



SIGLA NEUF



Rapport

Plan de gestion

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)



Rapport n°A97169/A – 8 février 2019

Projet suivi par Thomas PASCOLI – 03.20.43.25.55 – thomas.pascoli@anteagroup.com

Fiche signalétique

Plan de gestion

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

CLIENT

SIGLA NEUF

SITE

194, rue nationale
59800 LILLE

Ancien Etablissement Biehler
63 Boulevard de Montesquieu
Roubaix (59)

Romain MISSIAEN

Responsable de Programmes
F : 03.20.30.22.30 / M : 06.76.73.81.46
romain.missiaen@siglaneuf.fr

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet

Thomas PASCOLI

Interlocuteur commercial

Thomas PASCOLI

Implantation chargée du suivi du projet

Implantation de Lille
03.20.43.25.55
secretariat.lille-fr@anteagroup.com

Rapport n°

A97169

Version n°

A

Votre commande et date

Bon pour accord M. MISSIAEN / 20 décembre 2018

Projet n°

NPCP180445

Codes prestation selon NF X31-620

PG, A320, A330

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Thomas PASCOLI	Ingénieur de projet	Février 2019	
Approbation	Caroline PEREZ	Superviseur	Février 2019	
Relecture qualité	Valérie DELOFRE	Secrétariat	Février 2019	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	08/02/2019	55	2	Etablissement du rapport

Sommaire

	Pages
1. Introduction.....	10
1.1. Contexte de l'étude.....	10
1.2. Contexte réglementaire	11
2. Présentation du site	13
2.1. Localisation du site	13
2.2. Contexte environnemental	14
2.2.1. Situation géographique.....	14
2.2.2. Contexte géologique.....	15
2.2.3. Contexte hydrogéologique	15
2.2.4. Contexte hydrologique	17
2.2.5. Zones naturelles d'intérêt soumises à protection	17
2.3. Contexte historique.....	17
3. Projet d'aménagement.....	18
4. Synthèse des données acquises sur la qualité des milieux au droit du site	21
4.1. Diagnostic environnemental de 2009	21
4.2. Diagnostic environnemental de 2017	23
4.2.1. Diagnostic de la qualité des sols	23
4.2.2. Diagnostic de la qualité des gaz du sol	26
4.2.3. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines	27
4.3. Diagnostic environnemental complémentaire de 2018.....	30
4.3.1. Description du diagnostic complémentaire des sols	30
4.3.2. Complément d'information acquises sur les eaux souterraines	32
5. Synthèse cartographique des anomalies identifiées.....	33
6. Schéma conceptuel initial.....	36
6.1. Sources de contamination.....	36
6.2. Vecteurs de transfert	36
6.3. Cibles	37
7. Plan de gestion	39
7.1. Rappel des objectifs	39
7.2. Gestion des sources de pollution concentrées	39
7.2.1. Lots 1 et 2.....	40
7.2.2. Lots 3 à 6	41
7.3. Maîtrise des risques	41
7.3.1. Maîtrise des risques liés à l'inhalation de poussières (espaces verts collectifs et privés).....	42
7.3.2. Maîtrise des risques liés à la réalisation de potagers ou à l'implantation d'arbres fruitiers.....	42
7.3.3. Maîtrise des risques liés aux réseaux enterrés.....	43
7.3.4. Maîtrises des risques pour les ouvrages en béton et les fondations.....	44

7.3.5.	Maîtrise des risques liés à l'utilisation des eaux souterraines.....	44
7.3.6.	Maîtrise des risques liés à des remontées gazeuses	45
7.3.7.	Maîtrise des risques liés aux travaux.....	45
7.4.	Obligations du Maître d'ouvrage	45
7.5.	Obligations de l'entreprise.....	46
7.6.	Protection des travailleurs	46
7.7.	Préconisations en vue de l'évolution de l'usage et/ou de travaux ultérieurs - Conservation de la mémoire	47
7.7.1.	Maintien de la couverture des sols.....	47
7.7.2.	Mémoire de la qualité des milieux en place	47
7.7.3.	Usage du site.....	47
7.8.	Divers.....	47
7.8.1.	Sécurité	47
7.8.2.	Gestion des travaux ultérieurs impliquant un remaniement du sous- sol.....	48
7.8.3.	Comblement des puits et forages.....	48
7.8.4.	Découverte d'une pollution	48
7.8.5.	Contrôles des mesures de gestion préconisées.....	49
7.8.6.	Dossier de récolement	49
8.	Elaboration du schéma conceptuel final	50
8.1.	Sources de contamination.....	50
8.2.	Vecteurs de transfert	50
8.3.	Cibles	50
9.	Validation des mesures de gestion	52
10.	Synthèse technique et recommandations	53

