIL-RAP-14-01200B d'avril 2015

Annexe F - Rapport URS « Surveillance annuelle de la qualité des eaux souterraines - Campagne de mai 2015 » référencé LIL-RAP-15-01479A de juillet 2015

Annexe G - Rapport AECOM « Suivi annuel de la qualité des eaux souterraines - Campagne de septembre 2016 » référencé LIL-RAP-16-01751B de novembre 2016

Annexe H - Rapport AECOM « Suivi annuel de la qualité des eaux souterraines - Campagne de novembre 2017 » référencé LIL-RAP-18-02009B de février 2018

Annexe I - Rapport FERREIRA « Rapport de gestion des sources concentrées Opérations ECC PLATT, mise en sécurité » d'octobre 2017

Annexe J - Rapport AECOM « Compte-rendu des travaux de remise en état des piézomètres réglementaires » référencé LIL-RAP-17-01963C de janvier 2018.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

➤ Contexte général

L'Etablissement Public Foncier (EPF) Nord-Pas-de-Calais est propriétaire, depuis 2012, d'un site localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon à Roubaix (59). Le site, d'une superficie totale de 4 418 m², était occupé jusqu'en 2008 par la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS qui y exerçait une activité de métallurgie et de traitement de surface (cf. plan de localisation en **figure 1**).

Depuis 2004, plusieurs études environnementales et travaux ont été réalisés au droit de la zone d'étude pour le compte de l'ancien exploitant et l'EPF.

Une pollution des sols et des eaux souterraines par les hydrocarbures et les COHV¹ a notamment été mise en évidence lors de ces différentes études.

Un plan de gestion a été réalisé dans le cadre de la cessation d'activité du dernier exploitant, déclarée le 30 juin 2008. L'usage alors considéré était un usage industriel.

A la suite de ce plan de gestion, des travaux de gestion de la pollution identifiée ont été mis en œuvre en 2011 par l'entreprise ACLAGRO pour le compte de l'ancien exploitant et en 2017 par l'entreprise FERREIRA pour le compte de l'EPF.

La mairie de Roubaix envisagerait l'aménagement de logements au droit du site. Aucun projet n'est à ce jour défini.

➤ Contexte de l'intervention d'EACM

Dans le cadre de l'éventuel réaménagement du site en logements, l'EPF souhaite réaliser une nouvelle étude environnementale comprenant une campagne d'investigations des sols, des eaux souterraines et des gaz du sol et un plan de gestion directeur permettant de déterminer les éventuelles mesures de gestion résiduelles à mettre en œuvre afin de permettre la compatibilité sanitaire du site avec l'usage « générique » envisagé par la mairie.

1.2 Objectif et contenu du document

Les objectifs de la prestation sont de :

- Vérifier et présenter l'état des lieux environnemental actuel du site ;
- Vérifier sa compatibilité avec l'usage « générique » futur envisagé de logements et/ou de proposer un plan de gestion de la pollution afin de permettre le réaménagement, d'un point de vue sanitaire, du site.

Ce document constitue le plan de gestion directeur du site localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon à Roubaix (59), correspondant à la prestation PG de la norme NF X-31-620-2. L'objectif du plan de gestion est ainsi de proposer les mesures de gestion envisageables afin de rendre compatible la qualité environnementale de la zone d'étude avec un futur projet d'aménagement.

¹ Composés Organiques Halogénés Volatils.

Les chapitres suivant présentent :

- La description de la zone d'étude et de son environnement (chapitre 2) ;
- L'état environnemental du site (chapitre 3) ;
- Le schéma conceptuel initial (chapitre 4) ;
- La gestion de la pollution (chapitre 5) ;
- L'analyse des risques résiduels prédictive (chapitre 6) ;
- La conclusion (chapitre 7) ;
- Les actions à prévoir en cas de changement d'usage d'aménagement (chapitre 8).

1.3 Sources documentaires

Les principaux textes de référence utilisés pour cette étude ont été les suivants :

- La révision de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, publiée par le Ministère de l'environnement en avril 2017 ;
- Circulaire du 8 février 2007 relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués ;
- Note d'information 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 ;
- Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes.

Les données toxicologiques ont été recueillies auprès des organismes suivants :

- INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des risques) ;
- INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) ;
- US EPA (United States Environmental Protection Agency¹) ;
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé) ;
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu²) dont le rapport « Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible levels » de mars 2001;
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment³);
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry⁴);
- EFSA (European Food Safety Authority⁵).

Par ailleurs, les rapports suivants ont été consultés dans le cadre de cette étude :

- Rapport TAUW GROUP « Diagnostic de la qualité des sols / Rapport d'intervention », référencé R/6036800 d'octobre 2008. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société CARCLO France (**Annexe A**) ;
- Rapport final URS « Plan de gestion » référencé LIL-RAP-11-00560B de novembre 2009. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS SAS (**Annexe B**) ;

¹ Agence de protection de l'environnement des États-Unis

² Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas

³ Bureau d'évaluation des risques pour la santé et l'environnement des États-Unis

⁴ Agence pour le Registre des Substances Toxiques et des Maladies des États-Unis

⁵ Autorité européenne de sécurité des aliments

- Rapport URS « Rapport de fin de travaux de remise en état » référencé LIL-RAP-09-00100B de mai 2011. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS SAS (**Annexe C**) ;
- Rapport BURGEAP « Diagnostic environnemental du milieu souterrain » référencé RSSPNO02127-01 de novembre 2012. Cette étude a été réalisée pour le compte de l'EPS (**Annexe D**) ;
- Rapport URS « Surveillance annuelle de la qualité des eaux souterraines - Campagne de mars 2014 » référencé LIL-RAP-14-01200B de avril 2015. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS SAS (**Annexe E**) ;
- Rapport URS « Surveillance annuelle de la qualité des eaux souterraines - Campagne de mai 2015 » référencé LIL-RAP-15-01479A de juillet 2015. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS SAS (**Annexe F**) ;
- Rapport AECOM « Suivi annuel de la qualité des eaux souterraines - Campagne de septembre 2016 » référencé LIL-RAP-16-01751B de novembre 2016. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société SOLARONICS SA (**Annexe G**) ;
- Rapport AECOM « Suivi annuel de la qualité des eaux souterraines - Campagne de novembre 2017 » référencé LIL-RAP-18-02009B de février 2018. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société NV BEKAERT SA (**Annexe H**) ;
- Rapport FERREIRA « Rapport de gestion des sources concentrées Opérations ECC PLATT, mise en sécurité » d'octobre 2017. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société EPF NPDC (**Annexe I**) ;
- Rapport AECOM « Compte-rendu des travaux de remise en état des piézomètres réglementaires » référencé LIL-RAP-17-01963C de janvier 2018. Cette étude a été réalisée pour le compte de la société EPF NPDC (**Annexe J**).

2 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DE SON ENVIRONNEMENT

2.1 Localisation du site

L'illustration ci-après présente la localisation du site.



Illustration 1 - Localisation de la zone d'étude (source : Géoportail, 2017)

Le site étudié est localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon sur la commune de Roubaix. Sa localisation est présentée en **figure 1**. Il correspond aux parcelles cadastrales n° 66, 67, 69 et 71 de la section HO du cadastre de Roubaix et possède une superficie totale de 4 418 m². L'altitude moyenne de la zone étudiée est d'environ 32 m NGF. Le site étudié est localisé entre le boulevard de Lyon et la rue d'Ingres (accès à l'arrière du site possible par la rue d'Ingres) dans un quartier à dominante résidentielle.

La localisation du site sur fond IGN avec les parcelles cadastrales concernées est présentée en **figure 2**. Le site est implanté au sein d'une zone résidentielle et commerciale. Il est entouré par :

- Le boulevard de Lyon et au-delà, une grande surface de bricolage et une zone résidentielle, au Nord ;
- La rue d'Ingres puis des habitations individuelles, au Sud ;
- La rue Jean Baptiste Corot puis des logements collectifs, à l'Est ;
- Des habitations individuelles, à l'Ouest.

2.2 Urbanisme

Selon le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la ville de Roubaix, la parcelle concernée par le projet d'aménagement est classée en zone UBb, zone qui correspond à « une zone urbaine mixte de densité élevée et à dominante d'habitat » donc compatible avec le projet d'aménagement actuellement envisagé par la mairie.

Un extrait de ce plan ainsi que le règlement de la zone UBb sont repris en **annexe 1**.

2.3 Contexte environnemental

Cette partie vise à identifier les possibilités de transfert des pollutions vers les cibles potentielles et les usages réels des milieux concernés. Les données présentées dans ce paragraphe sont principalement extraites du rapport du bureau d'études URS de novembre 2009 (cf. **annexe B**).

2.3.1 Contexte géologique

Le plan de gestion d'URS indique que « le site est situé à la limite Nord du bassin parisien. D'après les données de la carte géologique du secteur (Carte géologique au 1/50 000 de Lille – Halluin) et la coupe géologique d'un sondage de 96 m de profondeur recensé dans la base de données Info-Terre, les formations rencontrées au droit du site sont les suivantes, de la plus superficielle à la plus profonde :

- Des formations limoneuses superficielles d'âge quaternaire (limons des Plateaux), constituées généralement de silts argileux ocres ou gris verts avec des passées graveleuses, jusqu'à une profondeur de 6 m ;
- L'Argile des Flandres datant de l'Yprésien (argile de Roncq, argile sableuse de Roubaix et argile d'Orchies), d'une puissance d'environ 15 m ;
- Les sables d'Ostricourt (Landénien, âge tertiaire), d'une puissance d'environ 20 m, constitués de sables glauconieux à grains fins dont la couleur varie de gris au jaune et au vert ;
- L'Argile de Louvil (Landénien, âge tertiaire), d'une puissance d'environ 15 m, constituée d'argiles grises ou noires peu perméables, avec des passées de tuffeau ;
- La craie blanche du Sénonien et du Turonien supérieur (âge secondaire), d'une puissance d'environ 15 m ;
- Les dièves bleues (Turonien), d'une puissance d'environ 10 m et
- Le socle primaire constitué de calcaires carbonifères puis de grès dévonien. »

2.3.2 Contexte hydrogéologique

Le plan de gestion d'URS précise également que « le site est inscrit dans un contexte fortement urbanisé et pauvre en systèmes hydrologiques de surface. Sont à relever en tant que tels :

- Le canal de Roubaix, situé à 1 800 m au Nord-Est du site ;
- La Marque, rivière urbaine fortement exposée aux pollutions d'origine anthropique, située à 2 500 m au Sud-Ouest du site. »

D'après la géologie mise en évidence au droit du site, URS indique dans son plan de gestion l'existence de trois nappes.

➤ Nappe superficielle

« La formation des limons de plateaux est le siège d'une nappe libre peu productive compte-tenu de la nature limoneuse et de la faible épaisseur de cette formation. La nappe superficielle des limons est drainée par les eaux de surface et s'écoule suivant la topographie. »

Les mesures des niveaux piézométriques effectuées par URS en juin 2009 au droit du site Bekaert indiquent un niveau d'eau d'environ 2 m de profondeur sous la surface du sol. Le sens d'écoulement des eaux souterraines est difficile à définir dans la mesure où la topographie est relativement plane et où les niveaux d'eau sont très proches (différence de quelques centimètres). Les eaux souterraines pressentent des écoulements variables localement et semblent s'écouler en direction du Nord-Est, vers une ancienne vallée alluviale indiquée sur la carte géologique. »

➤ Nappes profondes

« Les principales formations aquifères rencontrées dans le secteur d'étude sont décrites ci-dessous :

- *Les sables d'Ostricourt constituent le siège d'une nappe souterraine d'extension régionale, captive au droit du site sous l'Argile des Flandres et délimitée à la base par l'Argile de Louvil. Cet aquifère, peu exploité, est rencontré vers 20 m de profondeur au droit du site et il est protégé des infiltrations de surface par une dizaine de mètres d'argile plastique très peu perméable (Argile des Flandres).*
- *La craie Séno-Turonienne constitue une importante ressource en eau potable et industrielle dans la région. Cette nappe, captive sous l'Argile de Louvil présente au droit du site vers 60 m de profondeur, s'écoule en direction du Nord-Est.*
- *Le calcaire carbonifère (primaire) constitue également une importante ressource en eau potable et industrielle dans la région. Cette nappe est captive sous les dièves et trouve son alimentation en Belgique. Elle est rencontrée vers 90 m de profondeur au droit du site. »*

2.3.3 Usage de l'eau souterraine

Le plan de gestion d'URS met en évidence différents captages d'eau et leurs usages :

« D'après la DDASS du Nord, il n'y a aucun captage utilisé pour l'alimentation en eau potable dans un rayon de 3 km autour du site. La base de données du BRGM mentionne l'existence de deux puits industriels en exploitation dans un rayon d'1 km autour du site Bekaert et de deux puits domestiques dans un rayon d'1,5 km. »

Les deux captages industriels sont installés dans la nappe du primaire à des profondeurs supérieures à 90 m. Ils sont protégés des infiltrations de surface par des formations argileuses.

Les deux captages domestiques sont situés dans la nappe superficielle des limons des plateaux. Ils ne sont pas protégés vis-à-vis d'une pollution éventuelle provenant de la surface. Néanmoins, ces puits sont situés à 1,2 et 1,3 km au Sud du site en amont hydraulique présumé du site. »

2.3.4 Contexte hydrographique

Le plan de gestion d'URS indique que *« Compte tenu des distances entre le site et le canal de Roubaix et la rivière de la Marque, la sensibilité du site est considérée comme faible vis-à-vis des eaux superficielles. »*

La sensibilité du site est considérée comme faible vis-à-vis des eaux souterraines dans la mesure où la nappe superficielle des limons n'est pas exploitée en aval hydraulique du site et où les nappes profondes, exploitées dans le voisinage du site pour l'alimentation industrielle, sont protégées par d'épaisses formations argileuses très peu perméables. »

2.3.5 Risque inondation

Comme l'indique la figure ci-après, issue de la base de données Infoterre du BRGM, le site est localisé dans une zone caractérisée par des aléas très faibles pour l'inondation des sédiments¹.



Illustration 2 - Carte d'inondation des sédiments (source : Infoterre)

2.3.6 Milieux naturels

Selon l'INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel), aucun espace protégé n'est répertorié dans un rayon de 5 kilomètres autour du site.

¹ L'inondation des sédiments est un apport provisoire de sédiment, sur un substrat dur qu'il immerge, ou sur un fond déjà meublé.

3 ETAT ENVIRONNEMENTAL DU SITE

3.1 Synthèse de l'étude historique

Une étude historique a été réalisée par la société URS en 2009 et a permis de mettre en évidence que « le site de Bekaert a été soumis à autorisation préfectorale sous la raison sociale PLATT Frères (Ets) dans le cadre de l'exploitation d'un atelier de construction mécanique depuis la constatation par les autorités de l'activité du site en septembre 1949.

D'après les précédentes études, les activités pratiquées sur le site ont été la production, la manipulation et l'assemblage de métaux. Par ailleurs, pour les besoins de l'activité, des produits tels que des solvants (acétylène, solvants chlorés) et des carburants (gasoil, mazout, fioul, ...) ont été stockés sur site.

Le détail des activités du site depuis 1949 est le suivant :

- En 1949, le site, propriété des établissements PLATT Frères, est un atelier de construction mécanique traitant de l'acier et la fabrication de machine-outil. En 1950, le site emploie une centaine d'ouvriers et compte 114 machines diverses, 15 machines-outils et 7 étaux ;
- A partir de 1954, la société PLATT Frères développe des activités de forge, de martelage mécanique, d'estampage, de matriçage, de découpage et de métallurgie des poudres. A cette date, il existe sur le site un réservoir de 5 m³ de mazout ainsi qu'un générateur d'acétylène ;
- En 1984, le site dispose, pour les besoins de l'activité, un réservoir compartimenté de 15 m³ de fioul et 5 m³ de gasoil.

L'activité du site se poursuit jusqu'au début des années 2000, le site étant encore occupé par PLATT Frères et Prayon de Paw (machines textiles accessoires et fournitures) en août 2000. Depuis l'arrêt des activités, les machines ont été démantelées. »

3.2 Rappel des campagnes d'investigations et des travaux de gestions de la pollution réalisées entre 2004 et 2018

3.2.1 Documents utilisés

Les précédentes campagnes réalisées sur le site de Roubaix ont permis d'établir un état des lieux de la pollution engendrée par l'activité de la société PLATT. Suite à ces campagnes, des premiers travaux de remise en état ont été réalisés. Ces différents résultats nous ont permis d'établir notre programme d'investigations et la réalisation de ce plan de gestion.

Les documents suivants ont été utilisés :

- Diagnostic de la qualité des sols – Rapport d'intervention par TAUW en 2008 ;
- Plan de gestion d'URS réalisé en 2009 ;
- Rapport de fin de travaux de remise en état par URS en 2011 ;
- Dossier de demande de servitude d'utilité publique réalisé par URS en octobre 2011 ;
- Diagnostic environnemental du milieu souterrain de Burgeap datant de novembre 2012 ;
- Surveillance annuel de la qualité des eaux souterraines réalisée par URS (AECOM) en 2014, 2015, 2016 et 2017 ;
- Rapport des travaux de gestion des sources concentrées effectués par Ferreira en octobre 2017 ;
- Compte rendu des travaux de remise en état des piézomètres réglementaires par AECOM en début d'année 2018.

3.2.2 Synthèse des pollutions détectées sur site

Les deux premières études réalisées par URS en 2004 et TAUW en 2008 ont permis de déterminer les différentes sources de pollution potentielles au droit du site.

A l'issue de ces deux rapports, cinq sources potentielles de pollution ont été identifiées :

- Zone de stockage extérieure ;
- Cuve à fuel enterrée ;
- Bâtiment de maintenance ;
- Zone de process à l'intérieur du bâtiment ;
- Zone du compresseur.

Par ailleurs, des risques de pollution des remblais dus à leur qualité intrinsèque ont également été considérés (métaux lourds).

➤ Etat des sols

Les différentes campagnes d'investigations sur les sols réalisées au droit du site sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau n° 1 : Présentation des différentes campagnes de sol

Date de l'étude	Maitre d'ouvrage	Bureau d'études	Contexte	Nombre de sondages réalisés	Objectifs
2004	Ets Platt Frères	URS	Rapport non transmis	9	Rapport non transmis
2008	Ets Platt Frères	TAUW Environnement	Revente de l'ancien site industriel	17	Délimiter les sources de pollution mises en évidence par URS ainsi que les voies de migration associées
2009	Ets Platt Frères	URS	Réalisation d'un plan de gestion préconisé par les campagnes précédentes en vue d'une remise en état	4	Compléter le réseau piézométrique et proposer des solutions de gestion au vu de la pollution mise en évidence lors des précédentes campagnes
2012	EPF	Burgéap	Suite aux premiers travaux de dépollution, réalisation d'un diagnostic afin d'obtenir un état des lieux du site	21	Réaliser un diagnostic environnemental du milieu souterrain après la remise en état effectuée en 2011

Les campagnes d'investigations des sols, réalisées pour le compte des Ets Platt Frères, ont mis en évidence la présence dans les sols au droit du site :

- de deux zones impactées par les hydrocarbures :
 - une dans la partie Nord du bâtiment (zone des anciennes lignes de process) principalement composée d'hydrocarbures lourds ;
 - l'autre dans la zone extérieure Sud du site composée d'hydrocarbures plus légers ;
- la présence diffuse de trichloroéthylène.

Un plan de gestion de la pollution réalisé par URS en 2009 dans le cadre de la cessation d'activité du site pour un usage industriel concluait en la nécessité :

- d'éliminer hors site la source concentrée en hydrocarbures présente au Nord du site et celle localisée le long du bâtiment côté Sud-Est ;
- de mettre en œuvre une dalle béton au droit des zones végétalisées localisées au Sud-Est correspondant aux seules zones au droit desquelles les matériaux étaient directement accessibles.

Ainsi, des travaux ont été réalisés par la société ACLAGRO en mars 2011 sous la supervision d'URS. Au total, plus de 557 tonnes de terres impactées ont été évacuées en direction d'une plateforme de traitement. Le seuil de remise en état pour un usage industriel établi par URS était de 10 000 mg/kg.

Lors des analyses de parois et fond de fouille, seul un résultat dépassait ce seuil (17 000 mg/kg). Néanmoins, des contraintes de stabilité des bâtiments à proximité de cette zone n'ont pas permis d'excaver la totalité des terres.

Les investigations complémentaires réalisées par Burgeap pour le compte de l'EPF avant les travaux de démolition du site ont permis de mettre en évidence la présence de 4 nouvelles sources de pollutions :

- 3 nouvelles zones impactées en hydrocarbures ;
- 1 zone potentiellement impactée en COHV.

Ainsi, avant l'intervention d'EACM, 50 sondages et une vingtaine d'analyses en bords et fonds de fouille ont été réalisés sur les 4 418 m² du site au cours des dernières années, soit 1 sondage tous les 90 m².

En 2017, l'EPF mandate la société Ferreira pour l'exécution de nouveaux travaux de remise en état. Cinq nouvelles zones sont alors excavées au droit des différentes sources de pollution en hydrocarbures qui avaient été mises en évidence par Burgeap en 2012. La cinquième zone correspond à l'ancien emplacement du transformateur. Ce sont plus de 850 m³ de terres polluées qui sont remplacées par des terres saines. Comme en 2011, les résultats de bords et fonds de fouille sont comparés à un seuil pour un usage industriel. Aucun ne dépassait ce seuil.

Une carte présentant la localisation des investigations et travaux réalisés depuis 2004 est présentée à la **figure 3**.

Par ailleurs, **l'annexe 2** présente les teneurs résiduelles à la fin des deux phases de travaux de remise en état du site.

➤ *Etat des eaux souterraines*

Le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines était constitué initialement de 6 piézomètres installés en 2004. Il a été complété en 2009 par l'implantation de 4 nouveaux piézomètres par URS.

La localisation des ouvrages est présentée à la **figure 4**.

Le sens d'écoulement mis en évidence lors des différentes campagnes de caractérisation des eaux souterraines est globalement orienté du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Le suivi de la qualité des eaux souterraines réalisé régulièrement depuis 2009 a principalement mis en évidence :

- La présence d'hydrocarbures légers dans les eaux souterraines présentes dans la partie Sud du site ;
- La présence de COHV dont du trichloroéthylène dans les eaux souterraines prélevées au Sud-Est du site, en aval hydraulique du site (au droit des piézomètres MW2 et MW3).

Les résultats des dernières campagnes confirment une diminution des concentrations au cours du temps.

➤ *Etat des gaz de sol*

Trois piézairs ont été implantés par Tauw en 2008.

Treize échantillons de gaz de sol ont également été prélevés dans le cadre du plan de gestion réalisé par URS en 2009 afin de définir plus clairement les sources concentrées.

Les analyses sur les gaz de sol mettent principalement en évidence la pollution diffuse en COHV notamment au Sud-Est du site. Les concentrations maximales obtenues en Cis-1,2-dichloroéthylène et en chlorure de vinyle sont respectivement de 9,2 mg/m³ et de 2,8 mg/m³.

L'**annexe 3** présente la localisation des piézairs prélevés lors des précédentes études.

3.3 Investigations complémentaires en 2018 sur les sols

L'objectif des investigations est de compléter les données environnementales au droit du site, et notamment au droit des sources potentielles de pollution, afin d'évaluer les éventuelles conséquences économiques liées à une pollution sur le projet d'aménagement.

3.3.1 Date des travaux et moyens d'investigations

La campagne d'investigations a été réalisée le 12 avril 2018 sous la supervision d'un ingénieur d'études EACM. Elle a compris la réalisation de 11 sondages répartis au droit du site, au droit des zones non investiguées à ce jour ainsi qu'à proximité de chacune des sources où des teneurs résiduelles pouvaient subsister.

Tous les sondages S1 à S11 ont été réalisés à l'aide d'un atelier de sondage de marque Geoprobe®.

Les photographies ci-après présentent les moyens d'investigations mis en œuvre.



Illustration 3 - Moyens d'investigations mis en œuvre (Source : EACM, 04/2018)

3.3.2 Programme d'investigations

Les caractéristiques des sondages sont présentées dans le tableau ci-après.

Les investigations effectuées ont ainsi compris la réalisation de 11 sondages nommés S1 à S11. Les profondeurs maximales atteintes sont comprises entre 2 et 4 m.

Tableau n° 2 : Programme d'investigations

Référence du sondage	Moyens d'investigations mis en œuvre	Objectif	Profondeur atteinte (m)
S1	Atelier de sondage Geoprobe	Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4
S2		Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4
S3		Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4
S4		Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone potentiellement impactée par les COHV	2,4
S5			2,4
S6		Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone impactée par les hydrocarbures	3,6
S7		Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4
S8		Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone impactée par les hydrocarbures	3,6
S9		Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4
S10		Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone impactée par les hydrocarbures	3,6
S11		Evaluer la qualité environnementale des sols	2,4

La **figure 5** permet de localiser l'ensemble de ces sondages.

3.3.3 Description des sols et échantillonnage

De manière générale, les sols sont caractérisés sur l'ensemble du site par la présence :

- De remblais hétérogènes, avec des morceaux de briques, sur une épaisseur moyenne de 0,8 m ;
- De limons ocre sous cette couche de remblais.

Les indices organoleptiques de pollution suivants ont été mis en évidence lors des investigations menées par EACM en avril 2018 :

- des limons gris vert odorants, présentant une valeur de 35 ppm au PID¹ sur la tranche 1,9-3,6 m au droit du sondage S6 localisé au droit d'une zone impactée par les hydrocarbures ;
- des limons vert odorants, présentant une valeur de 28 ppm au PID sur la tranche 2,1-2,4 m au droit du sondage S11 localisé à proximité de la zone impactée en hydrocarbures.

Les photographies suivantes présentent les matériaux gris vert observés au droit du sondage S6.

¹ Détecteur à Photo Ionisation



Illustration 4 - Matériaux gris/vert observés au droit du sondage S6 (Source : EACM, 04/2018)

Au droit de chaque sondage, un échantillon a été prélevé dans chaque couche de matériau rencontrée.

Les cuttings issus du forage ont été utilisés pour reboucher les sondages. Les fiches de sondages sont présentées en **annexe 4**.

3.3.4 Programme d'analyses

Le tableau ci-après présente les références des échantillons analysés, les profondeurs de prélèvement, les paramètres recherchés et l'objectif des analyses. Ces échantillons ont été conditionnés en flacons hermétiques en verre et envoyés au laboratoire Agrolab, accrédité RVA (Comité Néerlandais d'Accréditation) reconnu COFRAC, sous 24h, dans un conteneur isotherme.

Suite à la réception des premiers résultats d'analyses, des analyses complémentaires ont été lancées afin d'évaluer l'extension verticale de la pollution en hydrocarbures C10-C40 détectée dans les remblais au droit des sondages S8 et S9. De plus, une analyse pack ISDI sur lixiviat et une analyse PCB sur brut ont été réalisées sur l'échantillon S9 (0-1,1) afin de déterminer la filière d'élimination possible des matériaux présents au droit de ce sondage en cas d'excavation. Ces analyses complémentaires et leur objectif sont indiqués dans le tableau suivant en italique.

Tableau n° 3 : Programme d'analyses

Référence de l'échantillon	Paramètres recherchés	Objectifs
S1 (0-0,9)	8 métaux lourds ¹ , HCT C10-C40 ² , BTEX ³ , HAP ⁴ , COHV ⁵ , PCB ⁶	Evaluer la qualité environnementale des sols
S2 (0-0,9)	8 métaux toxiques, HCT C10-C40, BTEX, HAP, COHV	
S3 (0-0,9)		
S4 (0-0,6)		
S5 (0-0,7)		
S6 (0-1)		
S6 (1,9-2,4)	COHV	Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone impactée en hydrocarbures
S6 (2,4-3,6)		
S7 (0-0,8)	8 métaux toxiques, HCT C10-C40, BTEX, HAP, COHV	Evaluer la qualité environnementale des sols
S8 (0-1,2)	COHV	Caractériser la qualité des sols au droit d'une zone impactée par les hydrocarbures
S8 (1,2-2,4)		
S9 (0-1,1)	8 métaux toxiques, HCT C10-C40, BTEX, HAP, COHV	Evaluer la qualité environnementale des sols
S10 (0,5-1,2)		
S10 (1,2-2,4)	COHV	
S11 (0,15-1)	8 métaux toxiques, HCT C10-C40, BTEX, HAP, COHV	
S11 (2,15-2,4)	COHV	
S8 (3,3-3,6)	HCT C10-C40	Evaluer l'extension verticale de la pollution mise en évidence en superficie
S9 (1,2-2,4)	HCT C10-C40	
S9 (0-1,1) lixiviât	Pack ISDI	Déterminer la filière d'élimination possible des matériaux en cas d'excavation
S9 (0-1,1) brut	PCB	

3.3.5 Valeurs de référence et représentation des résultats d'analyses des sols sur brut

Les résultats d'analyses des métaux sur brut sont comparés, dans le tableau ci-après aux teneurs maximales en métaux du fond géochimique régional, présentées dans le référentiel pédo-géochimique du Nord - Pas de Calais (INRA - Rapport final du 15 Octobre 2002), pour les sols issus des limons loessiques sous prairie.

Il n'existe pas de valeurs de références réglementaires pour les paramètres organiques recherchés sur brut. Leur détection témoigne d'un impact anthropique sur la qualité des sols. Toutefois, les teneurs sont comparées, à titre indicatif, aux seuils d'acceptation définis dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes (ISDI). Ces seuils ne constituent pas des seuils de dépollution et ne préjugent pas d'un éventuel impact sanitaire mais permettent de donner au lecteur une idée de l'état de pollution du site, d'une part, et des conséquences sur le type d'exutoire à rechercher en cas d'excavation et d'évacuation hors site, d'autre part.

¹ 8 métaux lourds : Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc

² Fraction d'hydrocarbures C10-C40

³ Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

⁴ Hydrocarbures Aromatique Polycycliques

⁵ Composés OrganoHalogénés Volatils ou solvants chlorés

⁶ PolyChloroBiphényles

Nota : Afin de faciliter la compréhension du lecteur et à titre indicatif, le code couleur des tableaux est le suivant :

- Les teneurs supérieures aux concentrations maximales du fond géochimique local sont indiquées en gras ;
- Les teneurs supérieures au double des concentrations du fond géochimique local maximal sont indiquées en vert ;
- Les teneurs supérieures au quintuple des concentrations du fond géochimique local maximal sont indiquées en jaune ;
- Les teneurs dix fois supérieures au fond géochimique local maximal sont indiquées en rouge ;
- Les teneurs en composés organiques supérieures aux seuils d'acceptation en ISDI sont indiquées en bleu.

3.3.6 Résultats d'analyses

Les résultats d'analyses des échantillons de sol, dont les bordereaux d'analyses du laboratoire sont joints en **annexe 5**, sont synthétisés dans le tableau suivant. Les paramètres pour lesquels des dépassements de valeurs de référence sont observés sont cartographiés :

- en **figure 6** pour les composés organiques sur brut ;
- en **figure 7** pour les métaux.

3.3.7 Résultats sur brut

Tableau n° 4 : Résultats d’analyses des métaux sur brut

Paramètre	Unité	S1 (0-0.9)	S2 (0-0.9)	S3 (0-0.9)	S4 (0-0.6)	S5 (0-0.7)	S6 (0-1)	S6 (1.9-2.4)	S6 (2.4-3.6)	S7 (0-0.8)	S8 (0-1.2)	S8 (1.2-2.4)	S8 (3.3-3.6)	S9 (0-1.1)	S9 (1.2-2.4)	S10 (0.5-1.2)	S10 (1.2-2.4)	S11 (0.15-1)	S11 (2.15-2.4)	Fond géochimique de référence			
Métaux																				Max	V2 ²	V5 ³	V10 ⁴
Arsenic (As)	mg/kg Ms	11	11	7,6	8,5	26	22	-	-	15	9,3	-	-	4,7	-	7,8	-	7,9	-	11,5	23	57,5	115
Cadmium (Cd)		0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	0,2	-	-	0,5	0,4	-	-	<0,1	-	0,4	-	0,3	-	0,57	1,14	2,85	5,7
Chrome (Cr)		24	26	31	28	34	30	-	-	30	23	-	-	13	-	21	-	27	-	60,4	120,8	302	604
Cuivre (Cu)		22	32	22	29	95	53	-	-	45	32	-	-	5,8	-	31	-	32	-	74	148	370	740
Mercure (Hg)		0,11	0,15	0,09	0,36	0,14	0,29	-	-	0,11	0,10	-	-	<0,05	-	0,09	-	0,11	-	0,113	0,226	0,565	1,13
Nickel (Ni)		17	27	20	20	50	31	-	-	26	28	-	-	4,6	-	15	-	21	-	23,1	46,2	115,5	231
Plomb (Pb)		46	34	24	43	83	100	-	-	78	65	-	-	5,0	-	43	-	65	-	43,2	86,4	216	432
Zinc (Zn)		79	70	72	240	92	94	-	-	200	260	-	-	18	-	170	-	86	-	78,3	156,6	391,5	783

(-) : non analysé

Tableau n° 5 : Résultats d’analyses des composés organiques sur brut

Paramètre	Unité	S1 (0-0.9)	S2 (0-0.9)	S3 (0-0.9)	S4 (0-0.6)	S5 (0-0.7)	S6 (0-1)	S6 (1.9-2.4)	S6 (2.4-3.6)	S7 (0-0.8)	S8 (0-1.2)	S8 (1.2-2.4)	S8 (3.3-3.6)	S9 (0-1.1)	S9 (1.2-2.4)	S10 (0.5-1.2)	S10 (1.2-2.4)	S11 (0.15-1)	S11 (2.15-2.4)	ISDI
HAP																				
Naphtalène	mg/kg Ms	0,093	0,067	<0,050	<0,050	<0,050	0,066	-	-	<0,050	0,22	-	-	<0,050	-	0,13	-	<0,050	-	-
Acénaphtylène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-
Acénaphène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	0,16	-	-	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-
Fluorène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	0,21	-	-	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-
Phénanthrène		0,20	0,25	0,27	<0,050	0,10	0,50	-	-	0,25	2,0	-	-	0,11	-	0,50	-	0,27	-	-
Anthracène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,11	-	-	0,061	0,39	-	-	<0,050	-	0,087	-	<0,050	-	-
Fluoranthène		0,22	0,19	0,47	<0,050	0,17	0,93	-	-	0,54	2,3	-	-	0,17	-	0,74	-	0,54	-	-
Pyrène		0,20	0,19	0,35	<0,050	0,13	0,68	-	-	0,41	1,6	-	-	0,13	-	0,50	-	0,44	-	-
Benzo(a)anthracène		0,12	0,16	0,21	<0,050	0,076	0,44	-	-	0,25	0,99	-	-	0,085	-	0,25	-	0,30	-	-
Chrysène		0,18	0,24	0,22	<0,050	0,092	0,38	-	-	0,24	0,86	-	-	0,069	-	0,25	-	0,29	-	-
Benzo(b)fluoranthène		0,086	0,14	0,33	0,060	0,10	0,35	-	-	0,25	0,82	-	-	0,062	-	0,30	-	0,52	-	-
Benzo(k)fluoranthène		0,065	<0,050	0,10	<0,050	<0,050	0,19	-	-	0,14	0,41	-	-	<0,050	-	0,11	-	0,17	-	-
Benzo(a)pyrène		0,12	0,093	0,21	<0,050	0,085	0,31	-	-	0,22	0,83	-	-	0,079	-	0,18	-	0,34	-	-
Dibenzo(a,h)anthracène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	0,11	-	-	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-
Benzo(g,h,i)pérylène		0,091	<0,050	0,11	<0,050	0,061	0,20	-	-	0,16	0,35	-	-	0,069	-	0,13	-	0,24	-	-
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		0,11	<0,050	0,16	<0,050	0,086	0,24	-	-	0,24	0,51	-	-	0,088	-	0,17	-	0,34	-	-
HAP (6 Borneff) - somme		0,692	0,423	1,38	0,0600	0,502	2,22	-	-	1,55	5,22	-	-	0,468	-	1,63	-	2,15	-	-
Somme HAP (VROM)	1,20	1,00	1,75	n.d. ¹	0,670	3,37	-	-	2,10	8,86	-	-	0,670	-	2,55	-	2,49	-	-	
HAP (EPA) - somme	1,49	1,33	2,43	0,0600	0,900	4,40	-	-	2,76	11,8	-	-	0,862	-	3,35	-	3,45	-	50	
BTEX																				
Benzène	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	-	-
Toluène		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	<0,05	<0,05	-	-	<0,05	-	0,06	-	<0,05	-	-
Ethylbenzène		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	<0,05	<0,05	-	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	-
m,p-Xylène		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	-	-	<0,10	<0,10	-	-	<0,10	-	<0,10	-	<0,10	-	-
o-Xylène		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	<0,050	-	-	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-
Somme BTEX		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	-	n.d.	n.d.	-	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
COHV																				
Chlorure de Vinyle	mg/kg Ms	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-
Dichlorométhane		<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	<0,05	<0,05	-
Trichlorométhane		<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	<0,05	<0,05	-
Tétrachlorométhane		<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	<0,05	<0,05	-
Trichloroéthylène		<0,05	<0,05	0,12	0,10	9,7	0,39	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	0,20	-	0,21	-	0,35	0,09	4,4	<0,05	-
Tétrachloroéthylène		<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	<0,05	<0,05	-
1,1,1-Trichloroéthane		<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	<0,05	<0,05	-
1,1,2-Trichloroéthane		<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	<0,05	<0,05	-
1,1-Dichloroéthane		<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	<0,10	<0,10	-
1,2-Dichloroéthane		<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	<0,05	<0,05	-
cis-1,2-Dichloroéthène		<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	0,054	<0,025	-
1,1-Dichloroéthylène		<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	<0,10	<0,10	-
Trans-1,2-Dichloroéthylène		<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	<0,025	<0,025	-
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes		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.	0,1	n.d.	-
Hydrocarbures C10 - C40																				
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms	73,4	110	88,4	140	480	360	-	-	61,5	320	-	110	6500	<20,0	880	-	83,0	-	500
Fraction C10-C12		<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		<4,0	7,5	<4,0	<4,0	<4,0	29,0	-	-	<4,0	7,7	-	<4,0	12,7	<4,0	14,1	-	<4,0	-	-
Fraction C16-C20		4,4	29,8	12,0	18,6	22,8	67,9	-	-	6,1	43,5	-	14,8	510	<2,0	110	-	7,7	-	-
Fraction C20-C24		10,4	31,1	24,7	47,0	90,3	94,1	-	-	15,1	87,1	-	43,1	2000	<2,0	260	-	16,6	-	-
Fraction C24-C28		18,4	17,9	22,0	36,7	160	87,6	-	-	17,9	84,2	-	34,2	2500	3,0	230	-	22,1	-	-
Fraction C28-C32		21	11	16	21	120	54	-	-	13	56	-	14	1100	<2,0	140	-	20	-	-
Fraction C32-C36		11,9	5,4	8,0	9,5	64,6	23,0	-	-	5,2	28,7	-	5,8	360	<2,0	82,6	-	9,9	-	-
Fraction C36-C40		5,7	<2,0	3,3	3,4	14,1	4,1	-	-	<2,0	12,9	-	<2,0	75,5	<2,0	39,5	-	4,0	-	-
PCB																				
Somme 7 PCB (Ballschmiter)		0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.d.	-	-	-	-	-	1
PCB (28)		<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,002	-	-	-	-	-	-
PCB (52)		<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-
PCB (101)		<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-
PCB (118)		<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-
PCB (138)		0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-
PCB (153)		0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-
PCB (180)		0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-

¹ n.d : non détecté

3.3.8 Valeurs de référence et résultats sur les lixiviats

Les essais sur lixiviats permettent d'évaluer la fraction de polluant susceptible d'être entraînée sous l'effet du lessivage et de déterminer les filières d'élimination possibles pour les matériaux analysés.

Les résultats d'analyses sur lixiviat sont comparés aux critères « sur lixiviat » applicables aux déchets admissibles dans les décharges selon la décision du Conseil du 19 décembre 2002 notamment retranscrit dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockages de déchets inertes (ISDI).

Dans le tableau de présentation des résultats, le code couleur utilisé est le suivant :

- Les valeurs supérieures aux valeurs d'acceptation en ISDI sont indiquées en bleu ;
- Les valeurs supérieures aux valeurs d'acceptation en ISDND¹ sont indiquées en orange ;
- Les valeurs supérieures aux valeurs d'acceptation en ISDD² sont indiquées en rouge.

Nota : Les concentrations maximales admissibles en décharge demeurent des valeurs de comparaison. Ces valeurs ne permettent pas d'associer directement aux matériaux un type d'exutoire spécifique en cas d'évacuation hors du site. Le choix de l'exutoire ne peut être effectif qu'après acceptation officielle du centre de traitement ou d'élimination, selon ses propres critères et notamment les prescriptions de son arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter.

Tableau n° 6 : Résultats d'analyses sur lixiviat

Paramètre	Unité	S9 (0-1,1)	Seuil d'admissibilité en décharge		
			ISDI	ISDND	ISDD
Métaux toxiques sur lixiviat					
Antimoine	mg / kg	0 - 0,05	0,06	0,7	5
Arsenic		0 - 0,05	0,5	2	25
Baryum		0,53	20	100	300
Cadmium		0 - 0,001	0,04	1	5
Chrome		0,04	0,5	10	70
Cuivre		0,08	2	50	100
Mercure		0 - 0,0003	0,01	0,2	2
Molybdène		0 - 0,05	0,4	10	40
Nickel		0 - 0,05	0,4	10	30
Plomb		0 - 0,05	0,5	10	50
Sélénium		0 - 0,05	0,1	0,5	7
Zinc	0 - 0,02	4	50	200	
Fraction soluble					
Fraction soluble	mg/kg	2400	4 000	60 000	100 000
Anion					
Chlorure	mg / kg	34	800	15 000	25 000
Fluorure		4,0	10	150	500
COT					
COT	mg / kg	57	500	800	1000
Indice phénol					
Indice phénol	mg / kg	0 - 0,1	1	-	-

¹ ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux

² ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux

3.3.9 Commentaires

Les résultats d'analyses mettent en évidence :

- La présence de métaux lourds dans les remblais en teneurs ponctuellement supérieures au double du fond géochimique local ;
- La présence d'hydrocarbures totaux C10-C40 en teneurs supérieures au seuil d'acceptation en ISDI au droit des sondages S9 entre 0 et 1,1 m de profondeur (6 500 mg/kg) et S10 entre 0,5 et 1,2 m (880 mg/kg). Les hydrocarbures mis en évidence sont majoritairement caractérisés par des fractions C20-C28, peu volatiles. La pollution mise en évidence au droit du sondage S9 ne semble pas avoir migré en profondeur car les hydrocarbures n'ont pas été détectés dans les matériaux sous-jacents ;
- La présence de traces de composés halogénés volatils, notamment de trichloroéthylène, dans la majorité des remblais. Des teneurs en trichloroéthylène plus importantes ont été mises en évidence au droit du sondage S5 entre 0 et 0,7 m de profondeur (9,7 mg/kg) et au droit du sondage S11 entre 0,15 et 1 m de profondeur (4,4 mg/kg).

Les résultats d'analyses sur lixiviat ne mettent en évidence aucun dépassement du seuil d'admission en ISDI. Toutefois, en cas d'évacuation hors site, les matériaux présents au droit du sondage S9 en superficie ne pourront être évacués en ISDI en raison d'une teneur en hydrocarbures supérieure au seuil d'acceptation en ISDI.

3.4 Investigations complémentaires sur les eaux souterraines

3.4.1 Caractéristiques du réseau de surveillance de la nappe et localisation

Lors de la campagne de prélèvement des eaux souterraines effectuée par EACM en 2018, les piézomètres nommés MW1, MW2, MW3, MW7 et SB8, installés par la société URS en 2004 et 2009, ont fait l'objet de prélèvements car ces ouvrages sont considérés comme représentatifs de la qualité des eaux souterraines au droit du site.

Les ouvrages piézométriques ont été installés à 6 m de profondeur, et ont été équipés d'une plaque ras-de-sol étanche. La localisation des piézomètres est présentée en **figure 4**.

3.4.2 Mesures préalable de l'altitude du toit de la nappe et détermination du sens d'écoulement

Le nivellement des piézomètres permet de comparer les altitudes du toit de la nappe relevée dans les différents ouvrages et d'en déduire le sens d'écoulement de la nappe.

Le tableau suivant présente la mesure des altitudes du toit de la nappe relevées avant la purge de chaque piézomètre réalisée sur le site par EACM en 2018.

Tableau n° 7: Profondeur de la nappe – Mai 2018

Piézomètre	Altitude du toit du piézomètre (m NGF)	Profondeur du toit de la nappe par rapport au niveau du sol (m)	Altitude du toit de la nappe par rapport au niveau du sol (m NGF)
MW1	31,48	2,55	28,93
MW2	31,28	2,69	28,59
MW3	31,57	2,50	29,07
MW7	31,03	1,98	29,05
SB8	31,31	2,59	28,72

Ces résultats obtenus montrent un sens d'écoulement de la nappe orienté vers le Sud-Est (cf. **figure 8**). Ce sens d'écoulement est globalement le même que celui détecté lors des campagnes précédentes. Le gradient hydraulique est néanmoins très faible.

3.4.3 Déroulement de la campagne de prélèvements

➤ *Prélèvements et conditionnement des échantillons*

La mission a compris le prélèvement d'échantillons d'eau souterraine dans les piézomètres MW1, MW2, MW3, MW7 et SB8.

Les prélèvements ont été réalisés par un ingénieur d'études EACM le 16 mai 2018. Les eaux contenues dans les piézomètres ont été prélevées après pompage d'environ 3 à 5 fois le volume de la colonne d'eau, à l'aide d'une pompe péristaltique. Les eaux de purge ont été introduites dans une colonne de charbon actif, absorbant les polluants, puis reversées sur les sols du site.

Les campagnes précédentes ayant mis en évidence la présence de composés organo-halogénés volatils (COHV) dans les eaux souterraines, un prélèvement en surface et en profondeur a été réalisé. En effet, la différence de densité des divers composés par rapport à l'eau entraîne une stratification dans la colonne d'eau.

Les échantillons d'eau recueillis ont été immédiatement conditionnés dans des flacons spécifiques fournis par le laboratoire d'analyses. Les prélèvements ainsi conditionnés ont été envoyés au laboratoire AL-West d'Agrolab, accrédité COFRAC, pour analyse, dans les 24h qui ont suivi le prélèvement, en conteneur isotherme.

Les eaux prélevées au droit des piézomètres en fin de purge étaient légèrement troubles et marron claires. Néanmoins, aucun indice olfactif n'a été observé sur l'ensemble des échantillons (cf. fiches de prélèvement en **annexe 6**).