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site sur carte IGN.....	13
Figure 2 : Localisation du site sur photographie aérienne.....	14
Figure 3 : Projet d'aménagement (source : ANAA Architectes – permis d'aménager ancien site BIEHLER – Roubaix // Croix – PA9 Hypothèse d'implantation des bâtiments Octobre 2017).....	19
Figure 4 : Projet d'aménagement (source : ANAA Architectes – permis d'aménager ancien site BIEHLER – Roubaix // Croix – PA4 Plan de composition - Octobre 2017)	20
Figure 5 : Plan d'échantillonnage réalisé par Sévêque environnement en septembre 2009	22
Figure 6 : Cartographie des anomalies dans le milieu sol (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017).....	25
Figure 7 : Cartographie des anomalies dans le milieu gaz du sol (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017).....	27
Figure 8 : Cartographie des anomalies dans le milieu eaux souterraines (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017).....	29
Figure 9 : Localisation des sondages réalisés en 2018.....	31
Figure 10 : Synthèse cartographique des anomalies connues sur les sols et les eaux souterraines.....	34
Figure 11 : Synthèse cartographique des anomalies connues sur les gaz du sol.....	35
Figure 12 : Schéma conceptuel initial du site	38
Figure 13 : Schéma conceptuel de fonctionnement.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats analytiques sur les sols prélevés par Sévêque environnement en 2009	23
Tableau 2 : Caractéristiques des piézomètres mis en place en septembre 2016.....	27
Tableau 3 : Mesure du niveau statique de la nappe en décembre 2016.....	28
Tableau 4 : Vecteurs de transfert de la contamination	37

Liste des annexes

Annexe 1 : Codification des prestations relatives à la norme NF X31-620
Annexe 2 : Analyse des Risques Résiduels

Abréviations

BASIAS :	Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
BASOL :	Base de données sur les sites et Sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BSS :	Banque de données du Sous-Sol
BRGM :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
CAV :	Composés Aromatiques Volatils (dont BTEX)
COHV :	Composés Organo-Halogénés Volatils
COT :	Carbone Organique Total
DREAL :	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT :	Hydrocarbures Totaux
ICPE :	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IGN :	Institut Géographique National
INERIS :	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INRA :	Institut National de Recherche Agronomique
ISDD :	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDnD :	Installation de Stockage de Déchets non Dangereux
ISDI :	Installation de Stockage de Déchets Inertes
LQ :	Limite de Quantification
MEDDE :	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
MS :	Matière Sèche
PCB :	PolyChloroBiphényles
PCE :	Perchloroéthylène ou Tétrachloroéthylène
Pz :	Piézomètre eau
ZS :	Zone Saturée
ZNS :	Zone Non Saturée