➤ *Programme d'analyses*

Le programme d'analyses réalisé sur les 10 échantillons d'eau souterraine prélevés est présenté dans le tableau suivant.

Tableau n° 8: Programme d'analyses

Référence du piézomètre	Paramètres analysés
MW1	8 métaux lourds ¹ , HAP ² , BTEX ³ , COHV ⁴ , HCT C10-C40 ⁵ , HCT C5-C10 ⁶
MW1 (profondeur)	COHV
MW2	8 métaux lourds, HAP, BTEX, COHV, HCT C10-C40, HCT C5-C10
MW2 (profondeur)	COHV
MW7	8 métaux lourds, HAP, BTEX, COHV, HCT C10-C40, HCT C5-C10
MW7 (profondeur)	COHV
MW3 (surface)	
MW3 (profondeur)	
SB8 (surface)	
SB8 (profondeur)	

Ces analyses ont pour objectif de vérifier la qualité des eaux souterraines après les différentes phases de travail réalisées au droit du site.

Le tableau suivant présente les normes appliquées par le laboratoire pour la réalisation des analyses et les limites de quantification.

Tableau n° 9 : Normes et LQ_i appliquées par le laboratoire

Paramètre	Norme de référence	Limite de quantification du laboratoire (LQ _i)
Indice hydrocarbures avec répartition des fractions	Eq. NF EN ISO 9377-2	50 µg/l
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	EN ISO 17993	0,01 µg/l
BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes)	NF ISO 11423-1	0,2 – 0,5 µg/l
COHV	CPG/SM	0,1 à 0,5 µg/tube

3.4.4 Résultats d'analyse

➤ Valeurs de référence et représentation des résultats

Les résultats des analyses d'eau ont été comparés, conformément aux recommandations de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, aux valeurs de potabilité ou de potabilisation définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R.1321-2, R.1321-3, R.1321-7 et R.1321-38 du Code de la santé publique.

Dans le tableau de présentation des résultats, le code couleur utilisé est le suivant :

¹ 8 métaux lourds : Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc

² Hydrocarbures Aromatique Polycycliques

³ Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes

⁴ Composés OrganoHalogénés Volatils ou solvants chlorés

⁵ Fraction d'hydrocarbures C10-C40

⁶ Fraction d'hydrocarbures C5-C10

- Les valeurs supérieures aux seuils de potabilité sont indiquées en orange ;
- Les valeurs supérieures aux seuils de potabilisation sont indiquées en rouge.

Les paramètres pour lesquels des dépassements de valeurs de référence sont observés sont cartographiés en **figure 9**.

➤ *Résultats*

Les tableaux suivants présentent l'ensemble des résultats d'analyses obtenus sur les eaux souterraines prélevées au droit du site.

Les bordereaux d'analyses sont fournis en **annexe 7**.

Tableau n° 10 : Résultats des analyses des eaux souterraines

Paramètre	Unité	MW1	MW1 (profondeur)	MW2	MW2 (profondeur)	MW7	MW7 (profondeur)	MW3 (surface)	MW3 (profondeur)	SB8 (surface)	SB8 (profondeur)	Limites de potabilité	Limites de potabilisation
Hydrocarbures C5-C10													
Fraction C5-C6	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures C6-C8	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures C8-C10	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures volatils C6-C10	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures C5-C10	µg/l	10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures C10-C40													
Hydrocarbures totaux C10-C40	µg/l	<50	-	<50	-	<50	-	-	-	-	-	-	1000
Fraction C10-C12	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C12-C16	µg/l	<10	-	<10	-	<10	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C16-C20	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C20-C24	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C24-C28	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C28-C32	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C32-C36	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
Fraction C36-C40	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	-	-
BTEX													
Benzène	µg/l	<0,2	-	<0,2	-	<0,2	-	-	-	-	-	1	-
Toluène	µg/l	0,6	-	<0,5	-	<0,5	-	-	-	-	-	-	-
Ethylbenzène	µg/l	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	-	-	-	-	-	-
m,p-Xylène	µg/l	0,50	-	<0,2	-	<0,2	-	-	-	-	-	-	-
o-Xylène	µg/l	<0,50	-	<0,50	-	<0,50	-	-	-	-	-	-	-
Somme Xylènes	µg/l	0,5	-	n.d.	-	n.d.	-	-	-	-	-	-	-
HAP													
Naphtalène	µg/l	<0,3	-	<0,02	-	<0,02	-	-	-	-	-	-	-
Acénaphtylène	µg/l	<0,050	-	<0,050	-	<0,050	-	-	-	-	-	-	-
Acénaphène	µg/l	0,17	-	<0,01	-	<0,01	-	-	-	-	-	-	-
Fluorène	µg/l	0,070	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Phénanthrène	µg/l	0,096	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Anthracène	µg/l	0,23	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Fluoranthène	µg/l	0,028	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Pyrène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)anthracène	µg/l	0,032	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Chrysène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(b)fluoranthène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(k)fluoranthène	µg/l	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	0,01	-
Dibenzo(ah)anthracène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)pérylène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	µg/l	<0,010	-	<0,010	-	<0,010	-	-	-	-	-	-	-
Somme HAP	µg/l	0,028	-	n.d.	-	n.d.	-	-	-	-	-	0,1	-
Somme HAP (VROM)	µg/l	0,39	-	n.d.	-	n.d.	-	-	-	-	-	-	1
Somme HAP (16 EPA)	µg/l	0,63	-	n.d.	-	n.d.	-	-	-	-	-	-	-
COHV													
Dichlorométhane	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
Tétrachlorométhane	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-
Trichlorométhane	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
1,1-Dichloroéthane	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3	-
1,2-Dichloroéthane	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3	-
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
1,1,2-Trichloroéthane	µg/l	<0,5	<0,5	2,1	2,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
1,1- Dichloroéthylène	µg/l	<0,1	<0,1	1,1	2,0	<0,1	<0,1	0,2	0,4	<0,1	<0,1	-	-
Chlorure de Vinyle	µg/l	<0,2	<0,2	0,5	1,1	<0,2	<0,2	0,7	2,0	<0,2	<0,2	0,5	-
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/l	<0,50	<0,50	230	280	0,75	1,0	14	22	<0,50	<0,50	-	-
Trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l	<0,50	<0,50	4,5	5,8	<0,50	<0,50	23	49	<0,50	<0,50	-	-
Somme cis/trans-1,2-Dichloroéthylènes	µg/l	n.d.	n.d.	230	290	0,8	1,0	37	71	n.d.	n.d.	-	-
Trichloroéthylène	µg/l	<0,5	<0,5	2100	3400	1,4	4,0	24	49	<0,5	<0,5	10	-
Tétrachloroéthylène	µg/l	<0,1	<0,1	6,4	10	<0,1	<0,1	0,3	0,1	<0,1	<0,1	10	-
Métaux													
Arsenic (As)	µg/l	23	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	10	100
Cadmium (Cd)	µg/l	0,25	-	<0,10	-	<0,10	-	-	-	-	-	5	5
Chrome (Cr)	µg/l	<2,0	-	<2,0	-	<2,0	-	-	-	-	-	50	50
Cuivre (Cu)	µg/l	79	-	<2,0	-	<2,0	-	-	-	-	-	2	-
Mercure (Hg)	µg/l	0,04	-	<0,03	-	<0,03	-	-	-	-	-	1	1
Nickel (Ni)	µg/l	120	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	20	50
Plomb (Pb)	µg/l	<5,0	-	<5,0	-	<5,0	-	-	-	-	-	10	-
Zinc (Zn)	µg/l	6,1	-	8,6	-	5,3	-	-	-	-	-	-	5

➤ *Commentaires*

Les résultats d'analyse mettent en évidence :

- La présence de zinc en concentrations légèrement supérieures à la limite de potabilisation dans la totalité des échantillons analysés.
- La présence de nickel en concentration deux fois supérieures au seuil de potabilisation a également été mis en évidence dans le piézomètre MW1 localisé en latéral hydraulique du site ;
- La présence de HAP à l'état de traces dans les eaux souterraines prélevées au droit du piézomètre MW1 localisé en latéral hydraulique du site. Le naphtalène, seul HAP considéré comme volatil, n'a pas été détecté dans les eaux souterraines au droit du site ;
- La présence de COHV dans les eaux souterraines prélevées au droit des piézomètres MW2 et MW3 en superficie et en profondeur. Une concentration en trichloroéthylène plus de 300 fois supérieure au seuil de potabilité a notamment été mise en évidence au droit du piézomètre MW2 localisé en aval hydraulique du site ;
- L'absence d'hydrocarbures totaux C10-C40 et de BTEX en concentrations supérieures aux seuils de potabilité ou de potabilisation dans les eaux souterraines prélevées au droit du site.

Conformément à la méthodologie actuelle de gestion des sites et sols pollués, deux nouvelles campagnes de caractérisation des eaux souterraines devront être réalisées en période de hautes et basses eaux.

3.5 Investigations complémentaires sur les gaz du sol

L'objectif de cette campagne d'analyses était de caractériser les gaz présents dans les sols au droit du site d'étude.

3.5.1 Description des travaux

➤ *Caractéristiques des ouvrages*

Sept piézairs ont été mis en place jusqu'à une profondeur de 1,5 m en fonction du projet d'aménagement. Les piézairs ont été installés au droit de 7 des 11 sondages.

Le tableau suivant présente les piézairs et leur localisation.

Tableau n° 11 : Localisation des piézairs

Nom du piézair	Localisation	Profondeur de l'ouvrage
S1	Au droit du sondage S1	1,5 m
S3	Au droit du sondage S3	1,5 m
S5	Au droit du sondage S5	1,5 m
S8	Au droit du sondage S8	1,5 m
S9	Au droit du sondage S9	1,5 m
S10	Au droit du sondage S10	1,5 m
S11	Au droit du sondage S11	1,5 m

La **figure 10** localise ces piézairs.

Les 7 piézairs ont été réalisés le 12 avril 2018 à l'aide de l'atelier de sondage Geoprobe® utilisé pour la réalisation des différentes investigations.

Les ouvrages comprennent, du bas vers le haut :

- Un tubage d'un diamètre de 63 mm composé de 1 m de tube plein et 0,5 m de tube crépiné atteignant les limons, bouché à sa base, entouré d'un massif filtrant composé de gravier siliceux permettant d'éviter le colmatage des crépines ;
- Un bouchon d'argile gonflante, mis en place entre 0,1 et 0,2 m de profondeur, placé entre le tubage et la paroi du forage permettant d'éviter l'écoulement potentiel d'eau le long du tubage et la remontée de gaz ;
- Un bouchon de béton en surface ;
- Une bouche à clef destinée à protéger les piézairs.

Après leur pose, chaque piézair a été développé par pompage pendant environ 10 min à l'aide d'un ventilateur de débit 7 m³/h.

➤ *Échantillonnage*

Les prélèvements d'air ont été réalisés les 16 et 24 mai 2018 par un ingénieur d'études EACM (cf. **figures 11**).

Ils ont été réalisés au droit des sources de pollution des sols identifiées lors des différentes campagnes.

Les prélèvements ont été réalisés au moyen de 4 pompes calibrées à 0,2 l/min. Ce dispositif technique permet le prélèvement des gaz du sol sur un tube de charbon actif et de XAD2 selon les paramètres analysés.

Les caractéristiques des prélèvements de gaz du sol réalisés sur le site (heures de pompage, références des pompes, débit avant et après prélèvement...) sont jointes en **annexe 8**. Les prélèvements ont été réalisés par temps humide.

3.5.2 Caractérisation des gaz du sol

➤ *Prélèvements et programme d'analyses*

La durée de prélèvement a été déterminée en fonction des principaux polluants recherchés et des limites de quantification du laboratoire, afin de pouvoir comparer les résultats d'analyses avec les valeurs de référence des principaux composés analysés.

Les paramètres recherchés correspondent aux composés mis en évidence dans les sols et les eaux souterraines du site.

Le tableau ci-dessous présente les différentes substances recherchées, le média filtrant, les durées de prélèvements et les volumes pompés.

Tableau n° 12 : Caractéristiques des prélèvements d'air sous dalle

Piézairs	Paramètres recherchés	Type de média filtrant	Durée du prélèvement (min)	Débit de la pompe (L/min)	Volume d'air pompé (L)
S1	HAP, BTEX, COHV, TPH	Tube de charbon actif	180	0,202	36,36
S3				0,204	36,72
S5	COHV			0,200	36
S8	HAP, BTEX, COHV, TPH			0,205	36,81
S9				0,205	36,81
S10				0,204	36,72
S11				0,200	36
S11	PCB	Tube de XAD2	240	0,199	47,8

Le tableau suivant présente les normes de référence utilisées par le laboratoire d'analyses ainsi que les limites de quantification pour chaque paramètre.

Tableau n° 13 : Synthèse des normes et des LQI du laboratoire d'analyses

Paramètre	Norme de référence / méthode utilisée	Limite de quantification du laboratoire (LQI)
Hydrocarbures volatils avec répartition des fractions	CPG/SM	10 µg/tube
TPH	Méthode reconnue COFRAC	2 µg/fraction
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Méthode reconnue COFRAC	0,1 µg/tube
Composés organiques halogénés volatils (COHV)	CPG/SM	0,1 à 0,5 µg/tube
BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes)	CPG/SM	0,1 µg/tube
Mercurie	CPG/SM	0,004 µg/tube

Les tubes de charbon actif et le tube XAD2 rebouchés hermétiquement ont été envoyés au laboratoire Al-West d'Agrolab à Deventer aux Pays-Bas dans les 24h ayant suivi le prélèvement en caisson isotherme. Ce laboratoire est accrédité par les Comités d'Accréditation Néerlandais (RVA) reconnus par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC).

Un blanc de transport a été réalisé afin de vérifier qu'aucune pollution liée au transport n'a interféré les résultats.

➤ *Valeurs de référence*

Il n'existe pas de valeurs de référence ou limites pour les gaz de sol. Toutefois, les concentrations observées ont été comparées à titre indicatif aux valeurs de référence déterminées dans l'air ambiant suivantes :

- Valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) ;
- Valeurs de bruit de fond : percentiles 95 issus de la campagne de mesures de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) dans les logements français et valeurs du suivi de la qualité d'air extérieur locale si elles existent ;
- Valeurs réglementaires françaises et européennes définies pour l'air ambiant : décret 002-213 de février 2002, directives 2002/3/CE et 2004/107/CE ;
- Valeurs guides proposées par l'OMS (Air Quality Guidelines for Europe, 2000) et par le projet INDEX (Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU, 2005).

Dans les tableaux de présentation des résultats, présentés ci-après, le code couleur est le suivant :

- Les valeurs supérieures aux valeurs guides de qualité de l'air intérieur de l'ANSES sont indiquées en jaune ;
- Les valeurs supérieures aux valeurs du bruit de fond sont indiquées en orange ;
- Les valeurs supérieures aux valeurs du décret de février 2002 sont indiquées en bleu ;
- Les valeurs supérieures aux valeurs de l'OMS sont indiquées en gris.

➤ *Résultats d'analyses*

Le tableau présentant l'ensemble des résultats d'analyses obtenus sur les gaz du sol est présenté ci-après.

Les bordereaux d'analyses du laboratoire Agrolab sont fournis en **annexe 9**. La cartographie des résultats est présentée en **figures 11**.

L'échantillon « blanc » analysé présente des concentrations inférieures aux limites de quantification du laboratoire confirmant l'absence de contamination des échantillons de gaz du sol lors des prélèvements et du transport.

➤ *Interprétation des résultats d'analyses*

Les résultats d'analyses des gaz du sol mettent en évidence :

- La présence de trichloroéthylène au droit des piézairs S8, S9, S10 et S11 en concentrations supérieures à la valeur guide de la qualité de l'air intérieur. Le trichloroéthylène est présent à l'état de trace au droit des autres piézairs. Du 1,1,1-trichloroéthane et du cis-1,2-dichloroéthylène ont également été détectés ponctuellement dans les gaz du sol ;
- La détection d'hydrocarbures aliphatiques C5-C12, de toluène et de benzène au droit de tous les points de prélèvement, mais plus particulièrement au droit des piézairs S3 et S10. Une concentration en benzène supérieure à la VGAI et une concentration en toluène supérieure à la valeur de l'OQAI ont notamment été mises en évidence respectivement au droit des piézairs S3 et S10 ;
- L'absence de PCB et de naphthalène au droit des différents piézairs.

Il convient de noter qu'une atténuation importante a lieu entre les concentrations obtenues dans les gaz du sol et les concentrations obtenues dans l'air intérieur des bâtiments ou l'air extérieur.

3.6 Conclusion sur l'état environnemental du site

Les différents diagnostics de pollution réalisés sur le site ont principalement mis en évidence :

- Une pollution diffuse des remblais par les métaux (Nickel, Plomb, Zinc, Arsenic et Mercure) ;
- Une pollution ponctuelle en hydrocarbures totaux au droit du sondage S9. Cette pollution a été mise en évidence entre 0 et 1,1 m de profondeur ;
- Une pollution ponctuelle par le trichloroéthylène au droit des sondages S5 et S11 caractérisée par une teneur de 9,5 mg/kg entre 0 et 0,7 m de profondeur au droit du sondage S5 et par une teneur de 4,4 mg/kg entre 0,15 et 1 m de profondeur au droit du sondage S11 ;
- La détection d'hydrocarbures, benzène, toluène et COHV dans les gaz de sols en concentrations ponctuellement supérieures aux valeurs guides pour l'air ambiant ;
- Une pollution des eaux souterraines par les COHV, principalement le trichloroéthylène, au droit du piézomètre MW2. L'origine de la pollution présente au droit des eaux souterraines prélevées dans l'ouvrage MW2 n'a pas été détectée. Néanmoins, il est possible que la source sol ait été localisée au droit du sondage S5 et qu'elle se soit dissoute.

4 SCHÉMA CONCEPTUEL INITIAL

Ce paragraphe s'attache à identifier et caractériser les risques en relation avec les substances dangereuses identifiées sur le site. Cette analyse des risques passe par la connaissance des caractéristiques toxicologiques, physico-chimiques et des relations doses/effets de ces substances.

Pour l'évaluation des effets qualitatifs et quantitatifs, outre les ouvrages cités en introduction, les sites et bases de données suivants ont été consultés :

- INERIS (www.ineris.fr) ;
- INRS (www.inrs.fr) ;
- US-EPA (www.epa.gov).

4.1 Sélection des agents chimiques et physiques

Le choix des agents à prendre en compte dans le cadre de cette étude repose sur :

- La dangerosité des polluants identifiés lors des différents diagnostics vis-à-vis de la santé ;
- Leur importance relative dans les analyses réalisées.

Les composés retenus sont les suivants :

- Dans les sols : les métaux détectés en teneurs supérieures au double des valeurs maximales du fond géochimique local dans le Nord-Pas-de-Calais et les composés organiques détectés en teneurs supérieures à la limite de quantification du laboratoire ;
- Dans les gaz du sol : les composés analysés en concentrations supérieures à la VGAI¹ ou supérieures aux limites de quantification du laboratoire lorsqu'aucune VGAI n'existe ;
- Dans les eaux souterraines : les composés analysés en concentrations supérieures aux seuils de potabilité ou supérieures aux limites de quantification lorsqu'aucun seuil de potabilité n'existe.

¹ Valeur Guide de l'Air Intérieur

Le tableau suivant présente les composés retenus :

Tableau n° 15 : Synthèse des composés retenus

Composés	Matrice sol	Matrice eau	Matrice gaz de sol
HCT			
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	n.a.	n.d.	X
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	n.a.	n.a.	X
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	n.a.	n.a.	X
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	n.a.	n.a.	X
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	n.a.	n.a.	X
Hydrocarbures C5-C10	n.a.	X	n.a.
Hydrocarbures fraction C10-C16	X	n.d.	n.a.
Hydrocarbures totaux C16-C40	X	n.d.	n.a.
BTEX			
Benzène	n.d.	n.d.	X
Ethylbenzène	n.d.	n.d.	n.d.
Toluène	X	X	X
m,p-Xylènes	n.d.	X	X
COHV			
1,1-dichloroéthylène	n.d.	X	n.d.
1,1,2-trichloroéthane	n.d.	X	n.d.
1,1,1-trichloroéthane	n.d.	n.d.	X
Chlorure de Vinyle	n.d.	X	n.d.
Cis-1,2-dichloroéthylène	X	X	X
Tétrachloroéthylène	n.d.	X	n.d.
Trans-1,2-Dichloroéthylène	n.d.	X	n.d.
Trichloroéthylène	X	X	X
Métaux			
Mercure	X	n.d.	n.a.
Arsenic	X	X	n.a.
Cuivre	n.d.	X	n.a.
Nickel	X	X	n.a.
Plomb	X	n.d.	n.a.
Zinc	X	X	n.a.
HAP			
Naphtalène	X	n.d.	n.d.
HAP (hors naphtalène)	X	X	n.a.
PCB			
PCB	n.d.	n.a.	n.d.

n.d. : Non Détecté

n.a. : Non Analysé

4.2 Propriétés physico-chimiques des substances retenues

4.2.1 Volatilité des substances retenues

La notion de volatilité est définie en fonction de la tension de vapeur ou pression de vapeur saturante, exprimée en Pascal (Pa), à 25°C :

- Très peu volatil : $P < 5 \text{ Pa}$
- Modérément volatil : $5 < P < 1\,000 \text{ Pa}$
- Volatil : $1\,000 < P < 5\,000 \text{ Pa}$
- Très volatil : $P > 5\,000 \text{ Pa}$

➤ Hydrocarbures

Les données relatives à la quantification de la volatilité des hydrocarbures sont issues des travaux du TPHCWGS¹. Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau n° 16 : Volatilité des hydrocarbures

Fraction	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
C5 – C10	100 à 350	Modérément volatil
C10 – C12	65	Modérément volatil
C12 – C16	4,8	Très peu volatil
C16 – C21	0,1	Très peu volatil
C21 – C35	0,0004	Extrêmement peu volatil

Ainsi, seules les fractions C5-C10 et C10-C12 des hydrocarbures peuvent être considérées comme volatiles.

De plus, selon les travaux de ce même groupe, le caractère aromatique ou aliphatique des hydrocarbures n'influe pas sur la volatilité. Seule la longueur de la chaîne carbonée module la volatilité de la molécule.

➤ Hydrocarbures aromatiques polycycliques

La grande majorité des HAP est peu ou très peu volatile. Seul le naphthalène est considéré comme volatil (cf. tableau ci-après).

Tableau n° 17 : Volatilité des HAP

Composé	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
Naphtalène	6,5 à 7,2	Modérément volatil
Acénaphthylène	ND ²	ND
Acénaphthène	0,13 à 0,373	Peu volatil
Fluorène	4.10^{-2}	Peu volatil
Phénanthrène	0,091	Peu volatil
Anthracène	$3,6.10^{-4}$ à $1,1.10^{-1}$	Peu à très peu volatil
Fluoranthène	$0,8.10^{-3}$	Très peu volatil
Pyrène	$1,2.10^{-2}$ à 6	Peu volatil à modérément volatil
Benzo(a)anthracène	ND	ND
Chrysène	$8,4.10^{-5}$	Très peu volatil
Benzo(b)fluoranthène	$6,7.10^{-5}$	Très peu volatil

¹ Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series – en charge de l'étude des hydrocarbures et de leur impact sur l'environnement et sur la santé – Volume 5 du rapport édité en juin 1999

² Non déterminé

Composé	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
Benzo(k)fluoranthène	$1,3.10^{-8}$ à $0,7.10^{-4}$	Très peu volatil
Benzo(a)pyrène	$6,6.10^{-7}$ à $7,5.10^{-7}$	Très peu volatil
Dibenzo(a,h)anthracène	$1,3.10^{-8}$	Très peu volatil
Benzo(g,h,i)pérylène	$1,4.10^{-8}$	Très peu volatil
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	$1,3.10^{-8}$	Très peu volatil

➤ BTEX

Les BTEX sont modérément volatils à très volatils (cf. tableau ci-après).

Tableau n° 18 : Volatilité des BTEX

Composé	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
Benzène	9 970	Très volatil
Toluène	3 000	Volatil
Xylènes	1 330	Volatil

➤ COHV

Les COHV sont tous volatils à très volatils comme l'indiquent les tensions de vapeur présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 19 : Volatilité des COHV

Composé	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
1,1,1-trichloroéthane	ND	ND
1,1,2-trichloroéthane	ND	ND
1,1-Dichloroéthylène	66 500	Très volatil
Chlorure de vinyle	330 000	Très volatil
Cis-1,2-dichloroéthylène	24 000	Très volatil
Tétrachloroéthylène	1 900	Volatil
Trans-1,2-dichloroéthylène	35 300	Très volatil
Trichloroéthylène	7 960	Très volatil

➤ Métaux

De façon générale, les métaux ne sont pas volatils à l'exception du mercure élémentaire et des composés organiques du mercure qui le sont faiblement. Les composés inorganiques contenant du mercure ne sont pas volatils.

Le tableau ci-après présente la volatilité des composés du mercure.

Tableau n° 20 : Volatilité du mercure

Composés	Tension de vapeur (Pa)	Volatilité
Élémentaire	0,17	Très peu volatil
Inorganique	0,009	Extrêmement peu volatil
Organique	1,8	Très peu volatil

4.2.2 Solubilité des substances retenues

La solubilité d'un composé est la concentration maximale de ce composé qui peut être dissout ou dissocié dans un solvant à une température donnée. Elle est exprimée en mg par litre d'eau, à 20 °C.

Un composé est considéré comme soluble lorsque sa solubilité est supérieure à 500 mg/l.

➤ Hydrocarbures

La solubilité des hydrocarbures liquides ou gazeux dans l'eau est faible (cf. tableau ci-après).

Tableau n° 21 : Solubilité des hydrocarbures

Composé	Solubilité (mg/l)
Hydrocarbures C7-C9	3,3
Hydrocarbures C10-C14	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Hydrocarbures C15-C36	$2,3 \cdot 10^{-5}$

➤ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

De manière générale, les HAP sont très peu solubles dans l'eau. Leur solubilité varie en fonction de la complexité de la structure moléculaire qui est comprise entre 30 mg/l pour les composés légers et 10^{-4} mg/l pour les plus lourds.

➤ BTEX

La solubilité des BTEX est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau n° 22 : Solubilité des BTEX

Composé	Solubilité (mg/l)
Benzène	1 830 à 25°C
Toluène	515 à 20°C
Xylènes	De 151 à 178 à 25°C

Les BTEX sont donc considérés comme solubles.

➤ COHV

La solubilité des COHV est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau n° 23 : Solubilité des COHV

Composé	Solubilité (mg/l)
1,1,1-trichloroéthane	n.d.
1,1,2-trichloroéthane	n.d.
1,1-Dichloroéthylène	2 200
Chlorure de vinyle	1 600
Cis-1,2-dichloroéthylène	800
Tétrachloroéthylène	150
Trans-1,2-dichloroéthylène	600
Trichloroéthylène	1 070

Ils sont donc considérés comme faiblement solubles à solubles dans l'eau.

➤ Métaux

De manière générale, les métaux ne sont pas solubles dans l'eau. En revanche, certains composés métalliques notamment les formes oxydées peuvent être solubles dans l'eau.

Le nickel est insoluble.

Le plomb est, pour une grande partie, insoluble dans l'eau.

La solubilité des composés de l'arsenic est assez variable. Globalement, la solubilité des composés pentavalents serait supérieure à celle des dérivés trivalents.

Les formes CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ et CuCl_2 sont solubles dans l'eau. En revanche, l'oxyde cuivreux est insoluble.

Le mercure élémentaire n'est pas soluble dans l'eau. La solubilité des composés du mercure inorganiques et organique est très variable. Le zinc est quant à lui considéré comme soluble.

4.3 Identification des voies potentielles de transfert

Les substances présentes dans les sols et eaux souterraines sont susceptibles d'entrer en contact avec les récepteurs par les voies potentielles de transfert. L'existence de ces voies potentielles de transfert justifie les contraintes d'aménagement et d'usage du site, présentées dans les chapitres suivants, de manière à ce que les voies de transfert réelles soient réduites au minimum.

Un schéma conceptuel est élaboré dans ce chapitre afin de proposer une vision globale des voies de transfert possible des polluants vers les récepteurs en fonction des données relatives au site et à son environnement d'une part, et du projet de requalification, d'autre part.

Ce schéma conceptuel tient compte, en outre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des polluants ;
- Des voies de transfert théoriques ;
- Des récepteurs effectifs.

Il permettra ensuite de définir les scénarii d'expositions propres au site.

4.3.1 Voies de transfert théoriques des polluants vers les récepteurs

- Modes de transfert des polluants vers les compartiments de l'environnement

Les différents modes de transfert théoriques des polluants depuis le site vers les compartiments de l'environnement sont a priori :

- La volatilisation des polluants dans l'atmosphère ;
- L'envol et le transfert par voie aérienne de poussières sur lesquelles sont adsorbés les polluants ;
- L'infiltration des polluants dans la nappe alluviale par percolation des eaux de pluie au travers des terres polluées et lessivage des composés toxiques ;
- La contamination des eaux superficielles par les eaux souterraines polluées ;
- La diffusion des substances organiques à travers les canalisations d'eau potable ;
- La bioaccumulation des polluants dans les végétaux.

- Mode d'atteinte des récepteurs

Les voies d'administration des polluants dans l'organisme sont de trois types : l'inhalation, l'ingestion et le contact cutané.

En fonction du compartiment environnemental contenant la pollution, les différentes voies d'exposition théoriques sont les suivantes :

- L'inhalation de polluants volatils sous forme gazeuse ;
- L'inhalation de vapeur d'eau polluée ;
- L'inhalation de poussière ;
- L'ingestion directe de sol ou de polluants adsorbés sur les poussières mises en suspension ;
- L'ingestion d'eau contaminée ;
- L'ingestion de légumes et fruits cultivés sur site ainsi que de produits de la chasse ;
- L'absorption cutanée de sol et de poussières ;
- L'absorption cutanée à partir d'eau contaminée (bain, douche...).

4.3.2 Hypothèses de travail et scénarii d'exposition

- Description du scénario retenu

Le projet d'aménagement n'est pas défini mais prévoit la construction de logements sur la parcelle. Il a été considéré que les eaux souterraines n'étaient pas utilisées sur le site.

- Voies d'exposition retenues et populations cibles

Les voies d'exposition pertinentes retenues dans le cadre du scénario sont les suivantes :

- Inhalation de poussières de sol, sur lesquels seraient adsorbés les polluants, dans les zones non recouvertes par du béton ;
- Ingestion de sols et de poussières de sol, sur lesquels seraient adsorbés les polluants, dans les zones non recouvertes par du béton ;
- Contact cutané avec les poussières de sol mises en suspension dans les zones non recouvertes : Poussières de sol se déposant sur la peau ;
- Ingestion de légumes ou de viandes contaminés ;
- Inhalation de polluants volatils sous forme gazeuse ;
- Ingestion d'eau contaminée ;
- Absorption cutanée à partir d'eau contaminée (bain, douche...).

La population cible est constituée :

- Des enfants et adultes habitant dans les logements ;
- Des jardiniers pour l'entretien des espaces verts.

➤ Justification des voies d'exposition retenues

Le tableau suivant synthétise les voies d'exposition en fonction des cibles potentiellement présentes sur le site et la justification du choix d'étudier le scénario en l'absence de toute mesure de gestion de la pollution.

Tableau n°24 : Synthèse des voies d'exposition retenues – Schéma conceptuel initial

Cibles	Voies d'exposition	Scénario retenu	Justification
Enfants et adultes habitant les logements	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'intérieur des logements	OUI	Des polluants ont été détectés dans les gaz de sols.
	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'extérieur des logements	OUI	Des polluants ont été détectés dans les gaz de sols.
	Inhalation de poussières	OUI	Des polluants ont été mis en évidence dans les sols superficiels.
	Ingestion de sol, de poussières		
	Ingestion d'eau souterraine	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Ingestion d'eau contaminée par migration des substances à travers les canalisations	OUI	Les futures canalisations sont susceptibles de traverser les zones polluées.
	Ingestion de légumes	OUI	Des potagers ou arbres fruitiers sont susceptibles d'être présents sur le site.
	Contact cutané à partir des sols	OUI	Présence de polluants dans les sols superficiels.
	Contact cutané à partir des eaux souterraines	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Contact cutané à partir des eaux contaminées par migration des substances à travers les canalisations	OUI	Les futures canalisations sont susceptibles de traverser les zones polluées.
Jardiniers	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'intérieur des logements	NON	Ne concerne pas les jardiniers.
	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'extérieur des logements	OUI	Des polluants ont été détectés dans les gaz de sols.
	Inhalation de poussières	OUI	Des polluants ont été mis en évidence dans les sols superficiels.
	Ingestion de sol, de poussières	OUI	
	Ingestion d'eau souterraine	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Ingestion d'eau contaminée par migration des substances à travers les canalisations	NON	Ne concerne pas les jardiniers.
	Ingestion de légumes	NON	Ne concerne pas les jardiniers.
	Contact cutané à partir des sols	OUI	Présence de polluants dans les sols superficiels.
	Contact cutané à partir des eaux souterraines	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Contact cutané à partir des eaux contaminées par migration des substances à travers les canalisations	NON	Ne concerne pas les jardiniers.

Tableau n° 25 : Synthèse des voies d'exposition retenues – Schéma conceptuel initial

Paramètres	Ingestion de légumes	Inhalation de vapeurs	Inhalation de poussières et ingestion de sol	Ingestion d'eau contaminée	Contact cutané à partir des sols	Contact cutané à partir d'eau contaminée	Justification
Métaux							
Métaux (hors mercure)	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	Composés non volatils
Mercure	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Composé volatil
Hydrocarbures							
Hydrocarbures C5-C16	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Composé volatil détecté dans les sols et les gaz du sol
Hydrocarbures C16-C40	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	Composé non volatil
HAP							
HAP (hors naphtalène)	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI	Composés non volatils
Naphtalène	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	Composé volatil non détecté dans les gaz du sol
BTEX							
Benzène	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	Composé volatil mais non détecté dans les sols
Toluène	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Composé volatil détecté dans les sols
Xylènes	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	Composé volatil non détecté dans les sols
COHV							
1,1-Dichloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composé volatil détecté ni dans les gaz du sol ni dans les sols
1,1,1 trichloroéthane	NON	OUI	NON	OUI	NON	OUI	Composé volatil détecté dans les gaz du sol
Chlorure de Vinyle	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composé volatil détecté ni dans les gaz du sol ni dans les sols
Cis-1,2-dichloroéthylène	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Composé volatil détecté dans les sols et les gaz du sol
Tétrachloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composé volatil détecté ni dans les gaz du sol ni dans les sols
Trans-1,2-Dichloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	
Trichloroéthylène	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Composé volatil détecté dans les sols et les gaz du sol

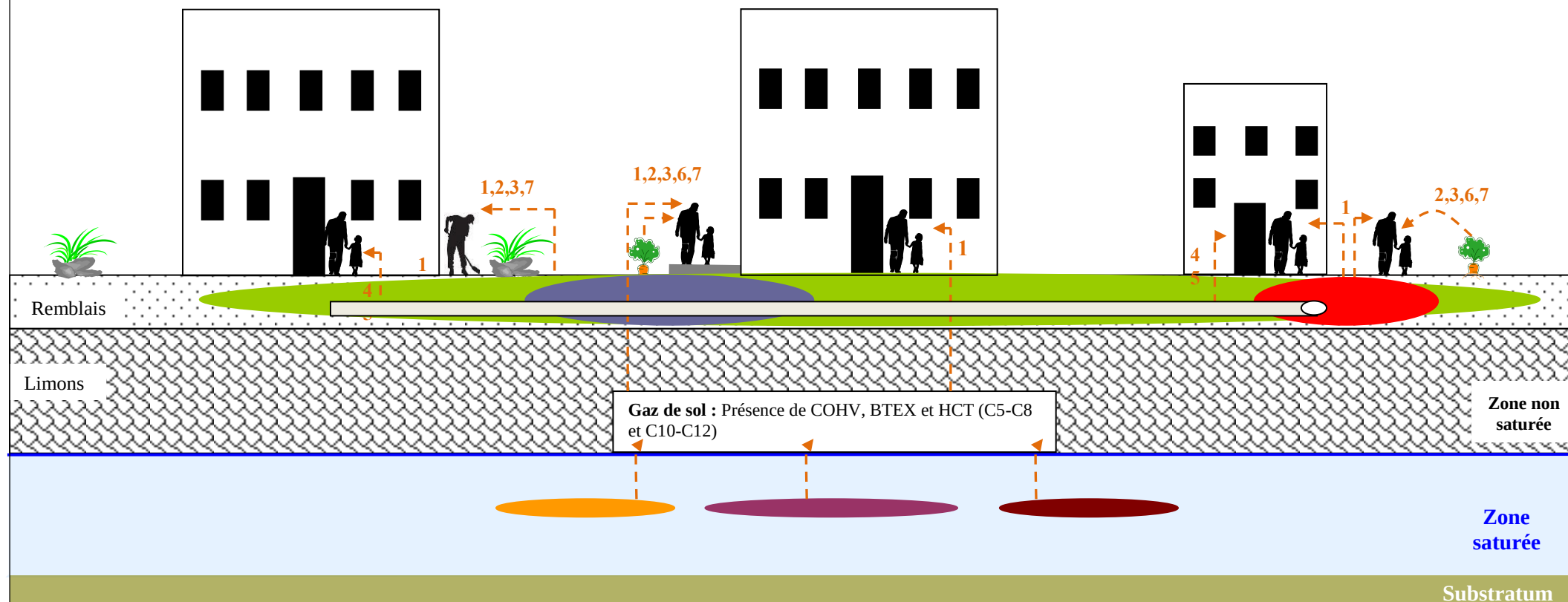
4.3.3 Schéma conceptuel initial

Le schéma ci-après présente les différentes voies d'exposition retenues avant la mise en place des mesures de gestion de la pollution au droit du site en tenant compte du projet d'aménagement.

Orientation : N

Orientation : S

Récepteurs : Jardiniers

Récepteurs : Adultes et enfants vivant
dans les logements

Enrobé ou revêtement

Voies de transfert et d'exposition

Canalisations

N° des voies d'exposition :

- 1 Inhalation de substances volatiles issues des sols ou de la nappe
- 2 Contact cutané à partir des sols
- 3 Ingestion de sol et/ou poussières de sols
- 4 Ingestion d'eau potable contaminée par migration des substances à travers les canalisations
- 5 Contact cutané à partir des eaux contaminées par migration des substances à travers les canalisations
- 6 Consommation de légumes
- 7 Inhalation des poussières en intérieur et extérieur

Présence de COHV, principalement de trichloroéthylène, dans les eaux souterraines (MW2 et MW3)

Trace de BTEX et de HAP dans les eaux souterraines (MW1)

Présence de métaux dans les eaux souterraines [As, Cu, Ni, Zn] (MW1, MW2 et MW7)

Présence de métaux, HCT, HAP, BTEX, COHV dans les remblais

Pollution des sols par du trichloroéthylène – sondage S5

Pollution des sols par les hydrocarbures totaux – S9

5 GESTION DE LA POLLUTION

5.1 Objectifs du plan de gestion

5.1.1 La maîtrise des sources de pollution

Selon le paragraphe 3.1.2 de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 : *« lorsque des pollutions concentrées sont identifiées, la priorité consiste d'abord à extraire des pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées et non pas à engager des études pour justifier leur maintien en place. »*

La maîtrise des sources de pollution est donc un aspect fondamental du Plan de Gestion car :

- Elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations ;
- Elle participe à la démarche globale d'amélioration continue des milieux.

5.1.2 La maîtrise des impacts

Par ailleurs, le paragraphe 3.2.1 de la méthodologie précise que : *« Il apparaît cependant nécessaire, quand la suppression totale des sources de pollution n'est pas possible (après avoir réalisé une démarche coûts-avantages et passé en revue les meilleurs techniques disponibles à un coût raisonnable) de garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont effectivement maîtrisés et acceptable tant pour les populations que pour l'environnement ».*

5.2 Caractéristiques du plan de gestion

Il convient de rappeler que l'ensemble de la démarche de plan de gestion repose sur un processus itératif entre :

- La connaissance des milieux, l'acquisition des connaissances sur les populations, sur les ressources naturelles à protéger ainsi que sur le choix des usages dans le cas d'un projet de réhabilitation ;
- Les contraintes réglementaires ;
- Les mesures de maîtrise des sources de pollution et les mesures de maîtrise des impacts ;
- Le devenir et la gestion des terres excavées ;
- Les différentes mesures de gestion : le traitement des terres polluées sur site ou hors site, les mesures constructives, les mesures de confinement, les possibilités de régénération ou d'atténuation naturelle ;
- Les outils de conservation de la mémoire et de restriction d'usage ;
- Le contrôle et le suivi de l'efficacité des mesures de gestion.

Ce processus progressif, itératif et interactif d'acquisition de connaissances doit permettre d'identifier les différentes options de gestion pertinentes, de les valider puis de contrôler leur efficacité dans le temps.

Ces itérations et évolutions peuvent conduire à confirmer, améliorer ou à infléchir le plan de gestion au fil du temps ou à adapter le projet de réaménagement.

5.3 Rappel des sources de pollution

Les sources concentrées de pollution par les hydrocarbures ont été retirées lors des deux phases de gestion de la pollution en 2011 et 2017.

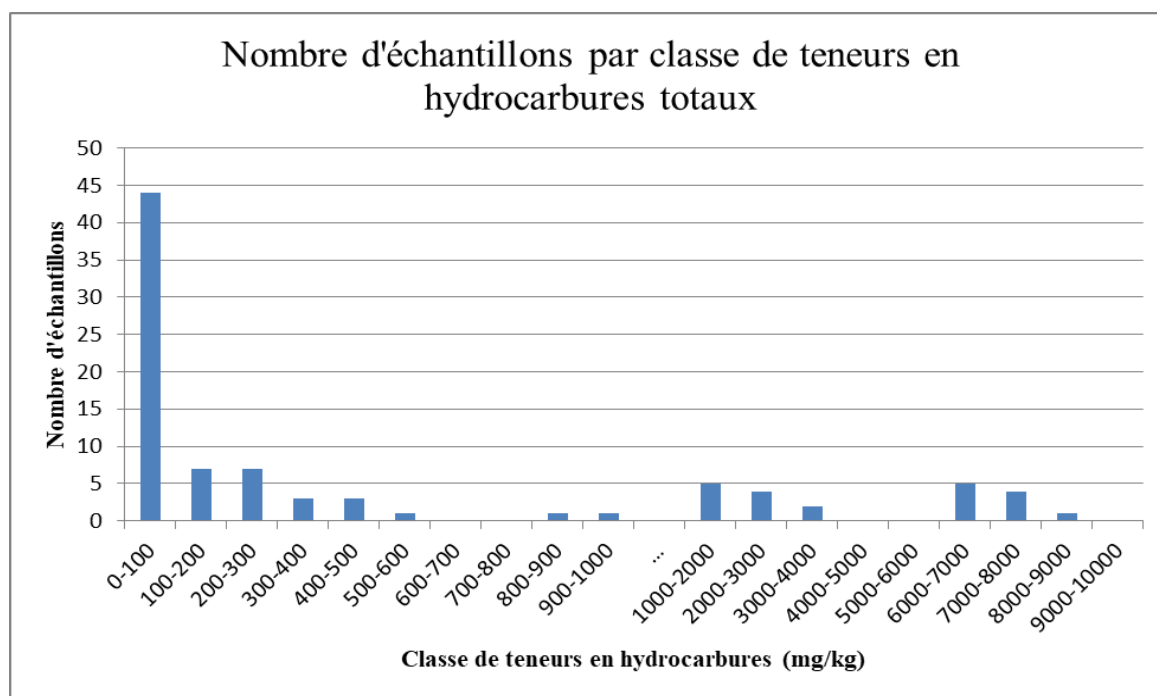
Le diagnostic complémentaire réalisé par EACM en 2018 a principalement mis en évidence :

- Une pollution diffuse des remblais par les métaux (Nickel, Plomb, Zinc, Arsenic et Mercure) ;
- Une pollution ponctuelle en hydrocarbures totaux au droit du sondage S9. Cette pollution a été mise en évidence entre 0 et 1,1 m de profondeur ;
- Une pollution ponctuelle par le trichloroéthylène au droit des sondages S5 et S11 caractérisée par une teneur de 9,5 mg/kg entre 0 et 0,7 m de profondeur au droit du sondage S5 et par une teneur de 4,4 mg/kg entre 0,15 et 1 m de profondeur au droit du sondage S11 ;
- La détection d'hydrocarbures, benzène, toluène et COHV dans les gaz de sols en concentrations ponctuellement supérieures aux valeurs guides pour l'air ambiant ;
- Une pollution des eaux souterraines par les COHV, principalement le trichloroéthylène, au droit du piézomètre MW2. L'origine de la pollution présente au droit des eaux souterraines prélevées dans l'ouvrage MW2 n'a pas été détectée. Néanmoins, il est possible que la source sol ait été localisée au droit du sondage S5 et qu'elle ne soit dissoute.

➤ Définition de la source concentrée par les hydrocarbures totaux

Le graphique ci-après présente, sur la base des rapports fournis, le nombre d'échantillons par classe de concentrations en hydrocarbures totaux. Les concentrations prises en compte pour la réalisation de ce graphique sont :

- les concentrations analysées par EACM en 2018 ;
- les concentrations obtenues en bords de fouille et fonds de fouille à l'issue des travaux de gestion de la pollution ;
- les concentrations analysées, hors zones excavées pendant les travaux de gestion de la pollution, lors des diagnostics réalisés en 2008, 2009, 2010 et 2012.

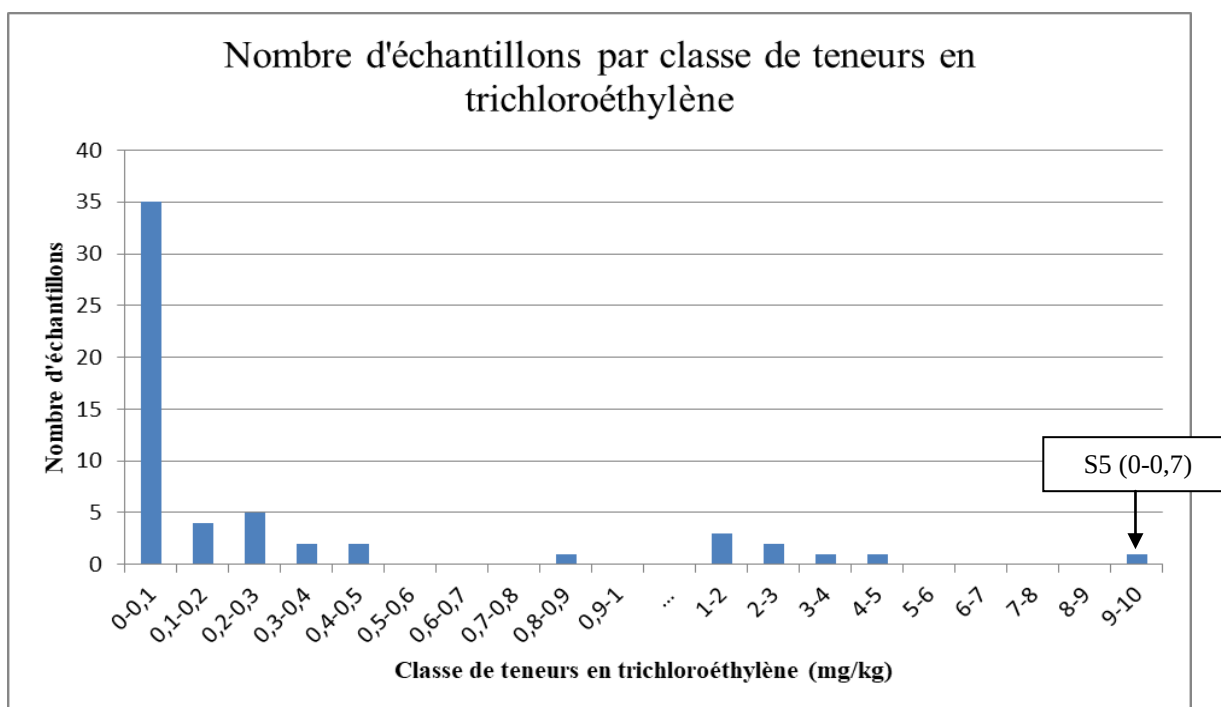


Il apparaît, à la lecture de ce graphique, que la présence d'hydrocarbures peut être considérée comme diffuse au droit du site. En effet, la teneur de 6 500 mg/kg, détectée par EACM au droit du sondage S9, est comprise dans la gamme de valeurs obtenues pour certains bords et fonds de fouille des zones excavées. Cette pollution est caractérisée par des fractions majoritairement non volatiles. De plus, cette pollution étant située en bordure de site, comme les bords et fonds de fouille présentant les teneurs les plus élevées, son retrait pourrait mettre en péril la stabilité du mur mitoyen. EACM propose donc de ne pas traiter cette source de pollution.

Une réflexion sur l'aménagement du site devra être menée afin d'éviter de construire les futurs logements au droit des pollutions résiduelles en hydrocarbures les plus élevées.

➤ Définition de la source concentrée par le trichloroéthylène

Le graphique ci-après présente, sur la base des rapports fournis, le nombre d'échantillons par classe de concentrations en trichloroéthylène. Les échantillons retenus sont identiques à ceux considérés dans le paragraphe précédent.



Il apparaît, à la lecture de ce graphique, que la teneur en trichloroéthylène mise en évidence au droit du sondage S5 entre 0 et 0,7 m de profondeur peut être considérée comme une source concentrée.

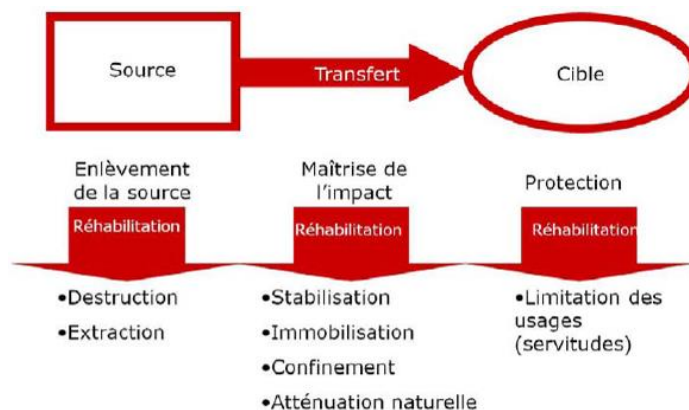
Aucune analyse du trichloroéthylène n'a été réalisée au droit du sondage S5 entre 0,7 et 2,15 m de profondeur. Toutefois, l'analyse de l'échantillon S5 entre 2,15 et 2,4 m de profondeur a mis en évidence l'absence de détection du trichloroéthylène. La pollution mise en évidence au droit du sondage S5 ne semble donc pas avoir migrée au-delà de 2 m de profondeur.

La superficie de cette source de pollution concentrée a été estimée de façon majorante à environ 150 m² sur 2 m d'épaisseur.

5.4 Bilan coûts/avantages

5.4.1 Stratégie de gestion de la pollution

La stratégie de gestion de la pollution peut être synthétisée par le schéma ci-dessous, extrait du guide « BRGM/RP-58609-FR – Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts – Bénéfices ».



Sur la base de ce schéma, la sélection de la méthode de traitement de la pollution sera réalisée de la façon suivante :

- En premier lieu, les mesures permettant de maîtriser la source de pollution seront privilégiées ;
- La maîtrise des impacts ne sera envisagée qu'en seconde approche ;
- Enfin, la maîtrise des usages devra aussi être envisagée en prenant en compte les meilleures techniques à un coût économiquement acceptable.

La présélection des mesures de gestion envisageables au droit d'un site est réalisée sur la base de la nature de la pollution et de l'analyse des contraintes mises en évidence.

5.4.2 Présentation théorique des principales techniques de gestion existantes

Il existe différentes techniques de dépollution qui peuvent être classées en fonction :

- De la nature des procédés employés (physique, biologique, thermique, chimique) ;
- Du lieu de traitement (hors site, on site, in situ, confinement) ;
- Du devenir des polluants (immobilisation ou destruction totale ou partielle).

➤ Nature des procédés

Les différents procédés de traitement de la pollution sont présentés ci-dessous :

- Les procédés physiques : le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser.
- Les procédés biologiques : ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries (mais aussi des champignons et des végétaux), pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants. Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants.
- Les procédés thermiques : ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant (ex : incinération), l'isoler (ex : désorption thermique, thermolyse, etc.), ou le rendre inerte (ex : vitrification, etc.).
- Les procédés chimiques : ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les inerte (précipitation, etc.), les détruire (oxydation, etc.) ou les séparer du milieu pollué (surfactants, etc.).

➤ Lieu de traitement/de gestion de la pollution

Les différents lieux de traitement de la pollution sont présentés ci-dessous :

- Traitements hors site (ou ex situ) : ils supposent l'excavation/extraction du milieu pollué (déchets, terre, eau) et son évacuation vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique, etc.).
- Traitements sur site (ou on site) : ils consistent à excaver les terres ou les eaux polluées et à les traiter sur le site même.
- Traitements in situ (ou en place) : ils correspondent à un traitement sans excavation : le sol et les eaux souterraines sont laissés en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol.

- Confinement/Mesures constructives : le confinement et les mesures constructives consistent à empêcher / limiter la migration des polluants. Ces modes de gestion permettent de maîtriser les impacts mais pas la source de pollution. Ils ne seront considérés que dans le cas d'une pollution diffuse.

➤ Devenir des polluants

Les techniques de dépollution peuvent être classées en fonction du devenir des polluants. Il existe deux possibilités :

- L'immobilisation : modifie la mobilité et/ou la toxicité des polluants (modification du polluant par traitement chimique, solidification, confinement,...) ;
- La destruction totale ou partielle des polluants.

5.4.3 Analyse des contraintes incompressibles du maître d'ouvrage liées à l'aménagement

Les contraintes pour la réalisation des mesures de gestion sont de différentes natures :

- Les contraintes de temps : Certaines mesures de gestion sont plus ou moins longues à mettre en œuvre. Il est important de pouvoir déterminer, préalablement à l'identification des mesures de gestion, les délais impartis pour le projet d'aménagement afin de pouvoir proposer des mesures cohérentes ;
- Les contraintes d'espace : Les mesures de traitement on site nécessite l'excavation des matériaux pollués et le traitement sur site. Ces techniques de traitement nécessitent alors un espace suffisant pour leur réalisation ;
- Les contraintes de budget : Les coûts liés à la gestion de la pollution sont très variables d'une technique à une autre. Le budget alloué à la gestion de la pollution doit être pris en compte dans la démarche d'identification des mesures de gestion envisageables au droit d'un site ;
- Les contraintes architecturales : Afin d'identifier les mesures de gestion applicables à un site, il est important de déterminer si le projet d'aménagement est figé ou s'il peut être adapté. En effet, certaines mesures de gestion peuvent consister à préconiser des mesures constructives telles que la création d'un vide sanitaire ;
- Les contraintes urbanistiques : En fonction de la localisation du site, certaines mesures de gestion peuvent s'avérer difficile à mettre en œuvre. C'est notamment le cas des techniques on site réalisées en milieu fortement urbanisé qui peuvent créer une dégradation paysagère le temps du traitement.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des contraintes applicables à la zone d'étude et du lieu de traitement possible au regard de ces contraintes.

Tableau n°26 : Analyse des contraintes

Contraintes	Retenue	Justification	Lieu de traitement/de gestion			
			Hors site	On site	In situ	Confinement / mesures constructives
Temps	OUI	Les traitements envisagés doivent être de préférence rapides à mettre en œuvre.	+	-	-	+
Espace	OUI	Le site d'étude n'est pas très étendu.	+	-	-	+
Budget	OUI	Les coûts des traitements doivent être optimisés	-	+/-	+/-	+
Architecturale	NON	Le projet d'aménagement n'est pas défini.				
Urbanistique	OUI	Le site est localisé dans une zone à dominante résidentielle	+	+/-	+/-	+/-

+ : envisageable

+/- : moyennement acceptable vis-à-vis de la contrainte

- : non envisageable

Le graphique ci-après synthétise les résultats de l'analyse des contraintes au droit du site.

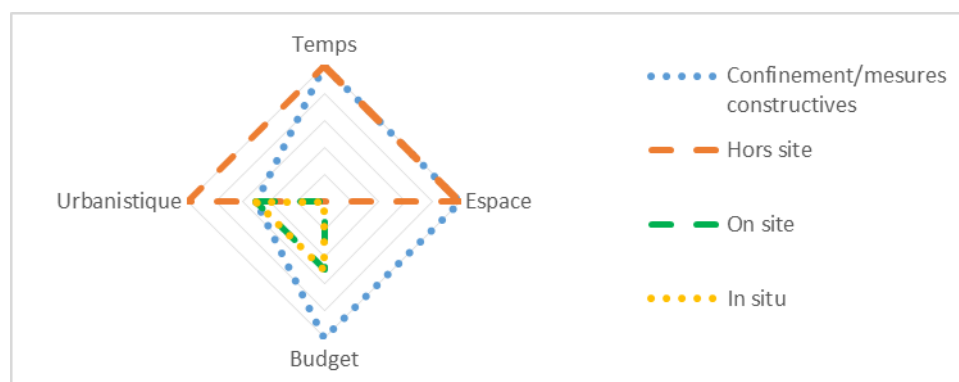


Illustration 5 - Analyse des contraintes

Au regard de ce graphique, les techniques de gestion apparaissant comme les plus pertinentes au droit du site correspondent aux techniques hors site et à la mise en œuvre d'un confinement ou de mesures constructives. Les techniques in situ et on site ne sont donc pas retenues dans la suite du bilan coûts/avantages.

5.4.4 Analyses des contraintes liées à la nature des polluants

Comme indiqué précédemment, les techniques de gestion de la pollution dépendent de la nature de la pollution.

Le tableau ci-après présente une synthèse des différents procédés de traitement envisageables en tenant compte de la nature des pollutions détectées au droit du site.

Tableau n°27 : Synthèse des procédés de traitement envisageables

Nature de la pollution	Nature des procédés			
	Physique	Biologique	Thermique	Chimique
COHV / Hydrocarbures totaux	+	+	+	+/-

+ : envisageable

+/- : envisageable seulement pour quelques techniques

- : non envisageable

5.4.5 Présélection des techniques de gestion de la pollution – synthèse

L'analyse de contraintes liées à l'aménagement et aux pollutions présentes sur site a mis en évidence que les mesures de gestion apparaissant comme les plus adaptées correspondent au confinement ou à l'évacuation hors site.

5.4.6 Bilan coûts-avantages

Afin de sélectionner les mesures de gestion à mettre en œuvre, un bilan coûts/avantages est réalisé et est présenté dans les tableaux suivants.

Le bilan coûts/avantages est réalisé sur la base de l'analyse des critères suivants :

- Critères techniques et organisationnels :
 - Facilité de mise en œuvre de la solution ;
 - Rapidité de mise en œuvre de la solution ;
 - Moyen techniques et humains nécessaires ;
 - Démarche administratives à réaliser ;
 - Atteinte des objectifs de dépollution ;
- Critères économiques :
 - Coûts de dépollution ;
 - Coûts de suivi post-traitement ;
 - Coûts liés à la mise en œuvre de mesures constructives ;
 - Coûts liés aux servitudes ;
- Critères environnementaux liés à la technique retenue :
 - Suppression totale de la pollution ou immobilisation ;
 - Nuisances sonores, visuelles, olfactives, sanitaires ;
 - Emissions de gaz à effet de serre ;
 - Energie utilisée ;
- Critères sociaux-politiques :
 - Teneurs résiduelles laissées en place ;
 - Mise en œuvre de servitudes.

Pour chaque solution, une notation des critères (0 à 5) a été réalisée selon la méthodologie suivante :

- Plus la méthode est efficace et répond aux contraintes du site et du maître d'ouvrage, plus la note est élevée ;
- Plus les coûts et les contraintes résiduelles sont élevés, plus la note est faible.

Pour chaque critère, une pondération a été appliquée en fonction de l'importance du critère dans la sélection de la méthode de gestion de la pollution par le maître d'ouvrage, de la façon suivante :

- Critères techniques et organisationnels : 40% ⇒ La mesure de gestion retenue doit être rapide à mettre en œuvre et efficace ;
- Critères économiques : 40% ⇒ La mesure de gestion retenue doit être la plus avantageuse économiquement afin de respecter le budget alloué à la gestion de la pollution ;
- Critères environnementaux : 10 % ;
- Critères socio-politiques : 10%.

Nota : les coûts indiqués pour les différentes filières sont issus du rapport BRGM réf « BRGM/RP-58609-FR – Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts – Bénéfices ».

Par ailleurs, les volumes correspondent aux volumes de matériaux à gérer estimés en fonction des sondages réalisés lors des investigations et représentent donc des ordres de grandeur. Ces volumes ne tiennent pas compte d'une éventuelle source de pollution non mise en évidence jusqu'à présent.

Les tableaux ci-après présentent une analyse des mesures de gestion envisageables afin de déterminer la solution la plus pertinente.

➤ Source 1 : pollution concentrée par le trichloroéthylène au droit du sondage S5

Le tableau ci-après présente les différentes mesures de gestion envisageables afin de traiter la pollution concentrée en trichloroéthylène mise en évidence au droit du sondage S5.

Tableau n° 28 : Bilan coûts/avantages des mesures de gestion envisageables pour traiter la pollution concentrée en trichloroéthylène

Lieu de gestion	Type de procédé	Solution	Critères techniques et organisationnels (40%)		Critères économiques (40 %)		Critères environnementaux (10 %)		Critères sociopolitiques (10%)		Note totale avec pondération
Hors site	Stockage en Installations de Stockage de Déchets	Excavation des matériaux de la source concentrée (150 m ² sur 2 m d'épaisseur ¹), soit 300 m ³ et évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux	Rapidité Facilité de mise en œuvre	4	Coût approximatif d'élimination des matériaux : 85 € HT/t Hypothèse de 540 tonnes de matériaux : 45 900 € HT	3	Pollution transférée mais non supprimée Estimation du nombre de rotations de camions ² = 22 Nuisances sonores	5	Pollution transférée mais servitudes car pollution résiduelle	5	76/100
Sur site	Confinement	Confinement sous une voirie, une dalle béton ou 0,3 à 1 m de matériaux sains ³	Rapidité Facilité de mise en œuvre	3	Coût approximatif d'apport de matériaux sains : 20 € HT/t Hypothèse de 81 à 270 tonnes de matériaux (si couverture de la source concentrée par 30 cm à 1 m de matériaux sains) : 1 620 à 5 400 € HT	4	Pollution non supprimée Aucune rotation de camion	1	Pollution laissée en place donc servitudes	1	68/100

La mesure de gestion la plus pertinente, sous réserve de la validation par une analyse des risques résiduels, consiste à excaver les 300 m³ de matériaux les plus pollués, soit jusqu'à 2 m de profondeur, et de les évacuer en installation de stockage de déchets non dangereux.

La profondeur de 2 m sera à valider pendant les travaux.

¹ Ce volume pourra être précisé par des analyses complémentaires avant ou pendant les travaux.

² Pour une densité moyenne des matériaux de 1,8 et des rotations de semi-remorques de 25 tonnes de CU.

³ 30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des jardins potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés

➤ Source 2 : pollution diffuse des métaux, hydrocarbures, COHV, BTEX et HAP sur la totalité du site

Le tableau ci-après présente les différentes mesures de gestion envisageables afin de traiter la pollution diffuse aux métaux, hydrocarbures, BTEX, COHV et HAP mise en évidence dans les remblais du site.

Tableau n° 29 : Bilan coûts/avantages des mesures de gestion envisageables pour traiter la pollution diffuse

Lieu de gestion	Type de procédé	Solution	Critères techniques et organisationnels (40%)		Critères économiques (40 %)		Critères environnementaux (10 %)		Critères sociopolitiques (10%)		Note totale avec pondération
Hors site	Stockage en Installations de Stockage de Déchets	Excavation des remblais de la totalité du site (environ 4 000 m ²) sur 1 m d'épaisseur et évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux. Couverture par 1 m de matériaux sains.	Rapidité Facilité de mise en œuvre	2	Coût approximatif : - élimination des matériaux : 85 € HT/t - apport de matériaux sains : 20 € HT/t Hypothèse de 7 200 tonnes de matériaux : 756 000 € HT	1	Pollution transférée mais non supprimée Estimation du nombre de rotations de camions ¹ = 576 Nuisances sonores	2	Pollution retirée Pas de servitude	5	38/100
Sur site	Mesures constructives	Confinement des remblais sous une voirie, une dalle béton ou 30 cm à 1 m de matériaux sains ² et mise en place d'un vide sanitaire sous les bâtiments	Rapidité Facilité de mise en œuvre	4	Coût approximatif d'apport de matériaux sains : 20 € HT/t Hypothèse de 2 160 à 7 200 tonnes de matériaux (si couverture de la totalité du site par 30 cm à 1 m de matériaux sains) : 43 200 à 144 000 € HT	4	Pollution non supprimée Estimation du nombre de rotations de camions = 87 à 288 Nuisances sonores	3	Pollution confinée Servitudes	4	78/100

¹ Pour une densité moyenne des matériaux de 1,8 et des rotations de semi-remorques de 25 tonnes de CU.

² 30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des jardins potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés

Sur la base du bilan coûts-avantages, la mesure de gestion la plus pertinente, sous réserve de la validation par une analyse des risques résiduels, consiste à confiner les remblais sous la dalle d'un bâtiment, une voirie ou 30 cm à 1 m de matériaux sains¹ et à mettre en place un vide aéré² sous les bâtiments.

Une réflexion sur l'aménagement du site devra toutefois être menée afin d'éviter de construire les futurs logements au droit des concentrations résiduelles les plus élevées. Un confinement des pollutions résiduelles sous forme d'une butte paysagère pourra également être envisagé. Cette butte devra être recouverte par un géotextile ou un grillage avertisseur et au minimum 30 cm de matériaux sains et la plantation de jardins potagers devra y être interdite.

5.5 Description des mesures de gestion prévues

5.5.1 Synthèse des mesures de gestion retenues

Les mesures de gestion comprendront, sous réserve de la validation par une analyse des risques résiduels :

- L'excavation des 300 m³ de matériaux les plus pollués, soit jusqu'à 2 m de profondeur, et leur évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux ;
- Le confinement des remblais sous la dalle d'un bâtiment, une voirie ou 30 cm à 1 m de matériaux sains et la mise en place d'un vide aéré sous les bâtiments.

De plus, une réflexion sur l'aménagement du site devra être menée afin d'éviter de construire les futurs logements au droit des concentrations résiduelles les plus élevées.

5.5.2 Usage des terrains

Le site est destiné à un usage résidentiel avec l'aménagement de logements collectifs ou individuels. Il ne doit en revanche pas être utilisé pour d'autres usages.

Toute utilisation autre que celle prévue actuellement par l'EPF et la Mairie de Roubaix devra faire l'objet d'un nouveau plan de gestion afin de démontrer la compatibilité sanitaire de cet autre usage avec l'état environnemental du site.

Par ailleurs, le présent plan de gestion devra être réactualisé au fur et à mesure de l'avancée du projet envisagé par la Mairie.

¹ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

² Les espaces ventilés correspondent à des espaces aérés entre les matériaux résiduels et les futures dalles des bâtiments. Les substances volatiles remontant à la surface passent par ces espaces d'air et sont éliminées hors des édifices par la ventilation naturelle ou forcée du vide obtenue grâce à des bouches d'aération périphériques. Si la ventilation naturelle n'est pas suffisante, une ventilation mécanique sera mise en place pour permettre de limiter de manière satisfaisante le transfert des gaz du sol vers les bâtiments.

5.5.3 Mesures de gestion applicables à l'ensemble du site

➤ Recouvrement des sols

Afin d'éviter l'envol de poussières et le contact direct des usagers avec les remblais présentant des teneurs en polluants, une barrière physique sera présente sur toute la surface du site. Elle sera constituée :

- D'une dalle en béton au droit des bâtiments ;
- D'enrobé au droit des parkings ou des voiries ;
- De 30 cm à 1 m de matériaux sains et d'un géotextile ou d'un grillage avertisseur (30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés).

Les populations amenées à fréquenter la zone de confinement ne pourront donc être exposées aux composés polluants par aucune des voies de transfert suivantes :

- Inhalation de poussières ;
- Contact direct ;
- Ingestion de sol.

➤ Gestion des eaux souterraines et maîtrise des risques liés aux eaux souterraines

Tout usage de la nappe d'eau souterraine superficielle qui ne bénéficie d'aucune protection contre une pollution des eaux de surface par un niveau imperméable est interdit.

➤ Gestion des canalisations d'eau potables

Les canalisations d'eau potable devront être implantées dans les zones non polluées ou dans des remblais d'apports sains ou des canalisations de nature imperméable aux substances organiques devront être utilisées.

➤ Gestion des espaces verts

Les jardins potagers peuvent éventuellement être autorisés sous réserve de la présence :

- de 1 m de matériaux sains et d'un géotextile ou grillage avertisseur si des arbres fruitiers sont envisagés ;
- de 50 cm de matériaux sains et d'un géotextile ou grillage avertisseur si des jardins potagers sans arbre fruitier sont envisagés.

Au droit des espaces verts autres que jardins potagers, une couche de 30 cm de matériaux sains et un géotextile ou grillage avertisseur devront être mis en place.

➤ Restrictions d'usages / Conservation de la mémoire

Certaines contraintes doivent faire l'objet d'une conservation de la mémoire, à minima dans les actes notariés :

- Le rappel de l'emplacement et des caractéristiques physico-chimiques des matériaux pollués résiduels ;
- Les indications relatives à la mise en place du confinement et de son maintien ;
- L'interdiction de mettre en place des potagers, des arbres fruitiers ou toutes espèces comestibles au droit du site (sauf si une couverture de 1 m de terres saines a été mise en œuvre) ;
- L'interdiction d'utilisation des eaux souterraines.

5.6 Mesures de gestion en phase chantier

5.6.1 Hygiène, sécurité et environnement sur le chantier

➤ PPSPS

La réalisation de travaux nécessitant le terrassement et la manipulation des terrains laissés en place ne sera possible que sous la condition qu'un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) soit mis en œuvre.

Il comprendra notamment :

- Une description des travaux à réaliser ;
- L'énoncé des règles de sécurité sur le chantier, tenant compte en particulier des spécificités chimiques des matériaux présents ;
- La conduite à tenir en cas d'accident ;
- La conduite à tenir en cas de découverte de matériaux pollués.

Un responsable hygiène, sécurité, environnement sur le chantier sera nommé par l'aménageur. Il validera le PPSPS et supervisera la sécurité sur le chantier.

Le port des équipements de protections individuelles sera obligatoire. Ils sont, a minima, composés de :

- Casques ;
- Chaussures ou bottes de sécurité ;
- Gants pour tout contact cutané avec les terres ;
- Combinaisons jetables
- Masques anti-poussières de type FFP3¹.

Compte tenu de la connaissance de l'état du sol sur le site à ce stade, il n'est pas nécessaire d'utiliser d'autres EPI. Néanmoins, en cas de découverte de nouvelles pollutions, une nouvelle étude devra être réalisée et les équipements de protection pourront être adaptés.

¹ Filtering Facepiece Particles, littéralement « *pièce faciale filtrante contre les particules* »

➤ Consignes de sécurité

Les principales consignes de sécurité ci-après seront a minima respectées au cours du chantier de réhabilitation du site :

- Interdiction d'accès sur le chantier à des personnes non autorisées (autre que le personnel de chantier) ;
- Interdiction de fumer, boire et manger dans l'enceinte de la zone de travail ;
- Séjour dans la zone de travail limité au personnel du chantier ;
- Présence uniquement, dans la zone de travail, du matériel nécessaire au bon déroulement du chantier ;
- Respect d'une distance de sécurité maximale durant les manœuvres de la pelle hydraulique et des tracto-bennes ;
- Toute personne doit se porter hors d'atteinte de la zone d'action du godet (risque d'écrasement ou de chutes de matériaux) de la pelle hydraulique et/ou du bulldozer et jamais à moins de cinq mètres des tracto-bennes durant les opérations de chargement. Seul le chauffeur de chaque engin est habilité à grimper dessus pour procéder à des contrôles/entretiens ;
- Application des règles de circulation propres au chantier en ce qui concerne le stationnement, la signalisation, les priorités, l'accès au chantier.

Tout événement exceptionnel nécessitera l'arrêt immédiat des travaux, l'évacuation si nécessaire de la zone et l'information du responsable de chantier.

Recommandations

Un arrosage pourra être mis en place en complément en cas de temps sec et venté pour limiter l'envol de poussières vers les propriétés voisines.

5.6.2 Gestion des matériaux excavés

➤ Principe

Les matériaux excavés seront gérés selon les modalités qui suivent :

- Pour les matériaux non destinés à rester sur site (matériaux pollués dont les concentrations en trichloroéthylène sont les plus élevées) : les matériaux seront envoyés en filière de traitement ou d'élimination adaptée, conforme à la réglementation en vigueur à la date des travaux et tenant compte des techniques disponibles et de leur coût d'élimination ;
- Pour les matériaux destinés à rester sur site : ils seront triés selon leurs caractéristiques chimiques et feront l'objet :
 - d'un confinement sous des espaces non sensibles¹ ;
 - d'un confinement sous butte paysagère : ils seront recouverts par un géotextile ou un grillage avertisseur, et de 30 cm à 1 m de terres saines.

¹ Voirie, parking

Un dossier comportant les caractéristiques de chaque ouvrage de confinement permanent sera établi par le propriétaire. Il indiquera l'emplacement, l'étendue, le volume et les caractéristiques des terres confinées. Il sera obligatoirement transmis à chaque nouveau propriétaire du site, conservé par lui et communiqué à toute entreprise amenée à effectuer de travaux sur le site. Tous travaux d'affouillements ou d'excavations au droit des dispositifs de confinement permanent doivent faire l'objet des mêmes précautions que celles décidées au présent paragraphe.

Recommandations : Si le stockage temporaire sur site des déblais est nécessaire, une aire de confinement provisoire pourra être aménagée, de manière à garantir, au minimum, l'absence de lixiviation par les eaux pluviales, grâce au bâchage des matériaux.

➤ Traçabilité des mouvements de terres

Le suivi de la gestion des matériaux sera assuré par :

- L'établissement d'un Bordereau de Suivi des Déchets (BSD) ou tout système équivalent pour toute exportation de matériaux ou d'eaux hors du site. Ces BSD seront conservés par le propriétaire du site au moment des travaux et pendant une période 3 ans ;
- La consignation de la zone de confinement dans le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).

5.6.3 Gestion des matériaux extérieurs

Les apports de matériaux extérieurs sur le site seront constitués uniquement de terres saines¹.

L'entreprise en charge de l'apport des matériaux devra fournir les garanties de la qualité environnementale des matériaux rapportés sur le site. Les éléments qui devront être fournis seront notamment :

- La provenance des terres (adresse exacte du lieu d'origine) ;
- Des résultats analytiques démontrant le caractère sain des matériaux, à raison d'au moins une analyse par lot de 200 T de terres homogènes.

L'ensemble des résultats sera regroupé dans une fiche d'agrément par site d'origine, qui comprendra tous les éléments nécessaires au VISA du Maître d'œuvre et sera fournie au moins une semaine avant l'apport effectif des matériaux sur site.

5.6.4 Réalisation de fondations

Les matériaux remontés lors de la réalisation des ouvrages de fondations seront gérés selon les modalités décrites dans le paragraphe 5.6.2.

¹ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

5.6.5 Découverte de matériaux pollués

L'éventualité de la découverte d'une nouvelle pollution sera mentionnée par le propriétaire dans le Dossier de Consultation des Entreprises, qui indiquera également la conduite à tenir, à savoir au minimum :

- La mise en sécurité du chantier ;
- L'identification des polluants ;
- L'actualisation des études déjà réalisées pour tenir compte des nouveaux facteurs de risques.

Recommandations

Si ces terres sont amenées à être excavées, elles seront stockées sur une aire spécifique de confinement temporaire dans l'attente de leur caractérisation et leur gestion conformément à la réglementation en vigueur.

5.6.6 Information des populations riveraines

Une information des riverains portant sur les mesures prises pour limiter les nuisances pendant les travaux peut être nécessaire. Il s'agit ensuite éventuellement d'informer les futurs usagers des mesures qui ont été mise en œuvre pour réhabiliter le site. Ces communications relèveront de la responsabilité des gestionnaires du projet et concernent essentiellement les chantiers de grande ampleur.

5.6.7 Conservation de la mémoire

Une mémoire des pollutions présentes sera à conserver de manière fiable et pérenne et les informations pourront être à la disposition de l'ensemble des acteurs concernés. L'objectif est de fournir à tous les acteurs en présence l'ensemble des éléments permettant de prendre les précautions appropriées en cas de changement ultérieur de l'usage des sols.

Deux instruments sont à utiliser :

- Les instruments de mémoire collective qui consisteront à rassembler l'information à la disposition d'un large public (inventaires historiques de BASIAS, mise à jour de BASOL).
- Les instruments de mémoire individuelle qui permettront au site de garder la mémoire des pollutions et des actions de réhabilitations mises en œuvre mais aussi de fixer les restrictions d'usage des sols compatibles avec les pollutions résiduelles.

5.7 **Schéma conceptuel résiduel**

5.7.1 Hypothèses de travail et scénarii d'exposition

Les mesures de gestion permettent d'assurer la présence d'une barrière physique supprimant les voies d'exposition « Ingestion de sol », « Contact cutané avec le sol », « Ingestion de légumes », « Ingestion d'eau contaminée » et « Contact cutané à partir d'eau contaminée ».

Les propriétés physico-chimiques des substances considérées dans le cadre de ce plan de gestion sont présentées au paragraphe 4.2.

A l'issue de la mise en œuvre des mesures de gestion présentées dans les paragraphes précédents, certaines pollutions résiduelles laissent subsister des voies de transfert résiduelles reprises dans les tableaux ci-après qui constituent une synthèse des polluants retenus et des voies de transfert associées dans le cadre du scénario retenu.

Tableau n°30 : Synthèse des voies d'exposition retenues – Schéma conceptuel final

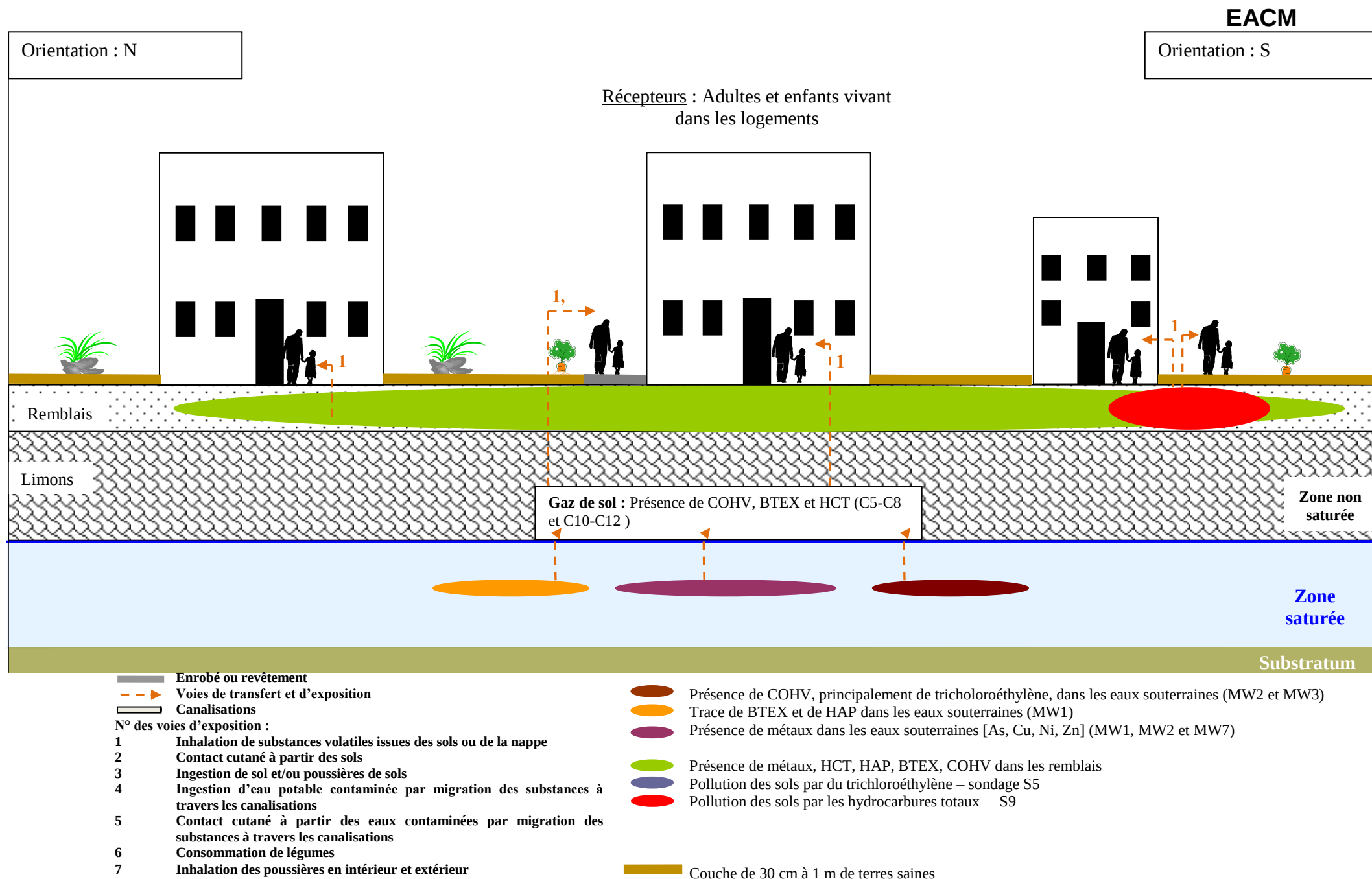
Cibles	Voies d'exposition	Scénario retenu	Justification
Enfants et adultes habitant les logements	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'intérieur des logements	OUI	Des polluants ont été détectés dans les gaz de sols.
	Inhalation de vapeurs en provenance des sols et des gaz du sol à l'extérieur des logements	OUI	Des polluants ont été détectés dans les gaz de sols.
	Inhalation de poussières	NON	Présence d'une barrière physique entre les pollutions résiduelles et les futurs usagers.
	Ingestion de sol, de poussières		
	Ingestion d'eau souterraine	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Ingestion d'eau contaminée par migration des substances à travers les canalisations	NON	Les futures canalisations ne traverseront pas les zones de pollution résiduelle.
	Ingestion de légumes	NON	Présence d'une barrière physique entre les pollutions résiduelles et les futurs usagers.
	Contact cutané à partir des sols	NON	Présence d'une barrière physique entre les pollutions résiduelles et les futurs usagers.
	Contact cutané à partir des eaux souterraines	NON	L'utilisation des eaux souterraines est proscrite.
	Contact cutané à partir des eaux contaminées par migration des substances à travers les canalisations	NON	Les futures canalisations ne traverseront pas les zones de pollution résiduelle.

Les jardiniers chargés de l'entretien des espaces verts ne sont plus considérés comme une cible car il a été considéré que la totalité du site était recouverte par une barrière physique (dalle, enrobé ou 30 cm à 1 m de matériaux sains).

Tableau n° 31 : Synthèse des substances et des voies d'exposition retenues – Schéma conceptuel final

Paramètres	Ingestion de légumes	Inhalation de vapeurs	Inhalation de poussières et ingestion de sol	Ingestion d'eau contaminée	Contact cutané à partir des sols	Contact cutané à partir d'eau contaminée	Justification
Métaux							
Métaux (hors mercure)	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composés non volatils et présence d'une barrière physique
Mercure	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	Composé volatil et présence d'une barrière physique
Hydrocarbures							
Hydrocarbures C5-C16	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	Composé volatil détecté et présence d'une barrière physique
Hydrocarbures C16-C40	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composé non volatil et présence d'une barrière physique
HAP							
HAP (hors naphtalène)	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composés non volatils et présence d'une barrière physique
BTEX							
Benzène	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	Composé volatil et présence d'une barrière physique
Toluène	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	
Xylène	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	
COHV							
1,1-Dichloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	Composé volatil et présence d'une barrière physique
1,1,1 trichloroéthane	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	
Chlorure de Vinyle	NON	NON	NON	NON	NON	NON	
Cis 1,2 dichloroéthylène	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	
cis-1,2-Dichloroéthène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	
Tétrachloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	
Trans-1,2-Dichloroéthylène	NON	NON	NON	NON	NON	NON	
Trichloroéthylène	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	

Le schéma ci-après présente les différentes voies d'exposition retenues après la mise en place des mesures de gestion de la pollution au droit du site.



5.8 Contrôle de l'efficacité et suivi des mesures de gestion

Les bords et le fond de fouille de la source de pollution concentrée par les COHV feront l'objet d'un échantillonnage destiné à définir les caractéristiques chimiques des matériaux destinés à rester sur site et feront l'objet si besoin d'un confinement, constitué d'un géotextile et d'une dalle béton ou d'un enrobé bitumineux.

Par ailleurs, la mise en œuvre de la couverture sur 30 cm à 1 m de terres saines au droit des espaces verts devra être vérifiée par un plan topographique réalisé avant et à l'issue des travaux.

Une analyse des matériaux d'apport sera réalisée afin de vérifier leur caractère sain¹.

La mise en œuvre d'un vide sanitaire au droit des logements devra également être vérifiée.

5.9 Validation du plan de gestion

L'analyse des risques résiduels (ARR) est l'étude des risques sanitaires engendrés par les pollutions encore en place (résiduelles) après la mise en œuvre des mesures de gestion. Cette ARR tient compte des teneurs résiduelles et des mesures mises en œuvre pour limiter l'exposition des populations, comme par exemple le confinement.

¹ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

6 ANALYSE DES RISQUES RÉSIDUELS PRÉDICTIVE

6.1 Rappel des substances retenues

Le plan de gestion prévoit le retrait de la source de pollution concentrée au trichloroéthylène, la couverture de la totalité du site par une dalle béton, de l'enrobé ou 30 cm à 1 m de matériaux sains et la mise en place d'un vide aéré au droit des futurs logements.

Ainsi les voies d'exposition par ingestion de sol, inhalation de sol et contact cutané sont supprimées.

Seuls les polluants volatils sont donc retenus :

- Dans les gaz de sol :
 - Hydrocarbures C5-C16 (à l'exception des fractions aliphatiques C8-C10 et des fractions aromatiques C8-C10 et C10-C12) ;
 - BTEX : Benzène, toluène, xylènes ;
 - COHV : Cis-1,2-dichloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthylène et trichloroéthylène ;
- Dans les sols : mercure.

Les autres polluants volatils mis en évidence dans les sols n'ont pas été retenus car ils n'ont pas été détectés dans les gaz du sol ou en concentrations inférieures à la VGAI¹.

Les polluants volatils mis en évidence dans les eaux souterraines n'ont pas été retenus car ils ont été recherchés dans les gaz du sol.

Les prélèvements réalisés sur les gaz du sol par Tauw en 2008 et par URS en 2009 ont été effectués avant travaux de démolition, de purge des fondations et de gestion de la pollution. Ils n'ont donc pas été retenus dans cette étude car ils ne sont pas représentatifs de l'état actuel du site.

6.2 Effets qualitatifs et quantitatifs des substances

6.2.1 Taux d'absorption des substances – Effets qualitatifs sur la santé humaine

Les paragraphes qui suivent présentent les différents effets qualitatifs des substances retenues précédemment.

L'évaluation de la toxicité de cette substance repose sur la base de nombreuses études expérimentales chez l'animal ou d'études *in vitro* portant notamment sur les mécanismes cancérogènes.

Les effets qualitatifs décrits dans les paragraphes qui suivent sont tirés de la littérature. Il convient de souligner avec insistance le fait que ces effets ne surviennent pas systématiquement lors de l'exposition aux substances mais seulement pour certaines concentrations et certaines fréquences d'exposition.

Sources :

- Site internet de l'INERIS et principalement les fiches toxicologiques : www.ineris.fr;
- Site internet de l'INRS et principalement les fiches toxicologiques : www.inrs.fr.

¹ Valeur Guide de l'Air Intérieur

➤ Hydrocarbures

Les informations relatives à la toxicité des hydrocarbures sont principalement extraites du manuel « Re-evaluation of human toxicological maximum permissible risk levels – RIVM – Mars 2001 ».

Ces composés peuvent pénétrer dans l'organisme par toutes les voies d'exposition. Néanmoins, seule la fraction C5-C16 est volatile et susceptible de pénétrer dans l'organisme par inhalation. En particulier, la fraction C5-C12 regroupe des composés particulièrement volatils.

Plusieurs études ont permis d'établir un certain nombre d'effets toxicologiques dus aux hydrocarbures en C5-C40. Parmi ceux-ci, on peut citer des troubles liés à une exposition aiguë tels que des problèmes pulmonaires et du système nerveux central en cas d'inhalation ou d'ingestion, mais aussi des irritations cutanées, une photosensibilité et une dermatose.

Une exposition chronique par inhalation peut également provoquer des effets pathologiques au niveau des reins et des poumons.

Les études épidémiologiques sur l'homme ont montré que les hydrocarbures C5-C40 peuvent être responsables d'un accroissement des cancers des os, du cerveau, de la vessie ou encore de la peau pour des personnes très exposées.

➤ Composés organo-halogénés volatils (COHV)

Comme de nombreux solvants, la plupart des solvants halogénés sont nocifs et irritants. A forte dose, l'inhalation ou l'ingestion de solvants chlorés provoque une dépression du système nerveux central (de la simple ébriété au coma profond) avec des atteintes pulmonaires, cardiaques, rénales, hépatiques. Des irritations cutanées peuvent être observées après un contact prolongé avec le solvant.

La toxicité chronique des solvants chlorés se manifeste par des atteintes du système nerveux dont les symptômes sont des céphalées, des troubles de la mémoire, des incoordinations motrices, des asthénies... Ces effets peuvent durer longtemps et la récupération des facultés, quand elle est possible, est lente.

Cependant, ces effets sur la santé sont à différencier en fonction du type de molécule (nombre et position des atomes d'halogène, type de chaîne hydrocarbonée...). Ainsi, quelques solvants halogénés sont susceptibles de provoquer un cancer chez les utilisateurs, notamment le chloroforme et le tétrachlorure de carbone, mais aussi le trichloroéthylène.

– Trichloroéthylène

Le trichloroéthylène inhalé a pour organe cible le système nerveux central. Les principaux symptômes après exposition orale ou inhalatoire sont ceux d'une dépression du système nerveux central (hypotonie musculaire, perte de réflexes, coma) associés à une irritation des yeux et du tractus respiratoire.

L'intoxication aiguë par ingestion est marquée par l'apparition de problèmes digestifs, neurologiques, cardiaques et respiratoires.

L'intoxication aiguë par inhalation est à l'origine d'une dépression de la conscience avec atteinte pulmonaire.

L'intoxication chronique du trichloroéthylène peut induire les effets suivants : céphalées, léthargie, somnolence, anesthésie, vertiges, nausées, sécheresse de la gorge, irritation oculaire. Une légère altération de la fonction hépatique et une légère atteinte rénale ont été observée. Par ingestion, des troubles variés ont été observés mais aucune relation causale n'a été démontrée.

- 1,1,1-trichloroéthane

L'exposition chronique aux vapeurs de 1,1,1-trichloroéthane est à l'origine d'irritations cutanée, oculaire et respiratoire.

- Cis-1,2-dichloroéthylène

La pénétration du composé dans l'organisme se fait principalement par voie pulmonaire et dans une moindre mesure par voie orale.

Il a été montré qu'environ 75% de la quantité de 1,2-dichloroéthylène inhalée étaient absorbés par les poumons.

La distribution du composé dans l'organisme n'est pas connue mais des lésions hépatiques et cardiaques constatées laissent penser à une diffusion au niveau de ces tissus.

Aucune donnée de toxicologie subchronique ou chronique concernant le 1,2-dichloroéthylène n'est disponible chez l'homme.

- BTEX

- Benzène

L'atteinte de la moelle osseuse est un des tous premiers signes de la toxicité chronique du benzène : anémie aplasique ou syndrome myéloprolifératif.

L'anémie aplasique peut, évoluer vers un syndrome myéloprolifératif puis une leucémie du fait de l'altération des cytokines et de la présence d'anomalies chromosomiques.

La plupart des effets sanguins : anémie aplasique, pancytopenie, thrombocytopénie, granulopénie, lymphopénie et leucémie ont été associés à des expositions par inhalation.

- Toluène

La toxicité aiguë du toluène est faible mais il a comme organe cible le système nerveux central.

Par inhalations, il peut induire maux de têtes, vertiges, irritations des muqueuses et somnolence. Il est aussi un irritant pour la peau, des muqueuses et du système respiratoire.

La toxicité chronique à des concentrations élevées peut montrer des effets neurologiques sévères comportant des dysfonctionnements cérébraux et cognitifs tels que tremblement, ataxie, troubles de la mémoire ainsi qu'une atrophie du cervelet.

- Xylènes

Le xylène a un effet nocif sur le cerveau. Des niveaux d'expositions élevées pour des périodes mêmes courtes peuvent entraîner des maux de tête, un défaut de coordination des muscles, des vertiges, la confusion et des pertes de sens de l'équilibre.

Des expositions à des taux élevés pendant des courtes périodes de temps peuvent également occasionner une irritation de la peau, des yeux, du nez et de la gorge, des difficultés respiratoires, des problèmes pulmonaires, une augmentation des temps de réaction, des pertes de mémoires, des irritations d'estomac et des altérations du fonctionnement de foie et des reins.

➤ Mercure

Nota : En l'absence de spéciation du mercure dans les échantillons de sols prélevés, la forme de mercure retenue dans cette ARR est le mercure élémentaire. Ce choix est justifié par 2 éléments tirés de la fiche toxicologique de l'INERIS (2010) :

- Volatilité du mercure élémentaire : « *Le mercure élémentaire et les composés organiques du mercure sont volatils. Les composés inorganiques le sont très peu* ».
- Usage du mercure élémentaire : « *Le mercure élémentaire est un métal liquide à température ambiante. Il intervient au cours de plusieurs types de procédés industriels (peintures, batteries, industries chimiques, etc.)* ».

Chez l'homme, le mercure élémentaire est distribué dans tout le corps et s'accumule prioritairement dans les reins et le système nerveux central.

Une exposition à long terme au mercure élémentaire provoque des convulsions, une diminution de l'activité motrice et des réflexes musculaires et des maux de tête. Plus l'exposition est importante et longue, plus les effets sont sévères et peu réversibles. On observe également une diminution de la capacité psychomotrice et de la neurotransmission ainsi qu'une modification de la personnalité.

L'exposition par voie orale au mercure élémentaire induit des troubles cardiovasculaires, gastro-intestinaux mais surtout neurologiques et rénaux. Les effets de la toxicité du mercure élémentaire sur le rein se traduisent par une protéinurie¹ accompagnée de lésions du tube proximal² puis du tube terminal.

➤ Synthèse : voies d'exposition, organes cibles et symptômes

Le tableau suivant synthétise pour chaque voie pertinente retenue dans le cadre de l'évaluation des risques, le taux d'absorption et l'organe cible.

¹ Élévation du taux de protéines excrétées par le rein supérieur

² Le plus près du centre du corps

Tableau n° 32 : Synthèse de la toxicologie des substances retenues

Composé	N° CAS	Cancérogénicité		Voies et types d'exposition	Taux d'absorption pour la voie considérée	Organe cible
		Classe IARC ¹	Classe CE ²			
Hydrocarbures	-	-	-	Inhalation	50%	Reins, poumons
Benzène	71-43-2	1	1	Inhalation	50%	Système hématopoïétique
Toluène	108-88-3	3	-	Inhalation	50%	SNC
Xylènes	1330-20-7	3	-	Inhalation	62-64 %	SNC, foie, sang, poumons
Trichloroéthylène	79-01-6	1	2	Inhalation	31-79% (animal)	SNC
Cis-1,2-dichloroéthylène	156-59-2	-	-	Inhalation	75%	SNC, foie
1,1,1-trichloroéthylène	71-55-6	3	-	Inhalation	-	-
Mercure	7439-97-6	3	-	Inhalation	75-85%	SNC, rein, cardio-vasculaire

6.2.2 Effets quantitatifs – Relation dose/effet

Les données quantitatives relatives aux substances identifiées et retenues dans l'étude ou valeurs toxicologiques de référence (VTR) sont présentées dans le tableau ci-après. Ces données sont extraites des différentes informations recueillies auprès des organismes suivants :

- INERIS (www.ineris.fr) ;
- INRS (www.inrs.fr) ;
- US-EPA (www.epa.gov) ;
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry).

➤ Préambule

Les effets liés à une exposition à une substance sont de deux natures :

- Effets à seuils ;
- Effets sans seuil.

On parle d'effet à seuil lorsque l'effet survient au-delà d'une dose administrée, pour une durée d'exposition déterminée à une substance isolée. L'intensité des effets croît alors avec l'augmentation de la dose administrée. En deçà de cette dose, on considère que l'effet ne surviendra pas. Ce sont principalement les effets non cancérogènes qui sont classés dans cette famille.

¹ Ou CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer :

Groupe 1 : L'agent est cancérogène pour l'homme

Groupe 2A : L'agent est probablement cancérogène pour l'homme : indices limités de cancérogénicité chez l'homme et indices suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire

Groupe 3 : L'agent ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme

Groupe 4 : L'agent n'est probablement pas cancérogène pour l'homme

² Communauté Européenne :

Catégorie 1 : Substance que l'on sait être cancérogène pour l'homme

Catégorie 2 : Substance devant être assimilée à une substance cancérogène pour l'homme

Catégorie 3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effet cancérogène possible

Les effets sans seuil correspondent principalement aux effets cancérogènes. Ils sont susceptibles de survenir quelle que soit la dose d'exposition.

En conséquence, les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), valeurs nécessaires pour évaluer le risque auquel sont soumises les personnes fréquentant le site, prennent la forme :

- D'une Dose Journalière Tolérable (DJT, nomenclature OMS) pour les effets à seuil ;
- D'un Excès de Risque Unitaire (ERU) pour les effets sans seuil, valeur s'exprimant comme l'inverse d'une dose d'exposition et représentant la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer l'effet s'il est exposé à une unité de dose ou de concentration toxique.

En outre, en l'absence à ce jour de procédure établie pour la construction d'une VTR pour la voie cutanée, et conformément aux recommandations du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, aucune transposition pour cette voie à partir de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire n'a été réalisée.

➤ VTR retenues

L'ensemble des sources d'information citées ci-dessus a été consulté et les seuils ou valeurs ont été sélectionnées selon la méthodologie présentée par la note d'information 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. Les valeurs toxicologiques de référence sont reportées dans les tableaux ci-après.

▪ Hydrocarbures

Les données du MassDEP (Massachusetts Department of Environmental Protection) précisent les valeurs toxicologiques de référence pour les différentes fractions d'hydrocarbures en distinguant les fractions aromatiques ou aliphatiques. Cependant, dans le cas où la VTR n'est pas précisée par le MassDEP, les données du TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group) sont retenues.

Tableau n° 33 : VTR retenues pour les hydrocarbures

	VTR effets à seuil	VTR effets sans seuil
Composé	Inhalation (mg/m ³)	Inhalation ((mg/m ³) ⁻¹)
Hydrocarbures aliphatiques C5-C8	3	Aucune VTR sans seuil n'est connue
Hydrocarbures aliphatiques C9-C16	0,2	
Hydrocarbures aliphatiques C17-C18	0,2	
Hydrocarbures aliphatiques C19-C36	-	
Hydrocarbures aliphatiques >C35	-	
Hydrocarbures aromatiques C6-C7	0,4	
Hydrocarbures aromatiques C7-C8	0,4	
Hydrocarbures aromatiques C9-C10	0,05	
Hydrocarbures aromatiques C11-C16	0,05	
Hydrocarbures aromatiques C17-C22	0,05	
Hydrocarbures aromatiques C23-C35	-	

▪ BTEX

Le tableau ci-dessous présente les VTR retenues pour les BTEX.

Tableau n° 34 : VTR retenues pour les BTEX

	VTR effets à seuil	VTR effets sans seuil
Composé	Inhalation (mg/m ³)	Inhalation ((mg/m ³) ⁻¹)
Benzène	0,00975 (ATSDR, 2007, FS=10)	2,6.10 ⁻² (ANSES, 2013)
Toluène	3 (ANSES, 2010)	-
Ethylbenzène	1,5 (ANSES, 2016)	2,5.10 ⁻³ (OEHHA, 2007)
Xylènes	0,2205 (ATSDR, 2007, FS=300)	-

- COHV

Le tableau ci-dessous présente les VTR retenues pour les COHV

Tableau n° 35 : VTR retenue pour les COHV

Composé	Numéro CAS de la substance	Effets à seuil	Effets sans seuil
		Inhalation (mg/m ³)	Inhalation ((mg/m ³) ⁻¹)
Trichloréthylène	79-01-6	0,002 (US EPA, 2011)	4,1.10 ⁻³ (US EPA, 2011)
1,1,1-Trichloroéthane	71-55-6	1 (OEHHA, 2008, FS=300)	-
Cis-1,2-dichloroéthylène	156-59-2	0,06 (RIVM, 2009)	-

- Mercure

Le tableau ci-dessous présente la VTR retenue pour le mercure.

Tableau n° 36 : VTR retenue pour le mercure

Composé	Numéro CAS de la substance	Effets à seuil	Effets sans seuil
		Inhalation (mg/m ³)	Inhalation ((mg/m ³) ⁻¹)
Mercure	7439-97-6	3.10 ⁻⁵ (OEHHA, 2008, FS=300)	-

6.3 Quantification de l'exposition

6.3.1 Généralités

L'Analyse des Risques Résiduels pour la santé humaine est notamment réalisée à l'aide :

- Des formules de détermination de la Dose Journalière d'Exposition, décrites au paragraphe suivant ;
- De la version 2016 du logiciel MODUL'ERS distribué par l'INERIS.

MODUL'ERS est un outil permettant de faire le lien entre l'étape de définition du schéma conceptuel et celle de l'évaluation prospective des expositions et des risques, à partir d'une bibliothèque de modules prédéfinis. L'utilisateur peut choisir entre les différents mécanismes de transfert de la source de contaminants vers différents milieux. Il peut aussi choisir entre plusieurs approches de modélisation (Johnson & Ettinger, Volasoil,...) intégrant des variables mathématiques distinctes.

6.3.2 Détermination théorique de la Dose Journalière d'Exposition

Pour la voie respiratoire, pour des expositions de longues durées, la dose d'exposition est généralement remplacée par la concentration moyenne inhalée par jour, retranscrite par la formule suivante :

$$CI = \left(\sum (C_i * t_i) \right) \frac{T * F}{T_m}$$

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³ ou µg/m³)

C_i : Concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i

t_i : fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée

T : Durée d'exposition (années)

F : Fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée

6.3.3 Concentrations prises en compte

Ainsi, les concentrations prises en compte pour l'inhalation de polluants à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments sont les concentrations maximales analysées dans les gaz du sol par EACM. Pour le mercure, seul composé volatil détecté dans les sols et non recherché dans les gaz du sol, la teneur maximale mise en évidence dans les sols lors des campagnes d'investigations menées sur le site depuis 2004 a été retenue.

Les concentrations obtenues dans les gaz du sol sont plus représentatives des concentrations dans l'air que celles obtenues par modélisation à partir des concentrations obtenues dans les eaux souterraines ou le sol. En effet, les gaz du sol sont un milieu intégrateur des parts de polluants volatilisés depuis tous les compartiments de l'environnement.

Nota : Les concentrations mises en évidence dans les gaz du sol par Tauw en 2008 et URS en 2009 n'ont pas été retenues dans cette étude de risques car ces valeurs ont été mesurées avant démolition des bâtiments, purge des fondations et travaux de gestion de la pollution. Ces valeurs ne sont donc pas représentatives de l'état actuel du site.

EACM recommande à l'EPF de réaliser de nouvelles campagnes de prélèvements et d'analyses des gaz du sol afin de compléter les données actuelles.

Les concentrations retenues sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Tableau n° 37 : Concentrations retenues

Composé	Concentration maximale dans les gaz du sol (mg/m³)
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	0,153
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	0,065
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	0,065
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	0,004
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	0,01
Cis-1,2-dichloroéthylène	0,007
1,1,1-trichloroéthane	0,097
Trichloroéthylène	0,358
Benzène	0,004
Toluène	0,01
Xylènes	0,005
Composé	Concentration maximale dans les sols (mg/kg)
Mercure	0,37

6.3.4 Concentrations dans l'air intérieur

Les concentrations en composés volatils présents dans les sols du site dans l'air intérieur sont déterminées par modélisation à l'aide du logiciel MODUL'ERS, en considérant, les concentrations présentées au paragraphe 6.3.3. Le modèle de simulation utilisé dans le cadre de cette étude est le modèle Volasoil.

Les paramètres d'entrée pris en compte dans le cadre de cette modélisation sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau n° 38 : Paramètres d'entrée de la modélisation

Paramètres d'entrée	Valeurs retenues	Justification
Caractéristiques de l'espace ventilé		
Surface du vide sanitaire (m ²)	10	Il a été considéré une superficie correspondant à la plus petite pièce du futur bâtiment et un espace ventilé de 1 m de hauteur.
Volume du vide sanitaire (m ³)	10	
Taux de renouvellement de l'air (par jour)	36	Valeur recommandée par le rapport d'étude INERIS « Etude des modèles d'évaluation de l'exposition et des risques liés aux sols pollués / Modélisation du transfert de vapeurs du sous-sol ou du vide sanitaire vers l'air intérieur »
Épaisseur de la dalle béton (m)	0	Il a été considéré qu'aucune dalle béton n'est présente sous le vide sanitaire.
Fraction surfacique occupée par les ouvertures	5.10 ⁻⁵	Donnée issue du RIVM
Nombre d'ouvertures dans la dalle	0,2	Valeur par défaut du logiciel Modul'ERS
Différence de pression sol/bâtiment (Pa)	2	Valeur par défaut du logiciel Modul'ERS
Perméabilité du sol à la vapeur (m ²)	10 ⁻¹²	Perméabilité des sables terreux
Caractéristiques des sols		
Nature des sols	Sables terreux	Terrains rencontrés lors des sondages
Distance entre la pollution des sols et les fondations	0,05 m	Epaisseur de la couche de forme
Porosité	0,25	Lithologie type « sables terreux » selon Johnson et Ettinger.
Teneur en eau	0,15	

L'utilisation du modèle Volasoil, repris numériquement par le logiciel MODUL'ERS, révèle les concentrations suivantes à l'intérieur du bâtiment :

Tableau n° 39 : Concentrations obtenues dans l'air intérieur

Paramètre	Concentration dans l'air intérieur – enfant et adulte (mg/m ³)
	Polluants issus des gaz du sol
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	4,06.10 ⁻⁶
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	1,73.10 ⁻⁴
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1,73.10 ⁻⁴
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	1,06.10 ⁻⁵
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	2,66.10 ⁻⁵
Cis-1,2-dichloroéthylène	1,66.10 ⁻⁵
1,1,1-trichloroéthane	2,34.10 ⁻⁴
Trichloroéthylène	9,00.10 ⁻⁴
Benzène	1,05.10 ⁻⁵
Toluène	2,51.10 ⁻⁵
Xylènes	1,19.10 ⁻⁵
Paramètre	Polluant issu des sols
Mercure	2,96.10 ⁻⁷

Les rapports de modélisation de la volatilisation des substances présentes dans les gaz du sol et le sol (pour le mercure) dans l'air intérieur pour les adultes et les enfants qui fréquenteront le site sont présentés en **annexe 10**.

6.3.5 Concentrations dans l'air extérieur

Les concentrations en polluants dans l'air extérieur sont estimées à partir des concentrations dans les gaz du sol et dans les sols (pour le mercure) présentées dans le paragraphe 6.3.3 par modélisation de la volatilisation des substances à l'aide du logiciel MODUL'ERS.

Les paramètres d'entrée utilisés pour la modélisation de la volatilisation des substances présentes dans les sols sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau n° 40 : Paramètres d'entrée de la modélisation

Paramètre	Valeurs retenues	Justification
Vitesse du vent	2 m/s	Valeur par défaut
Distance entre la pollution des sols et les fondations	0,05 m	Epaisseur de la couche de forme
Longueur de la zone polluée	110 m	Plus grande longueur du site
Hauteur de la population réceptrice : Adulte Enfants	1,7 m 1 m	Taille moyenne d'un homme adulte Taille moyenne pour un enfant de 4 ans
Nature des sols	Sables terreux	Lithologie observée lors des sondages de sol
Porosité	0,25	Lithologie de type « sables terreux » selon Johnson et Ettinger
Teneur en eau	0,15	

Le rapport de modélisation de la volatilisation des substances présentes dans les gaz du sol et dans les sols (pour le mercure) dans l'air extérieur pour les adultes et les enfants qui fréquenteront le site est présenté en **annexe 11**.

Les concentrations dans l'air déterminées par la modélisation sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau n° 41 : Concentrations obtenues dans l'air extérieur

Paramètre	Concentration dans l'air extérieur (mg/m ³)	
	Enfant	Adulte
	Polluants issus des gaz du sol	
Hydrocarbures aliphatiques >C5-C6	7,88.10 ⁻¹⁰	4,64.10 ⁻¹⁰
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	2,27.10 ⁻¹⁰	1,33.10 ⁻¹⁰
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	8,91.10 ⁻¹¹	5,24.10 ⁻¹¹
Hydrocarbures aromatiques >C6-C7	2,88.10 ⁻⁹	1,69.10 ⁻⁹
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	6,04.10 ⁻⁹	3,55.10 ⁻⁹
Cis-1,2-dichloroéthylène	9,95.10 ⁻⁹	5,85.10 ⁻⁹
1,1,1-trichloroéthane	1,88.10 ⁻⁸	1,11.10 ⁻⁸
Trichloroéthylène	1,39.10 ⁻⁷	8,16.10 ⁻⁸
Benzène	3,03.10 ⁻⁹	1,78.10 ⁻⁹
Toluène	5,25.10 ⁻⁹	3,09.10 ⁻⁹
Xylènes	2,65.10 ⁻⁹	1,56.10 ⁻⁹
Paramètre	Polluant issu des sols	
Mercure	7,95.10 ⁻¹⁰	4,68.10 ⁻¹⁰

6.3.6 Période moyenne, durée, fréquence et fraction du temps d'exposition des populations : paramètres Tm, T, F et ti

➤ Durée d'exposition

Dans le cadre d'un scénario résidentiel, il est pris en compte les durées d'exposition suivantes :

- 6 ans pour un enfant ;
- 24 ans pour un adulte résidant sur le site. Ce chiffre correspond à 30 années d'exposition totale moins les 6 années d'exposition en tant qu'enfant, considérant que la durée moyenne de vie au même endroit est de 30 années¹.

Une durée d'exposition de 70 ans a été prise en compte dans le paragraphe incertitudes.

➤ Fréquence d'exposition (F)

La fréquence d'exposition F correspond au nombre de jours passés sur site par an. Elle est étroitement liée au scénario étudié.

Dans une hypothèse sécuritaire, une fréquence d'exposition de 365 j/an a été retenue.

➤ Fraction de temps d'exposition (ti)

Dans le cas d'un scénario résidentiel, la durée quotidienne de présence effective sur le site peut être appréciée au regard des données statistiques proposées par l'US EPA dans son guide « Exposure Factor Handbook » et présentées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau n° 42 : Paramètres d'exposition quotidienne pour un adulte

Paramètre	Fraction du temps quotidien
Temps passé en dehors du domicile	30 % soit 7 h/j
Temps passé au domicile (à l'intérieur)	54 % soit 13 h/j
Temps passé au domicile (à l'extérieur)	8 % soit 2 h/j
Trajet (dont parking et promenade)	8 % soit 2 h/j

Tableau n° 43 : Paramètres d'exposition pour un enfant

Paramètre	Fraction du temps quotidien
Temps passé au domicile	77 % soit 18,5 h/j
Temps passé en dehors du domicile (école, nourrisse ou garderie)	16 % soit 4 h/j
Promenade extérieure	7% soit 1,5 h/j

¹ 90^{ème} percentile de la distribution des durées de résidence en France, d'après les abonnements EDF

6.3.7 Poids des individus

Il est pris en compte les poids corporels suivants :

- 70 kg pour un adulte, soit une valeur médiane située entre le poids moyen d'un homme (74 kg) et celui d'une femme (61 kg),
- 15 kg pour un enfant, soit une valeur moyenne pour un enfant de 3 ans.

Il s'agit des valeurs standards communément utilisées dans ce type d'étude.

6.3.8 Calcul des DJE et CI

Les feuilles de calcul utilisées pour la détermination des concentrations inhalées (CI) et des doses journalières d'exposition (DJE) pour les utilisateurs du site sont présentées en **annexe 12**.

6.4 **Caractérisation des risques**

Sur la base des données des paragraphes précédents, la caractérisation des risques peut être réalisée ou du moins évaluée.

6.4.1 Critères d'évaluation

Pour les substances à effets à seuil, l'expression déterministe de la survenue d'un effet toxique dépend du dépassement d'une valeur, la dose journalière tolérable (DJT).

Ainsi, les doses journalières auxquelles sont exposées les personnes (DJE), en tenant compte des apports de l'environnement, doivent être inférieures à la dose journalière admissible (DJA) ou tolérable (DJT).

La possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible est ainsi représentée par un indice de risque IR, défini par :

$$IR = \frac{DJE}{DJT}$$

où, pour le cas présent :

- La DJE correspond à la quantité de polluant ingérée
- La DJT correspond à la valeur toxicologique de référence pour la voie d'exposition considérée.

Lorsque cet indice est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, même pour les populations sensibles (personnes âgées, nouveaux nés). Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue.

6.4.2 Détermination des risques

Les feuilles de calcul utilisées pour la détermination des concentrations inhalées (CI) et des doses journalières d'exposition (DJE) pour les utilisateurs du site sont présentées en **annexe 12**.

Nota : Les chiffres (1) et les lettres (a) indiqués à côté de chaque substance correspondent aux organes cibles identifiés pour les substances pour l'inhalation et l'ingestion. En effet, les organes cibles ne sont pas les mêmes selon les substances et selon le mode de transfert.

▪ Effet à seuil

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risques pour les effets à seuil (quotients de danger) pour les enfants et adultes habitant les logements collectifs.

Tableau n° 44 : Quotients de danger – Habitants des logements collectifs

Paramètre	Inhalation intérieur		Inhalation extérieur		Inhalation intérieur + extérieur		Valeur de référence
	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	
1,1,1-trichloroéthane	1,81E-04	1,27E-04	5,15E-07	3,03E-07	1,81E-04	1,27E-04	1
Benzène (4)	8,29E-04	5,82E-04	2,70E-06	1,59E-06	8,31E-04	5,84E-04	
Cis/trans-1,2-dichloroéthylène (3) (5)	2,13E-04	1,50E-04	5,87E-07	3,45E-07	2,14E-04	1,50E-04	
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12 (1) (2)	6,65E-04	4,68E-04	2,21E-06	1,30E-06	6,68E-04	4,69E-04	
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6 (1) (2)	1,04E-04	7,34E-05	3,47E-07	2,04E-07	1,05E-04	7,36E-05	
Hydrocarbures aliphatiques C6-C8 (1) (2)	4,44E-05	3,12E-05	1,47E-07	8,67E-08	4,45E-05	3,13E-05	
Hydrocarbures aromatiques C5-C7 (1) (2)	2,05E-05	1,44E-05	6,81E-08	4,01E-08	2,06E-05	1,44E-05	
Hydrocarbures aromatiques C7-C8 (1) (2)	5,12E-05	3,60E-05	1,70E-07	1,00E-07	5,14E-05	3,61E-05	
Toluène (3)	6,45E-06	4,53E-06	1,98E-08	1,16E-08	6,47E-06	4,55E-06	
Trichloroéthylène (3)	3,47E-01	2,44E-01	1,06E-03	6,26E-04	3,48E-01	2,44E-01	
Xylènes (1) (3) (5) (6)	4,17E-05	2,93E-05	1,16E-07	6,83E-08	4,18E-05	2,94E-05	
Mercure (2) (3) (7)	7,61E-03	5,34E-03	2,21E-06	1,30E-06	7,61E-03	5,35E-03	
Somme par organes cibles							
(1) Poumons					1,11E-03	7,81E-04	1
(2) Reins					8,68E-03	6,10E-03	
(3) SNC					3,56E-01	2,50E-01	
(4) Système hématopoïétique					1,01E-03	7,11E-04	
(5) Foie					4,37E-04	3,07E-04	
(6) Sang					2,23E-04	1,57E-04	
(7) Système cardio-vasculaire					7,79E-03	5,47E-03	

Les calculs de risques sanitaires mettent en évidence des quotients de danger inférieurs à 1, valeur limite définie par la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

- Effet sans seuil

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risques pour les effets sans seuil (excès de risque individuel) pour les enfants et adultes habitant les logements collectifs.

Tableau n° 45 : Excès de risque individuel – Habitants des logements collectifs

Paramètre	Inhalation intérieur		Inhalation extérieur		Inhalation intérieur + extérieur	Valeur de référence
	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant + Adulte	
Benzène	1,80E-08	5,06E-08	5,87E-11	1,38E-10	6,88E-08	10 ⁻⁵
Trichloroéthylène	2,44E-07	6,85E-07	7,48E-10	1,76E-09	9,32E-07	
SOMME	2,62E-07	7,36E-07	8,07E-10	1,90E-09	1,00E-06	

L'ARR pour les effets sans seuil montre que l'excès de risque individuel est inférieur au seuil de 10⁻⁵ défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

La somme des ERI est également inférieure au seuil de 10⁻⁵ défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

➤ Commentaires

Les calculs de risques mettent en évidence des quotients de dangers et des excès de risque individuel inférieurs aux seuils définis par la méthodologie nationale d'avril 2017, malgré la prise en compte d'hypothèses majorantes.

Le site est donc compatible avec un usage résidentiel sous réserve de la mise en œuvre des mesures de gestion présentées dans le plan de gestion et de la mise en œuvre d'un vide sanitaire sous les bâtiments d'une hauteur minimale de 1 m et d'un taux de renouvellement d'air minimal de 36/jour.

6.5 Discussion des résultats – Incertitudes

Ce paragraphe fait partie intégrante de l'ARR. Il permet d'apprécier les résultats en évaluant l'influence des hypothèses et valeurs retenues. Idéalement, ce paragraphe doit contenir des résultats de calcul de risque avec d'autres hypothèses.

Les incertitudes peuvent être liées :

- Aux hypothèses de travail ;
- Aux voies et aux valeurs d'exposition retenues dans le scénario étudié ;
- Aux résultats des investigations ;
- Aux données toxicologiques.

Les paragraphes qui suivent reprennent ces différentes sources d'incertitudes en évaluant leur impact sur les résultats.

➤ Les hypothèses de travail

Les évaluations de risque mises en œuvre dans cette étude sont liées aux hypothèses de travail choisies, en particulier en ce qui concerne le réaménagement du site et son utilisation future.

Les résultats présentés ne sont donc valables qu'à condition de respecter ces hypothèses et/ou de les mettre en œuvre.

➤ Choix des substances

Le choix des substances retenues pour les calculs de risques est fondé sur la comparaison des paramètres de toxicité et de concentration des polluants identifiés sur le site. La sélection des substances, même si elle induit une part de sous-estimation du niveau de risque par la non-prise en compte de l'ensemble des composés présents, est suffisamment large pour caractériser le niveau de risque le plus significatif et le plus pertinent.

Les teneurs correspondant au bruit de fond n'ont pas été retenues pour les calculs de risques. Cette approche sous-estime le niveau de risque global auquel sont soumises les cibles, mais permet de cerner précisément le niveau de risque associé uniquement au site.

➤ Durée d'exposition

Les paramètres relatifs aux durées d'exposition ont été choisis pour représenter le temps maximal de présence des individus sur le site.

La durée d'exposition retenue pour les enfants et adultes vivant sur le site a été estimée à 365 jours et ne tient pas compte de la possibilité de départs en vacances ou autre.

Dans une hypothèse sécuritaire, un calcul de risques a été réalisé avec une durée d'exposition de 70 ans.

Les grilles de calculs de risques sont jointes en **annexe 13**.

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risques pour les effets à seuil (quotients de danger) pour les enfants et adultes habitant les logements collectifs.

Tableau n° 46 : Quotients de danger – Habitants des logements collectifs –
Durée d'exposition de 70 ans

Paramètre	Inhalation intérieur + extérieur		Valeur de référence
	Enfant	Adulte	
Somme par organe cible			
(1) Poumons	1,11E-03	7,81E-04	1
(2) Reins	8,68E-03	6,10E-03	
(3) SNC	3,56E-01	2,50E-01	
(4) Système hématopoïétique	1,01E-03	7,11E-04	
(5) Foie	4,37E-04	3,07E-04	
(6) Sang	2,23E-04	1,57E-04	
(7) Système cardio-vasculaire	7,79E-03	5,47E-03	

Les calculs de risques sanitaires mettent en évidence des quotients de danger inférieurs à 1, valeur limite définie par la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Le tableau suivant présente les résultats des calculs de risques pour les effets sans seuil (excès de risque individuel) pour les enfants et adultes habitant les logements collectifs.

Tableau n° 47 : Excès de risque individuel – Habitants des logements collectifs – Durée d'exposition de 70 ans

Paramètre	Inhalation intérieur + extérieur	Valeur de référence
	Enfant + Adulte	
SOMME	2,23E-06	10⁻⁵

L'ARR pour les effets sans seuil montre que l'excès de risque individuel est inférieur au seuil de 10⁻⁵ défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

La somme des ERI est également inférieure au seuil de 10⁻⁵ défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

➤ Résultats des investigations

▪ Modélisation

Des phénomènes de transferts ont été modélisés du fait de l'absence de données sur la qualité de l'air ambiant. Cette approche induit des incertitudes liées d'une part, aux équations du modèle et à la modélisation elle-même et d'autre part, aux paramètres utilisés.

Par ailleurs, les modèles ne prennent pas en compte la dégradation naturelle des substances et la diminution des concentrations dans le temps, ni la diminution de la volatilisation lors des périodes de froid ce qui tend à majorer le risque.

▪ Résultats

Les incertitudes liées aux résultats des investigations proviennent en partie des conditions de réalisation des campagnes d'investigations et des incertitudes liées aux méthodes d'analyse du laboratoire.

Le choix des concentrations d'exposition a été réalisé en considérant les concentrations maximales en polluants dans les sols après gestion de la source de pollution. Ce choix majore l'exposition des personnes fréquentant le site.

➤ Données toxicologiques

Les valeurs de références trouvées dans la littérature n'ont pas fait l'objet d'une analyse critique sur leur détermination. Leur prise en compte par des organismes comme l'INERIS, l'US EPA et le RIVM nous a amené à considérer qu'elles offraient une fiabilité suffisante dans le cadre des connaissances scientifiques actuelles. Cependant, la détermination même des données toxicologiques de référence par les organismes spécialisés induit de nombreuses incertitudes, que ce soit à partir d'études sur l'homme ou sur les animaux. Ces incertitudes se traduisent en particulier par l'utilisation de facteurs d'incertitudes.

6.5.1 Évaluation de l'effet sanitaire de la dégradation des COHV

➤ Présentation de la dégradation des COHV en milieu naturel

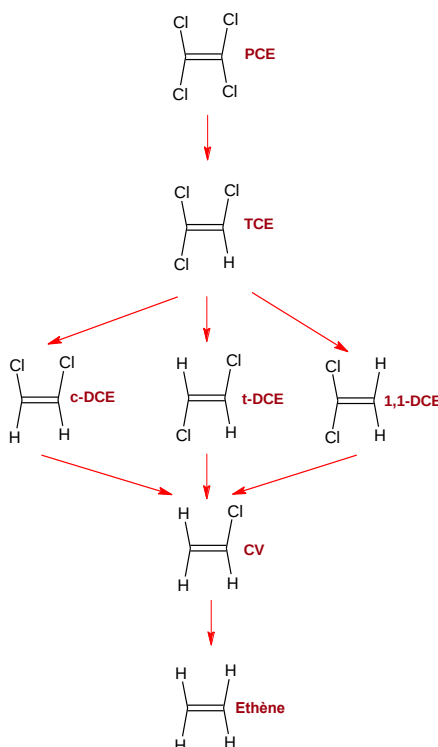
▪ Schéma général de la dégradation

Les composés organo-halogénés volatils (COHV) ont la capacité de se dégrader au cours du temps en fonction des caractéristiques physico-chimiques des sols et des eaux souterraines dans lesquels ils se situent.

En milieu naturel, les COHV subissent principalement une déchloration réduction séquentielle par hydrogénolyse (remplacement d'un atome de chlore par un atome d'hydrogène dans la molécule) selon la réaction suivante :



Le schéma séquentiel présenté ci-après détaille le chemin de dégradation des COHV à partir du tétrachloroéthylène (PCE). Il est à noter que le trichloroéthylène (TCE) se réduit à plus de 90% en cis-1,2-dichloroéthylène (c-DCE) en milieu naturel¹.



▪ Compétition entre les COHV et les autres composés

La dégradation des composés organiques chlorés est fortement influencée par le milieu, notamment par les conditions oxydo-réductrices présentes dans ce milieu. Il existe en effet une compétition possible entre les minéraux présents dans les sols (nitrates, manganèse, fer et sulfates) et les polluants lors de la réaction avec les donneurs d'électrons (principalement le dihydrogène issu de la

¹ d'après le *Guide méthodologique sur l'Atténuation Naturelle des composés organo-chlorés aliphatiques dans les aquifères*, Programme R&D MACAOH, Ademe, 2007, p. 52

fermentation des composés organiques). Le schéma suivant¹ détaille l'ordre de consommation des accepteurs d'électrons présents dans les sols :

Accepteurs d'électrons d'origine anthropique	ΔG^2	Accepteurs d'électrons naturels	ΔG
		Dénitrification	- 3 245
		Réduction du Manganèse IV	- 3 202
		Réduction du Fer III	- 2 343
Réduction du PCE ³	- 1 500		
Réduction du TCE ⁴	- 1 465		
Réduction du cis-1,2-DCE ⁵	- 1 166		
		Sulfate	- 514
		Méthanogénèse	- 136

En cas de compétition, il est donc possible que les COHV ne soient pas réduits à cause du manque de donneurs d'électrons, ayant déjà réagi avec les accepteurs précédents (nitrates, manganèse IV ou fer III). Dans une démarche maximaliste, aucune compétition entre les accepteurs d'électrons n'a été considérée afin d'obtenir la réduction maximale des COHV.

■ Cinétique de la dégradation des COHV

Le protocole USEPA EPA/600/R-98/128 de 1998 intitulé Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water décrit les cinétiques de réaction de biodégradation en conditions ferri-réductrices, sulfato-réductrices et méthanogènes – les principaux domaines redox de la dégradation des COHV – dans la phase aqueuse et pour des concentrations faibles en COHV. Le tableau suivant détaille les temps de demi-vie (temps mis pour atteindre une concentration égale à la moitié de la concentration initiale en composé étudié) pour les principaux COHV, obtenus en laboratoire dans des conditions optimales. Ces valeurs ne sont donc pas directement transposables sur un site pollué où de nombreux facteurs limitants modifient les constantes de réaction (disponibilité des donneurs d'électrons, proximité spatiale, ...) mais donne un ordre de grandeur pour les principaux COHV.

Tableau n° 48 : Temps de demi-vie obtenus en laboratoire pour les principaux COHV

	Dégradation du 1 ^{er} ordre - Temps de demi-vie (j)	
	Minimum	Maximum
Tétrachloroéthylène	358	721
Trichloroéthylène	321	1 654
1,1-dichloroéthylène	56	358
Cis-1,2-dichloroéthylène	27	1 386
Trans-1,2-dichloroéthylène	77	139
Chlorure de vinyle	56	2 875

On remarquera notamment une possible accumulation de chlorure de vinyle, composé organochloré présent en bout de chaîne et possédant un temps de demi-vie maximum beaucoup plus important que les composés « parents ».

¹ d'après *Biodégradation des solvants chlorés en conditions naturelles, mécanismes et caractérisation*. Synthèse bibliographique, S. DENYS, INERIS, 2004, p. 8

² Énergie libre de Gibbs représentant l'énergie libérée lors de la réaction. Une valeur négative correspond à une libération d'énergie vers le milieu extérieur.

³ Tétrachloroéthylène

⁴ Trichloroéthylène

⁵ Cis-1,2-dichloroéthylène

➤ Prévision quantitative de la dégradation des COHV

La modélisation de la dégradation utilise une approche maximaliste, c'est-à-dire qu'aucune compétition entre les COHV et les autres composés n'a été envisagée afin d'obtenir, à chaque étape de la dégradation, les concentrations maximales.

Dans une approche maximaliste, l'étude sanitaire doit donc tenir compte de la dégradation et de l'accumulation potentielle des composés organochlorés présents. Afin de maximiser les effets de chaque polluant présent initialement ou suite à la dégradation de composé « parent », il a été considéré une accumulation successive de chaque composé afin d'obtenir les concentrations maximales potentielles en COHV, compte tenu des données initiales.

Le tableau suivant détaille les concentrations maximales en COHV dans les gaz du sol en tenant compte de la dégradation des différents composés.

Tableau n° 49 : Évaluation quantitative de la dégradation des COHV – Gaz du sol

		PCE	TCE	cis-DCE	trans-DCE	1,1-DCE	CV
Données initiales	mg/m ³	0	0,358	0,007	0	0	0
Accumulation de TCE		-	0,358	0,007	0	0	0
Accumulation de cis-DCE		-	-	0,27	0	0	0
Accumulation de CV		-	-	-	-	-	0,175

Remarque : Il a été considéré que 100% du TCE se dégrade en cis-1,2-DCE, compte tenu du taux de dégradation du trichloroéthylène en isomères du dichloroéthylène.

Les concentrations en COHV à chaque étape de la dégradation ont été déterminées à partir de la formule suivante et des masses molaires suivantes :

$$C_F = C_P * M_F / M_P$$

avec : C_F : concentration en produit fils de la dégradation
 C_P : concentration en produit parent de la dégradation
 M_F : masse molaire du produit fils
 M_P : masse molaire du produit parent

Tableau n° 50 : Masses molaires de principaux COHV

Composé	Masse molaire (g/mol)
Tétrachloroéthylène	165,83
Trichloroéthylène	131,39
Dichloroéthylène	96,95
Chlorure de vinyle	62,50

➤ Évaluation sanitaire de la dégradation des COHV

La dégradation des COHV et les eaux souterraines dans les sols peut avoir une incidence sanitaire sur le devenir du site. C'est pourquoi une modélisation des concentrations en COHV en tenant compte des différentes étapes de la dégradation est nécessaire afin d'assurer la compatibilité du site avec le projet d'aménagement à chaque étape de la dégradation.

Les tableaux ci-après présentent les valeurs des quotients de danger et des excès de risque individuel, déterminées par la modélisation des concentrations inhalées à chaque étape de la dégradation comme détaillée au paragraphe précédent.

Les concentrations en polluants dans l'air intérieur ont été estimées à partir des concentrations sources maximales et par modélisation de la volatilisation des substances à l'aide du logiciel Modul'ERS développé par l'INERIS.

Les paramètres d'entrée utilisés pour la modélisation de la volatilisation des substances sont identiques à ceux utilisés précédemment.

Dans une hypothèse sécuritaire, une durée d'exposition de 70 ans a été retenue.

Les rapports de modélisation sont joints en **annexe 14** et les grilles de calculs de risques en **annexe 15**.

Les quotients de danger et les excès de risque individuel calculés dans le cas d'une accumulation de trichloroéthylène, puis de 1,2-dichloroéthylène, puis de chlorure de vinyle sont présentés dans les tableaux ci-après.

Tableau n° 51 : QD – Habitants des logements – Dégradation COHV

Paramètre	Inhalation intérieur + extérieur						Valeur de référence
	Accumulation de TCE		Accumulation de DCE		Accumulation de CV		
	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	
Somme par organes cibles							
(1) Poumons	1,11E-03	7,81E-04	1,11E-03	7,81E-04	1,11E-03	7,81E-04	1
(2) Reins	8,68E-03	6,10E-03	8,68E-03	6,10E-03	8,68E-03	6,10E-03	
(3) SNC	3,56E-01	2,50E-01	1,61E-02	1,13E-02	7,84E-03	5,51E-03	
(4) Système hématopoïétique	1,01E-03	7,11E-04	1,01E-03	7,11E-04	1,01E-03	7,11E-04	
(5) Foie	4,37E-04	3,07E-04	8,48E-03	5,96E-03	7,31E-03	5,13E-03	
(6) Sang	2,23E-04	1,57E-04	2,23E-04	1,57E-04	2,23E-04	1,57E-04	
(7) Système cardio-vasculaire	7,79E-03	5,47E-03	7,79E-03	5,47E-03	7,79E-03	5,47E-03	

Tableau n° 52 : ERI – Employés du site – Habitants des logements – Dégradation COHV

Paramètre	Enfants et adultes habitant les logements			Valeur de référence
	Inhalation intérieur + extérieur			
	Accumulation de TCE	Accumulation de DCE	Accumulation de CV	
SOMME	2,23E-06	1,53E-07	1,25E-06	10 ⁻⁵

➤ Conclusion

Quelle que soit l'étape de dégradation des COHV considérée (accumulation du trichloroéthylène, accumulation du cis-1,2-dichloroéthylène et accumulation du chlorure de vinyle), l'analyse des risques résiduels pour les effets à seuil montre que les quotients de danger liés aux différents paramètres sont inférieurs à 1, seuil défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

En ce qui concerne les effets sans seuil, les excès de risque individuel sont tous inférieurs à 10⁻⁵, seuil défini par la méthodologie nationale d'avril 2017.

6.5.2 Synthèse sur les incertitudes

D'une façon générale, le choix des différents paramètres est de considérer les situations les plus défavorables. Cette approche permet d'obtenir des résultats allant dans le sens d'une majoration du risque lié au site.

7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'Etablissement Public Foncier (EPF) Nord-Pas-de-Calais est propriétaire, depuis 2012, d'un site localisé aux 106 à 122 boulevard de Lyon à Roubaix (59). Le site, d'une superficie totale de 4 418 m², était occupé jusqu'en 2008 par la société BEKAERT CARDING SOLUTIONS qui y exerçait une activité de métallurgie et de traitement de surface.

Depuis 2004, plusieurs études environnementales et travaux ont été réalisés au droit de la zone d'étude pour le compte de l'ancien exploitant et l'EPF. Une pollution des sols et des eaux souterraines par les hydrocarbures et les COHV¹ a notamment été mise en évidence lors de ces différentes études.

Un plan de gestion a été réalisé dans le cadre de la cessation d'activité du dernier exploitant, déclarée le 30 juin 2008. L'usage alors considéré était un usage industriel. A la suite de ce plan de gestion, des travaux de gestion de la pollution identifiée ont été mis en œuvre en 2011 par l'entreprise ACLAGRO pour le compte de l'ancien exploitant et en 2017 par l'entreprise FERREIRA pour le compte de l'EPF.

La mairie de Roubaix envisage aujourd'hui l'aménagement de logements au droit du site. Aucun projet n'est à ce jour défini.

L'EPF Nord-Pas-de-Calais a mandaté EACM pour réaliser un diagnostic complémentaire sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol et un plan de gestion directeur. Ce diagnostic complémentaire a confirmé la pollution des eaux souterraines par les COHV et a mis en évidence une source de pollution concentrée par les COHV au droit du sondage S5 entre 0 et 0,7 m de profondeur au minimum et une pollution diffuse des remblais principalement par les métaux, les hydrocarbures et les COHV.

Sur la base du bilan coûts/avantages, des différentes mesures de gestion possibles et des résultats des investigations réalisées sur les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol, les mesures suivantes devront être mises en œuvre :

- L'excavation et l'évacuation en installation de stockage de déchets non dangereux des 300 m³ de matériaux les plus pollués par les COHV. Ce volume pourra être affiné par la réalisation d'analyses complémentaires avant ou pendant les travaux ;
- La mise en place d'une barrière physique entre les futurs usagers et les matériaux résiduels constituée :
 - o D'enrobé au droit des parkings ou des voiries ;
 - o De 30 cm à 1 m de matériaux sains² au droit des espaces verts séparés des matériaux résiduels par un géotextile ou un grillage avertisseur ;

¹ Composés Organiques Halogénés Volatils.

² 30 cm au droit des espaces verts, 50 cm au droit des potagers sans arbre fruitier et 1 m si des arbres fruitiers sont envisagés

³ On entend par terre saine tout matériau naturel de qualité physico-chimique conforme au bruit de fond pédogéochimique local. Les teneurs en métaux doivent être comprises dans la gamme du fond géochimique local et les teneurs en composés organiques doivent être inférieures aux limites de quantification du laboratoire.

Les terres saines doivent être caractérisées par l'analyse des paramètres suivants :

- 8 métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc),
- hydrocarbures C6-C10 et C10-C40,
- HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques),
- BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes),
- PCB (polychlorobiphényles),
- COHV (composés organo-halogénés volatils).

Néanmoins, un matériau ne respectant pas ces teneurs pourra être accepté sous réserve de la réalisation d'un calcul de risque sanitaire prouvant la compatibilité des teneurs du matériau avec l'usage du site destinataire dudit matériau.

- La mise en place d'un espace ventilé¹ au droit des logements. L'hypothèse d'un vide aéré au droit des logements de 1 m de hauteur avec un taux de renouvellement d'air de 36 par jour a été prise en compte dans le présent rapport. Toute modification de ces prescriptions est possible sous réserve de la vérification de leur compatibilité sanitaire par une analyse des risques résiduels.

Les canalisations d'eau potable devront être implantées dans les zones non polluées ou dans des remblais d'apports sains ou des canalisations de nature imperméable aux substances organiques devront être utilisées.

Une réflexion sur l'aménagement du site devra être menée afin d'éviter de construire les bâtiments au droit des pollutions résiduelles les plus élevées notamment à l'Est du site.

De plus, EACM recommande à l'EPF de réaliser une nouvelle campagne d'analyse des gaz du sol afin de compléter les données existantes.

Afin de valider les mesures de gestion proposées et la compatibilité sanitaire de l'état du site avec les usages futurs, une analyse des risques résiduels a été réalisée. Elle conclut à la compatibilité sanitaire du site avec les usages projetés sous réserve de la mise en œuvre de ces mesures de gestion.

Le présent plan de gestion pourra être affiné avec les résultats d'analyses de futures campagnes de prélèvements et d'analyses des gaz du sol.

Enfin, toute modification d'usage ou de configuration du site devra faire l'objet d'un nouveau plan de gestion.

8 ACTIONS À PRÉVOIR EN CAS DE CHANGEMENT D'USAGE D'AMÉNAGEMENT

En cas de changement d'usage ou d'aménagement, devront être mis à disposition du nouvel acquéreur ou de l'aménageur :

- Le présent rapport ;
- Le dossier présentant les caractéristiques des différentes barrières physiques permanentes sur le site.

Tout nouvel usage du site devra faire l'objet d'un nouveau plan de gestion.

¹ Les espaces ventilés correspondent à des espaces aérés entre les matériaux résiduels et les futures dalles des bâtiments. Les substances volatiles remontant à la surface passent par ces espaces d'air et sont éliminées hors des édifices par la ventilation naturelle ou forcée du vide obtenue grâce à des bouches d'aération périphériques. Si la ventilation naturelle n'est pas suffisante, une ventilation mécanique sera mise en place pour permettre de limiter de manière satisfaisante le transfert des gaz du sol vers les bâtiments.