Synthèse non technique

CONTEXTE	
Client	SIGLA NEUF
Informations sur le site	63 boulevard Montesquieu à Roubaix (59)
Contexte de l'étude	Opération immobilière (lots 1 à 6) sur un ancien site Industriel (Biehler)
DIAGNOSTIC INITIAL ET COMPLEMENTAIRE	
Qualité des sols	Les investigations initiales ont mis en évidence : • Présence de remblais de démolition sur 1 m d'épaisseur sous dalle béton ou enrobé, • Un spot de contamination aux hydrocarbures, • Des dépassements des seuils ISDI pour les PCB, hydrocarbures et HAP en 3 points, • Des dépassements des seuils ISDI sur éluat en 3 autres points. Les investigations complémentaires ont été réalisées sur la partie Sud (au niveau du futur parking souterrain) du site et ont mis en évidence : • Des anomalies dans les sols destinés à rester en place (métaux, HCT, PCE, HAP et PCB), • Les anomalies sont de faible extension.
Qualité des gaz du sol	Les prélèvements réalisés au droit des sondages de sols ont montré la présence de : • BTEX • COHV • Hydrocarbures C6-C10 Ces composés peuvent induire un risque sanitaire par inhalation pour les usagers.
Qualité des eaux souterraines	Un dépassement du seuil de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est observé au droit du piézomètre amont pour certains solvants chlorés notamment le Tétrachloroéthylène.
PLAN DE GESTION	
	Pour la partie Sud du site, lots 1 et 2 du projet d'aménagement, un plan de gestion spécifique a été réalisé en 2018 (rapport ANTEA A95659/A de décembre 2018). Les mesures de gestion sont considérées valides et assurent la compatibilité sanitaire entre l'état environnemental des lots 1 et 2 et l'usage futur. Pour les lots 1 et 2, la création d'un parking en sous-sol entraîne l'excavation et l'évacuation des terres au droit des bâtis entre 0 et 3,4 mètres de profondeur et par conséquent, la gestion d'une partie des pollutions concentrées mises en évidence. Pour les sols restant en place d'après le plan de masse, les terres devront être excavées jusqu'à atteinte des seuils de coupures théoriques. Pour les lots 3 à 6, sur la base des données disponibles aucune source concentrée de pollution n'est identifiée. Les mesures de gestion établies permettent de supprimer les vecteurs de transfert des substances identifiées au droit du site à l'exception de l'inhalation de vapeur. Ainsi, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, les mesures

	de gestion ont été validées par des calculs de risques sanitaires qui présentent des résultats conformes aux seuils à respecter. Il conviendra de vérifier la bonne mise en œuvre des mesures de gestion. Notamment concernant la qualité des sols, des investigations complémentaires seront réalisées en phase chantier pour d'une part, s'assurer que la qualité des sols après terrassement (analyses de fond de fouille) respecte les seuils des coupures associés aux sources concentrées sur l'ensemble des lots, et d'autre part pour définir les filières adaptées pour les déblais générés en phase travaux. Enfin, concernant les lots 3 à 6, il est recommandé de réaliser une campagne de prélèvement de gaz de sols complémentaire afin de s'assurer de la représentativité des données prises en compte dans la présente étude.
--	---

1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

Dans le cadre d'un projet d'aménagement constitué de 6 lots sur un ancien site industriel localisé au 63 boulevard Montesquieu à Roubaix (59), SIGLA NEUF a fait réaliser en janvier 2017 une première étude de l'état du site comprenant une étude documentaire historique et un diagnostic environnemental (rapport Antea Group A87626/A de janvier 2017).

Cette étude, réalisée à l'échelle des 6 lots, a montré un impact ponctuel en hydrocarbures dans les sols, la présence quasi-généralisée de métaux dans les remblais et des dépassements des limites d'acceptabilité en ISDI en hydrocarbures, PCB, HAP et sulfates sur éluat. De plus, les BTEX, hydrocarbures et COHV ont été mesurés dans les gaz du sol et, les eaux souterraines sont impactées en amont du site par des COHV avec dépassement des limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine en trichloroéthylène, tétrachloroéthylène et chlorure de vinyle.

En 2018, le projet d'aménagement a été modifié avec l'ajout de parkings en sous-sol sur les lots 1 et 2. SIGLA NEUF a fait réaliser, pour ces deux derniers lots, des investigations complémentaires sur la qualité des sols et un Plan de Gestion prenant en compte les évolutions du projet d'aménagement (rapport Antea Group A95659/A de décembre 2018). Ces études avaient pour objectifs d'une part d'estimer les coûts liés à la gestion des déblais et d'autre part, de définir des mesures de gestion permettant d'assurer la compatibilité sanitaire entre l'état environnemental des lots 1 et 2 et les projets envisagés. Enfin, cette étude a permis d'établir l'attestation prévue à l'article L556-1 du code de l'Environnement pour les lots 1 et 2 du projet d'aménagement.

Dans le cadre du dépôt d'une demande de permis d'aménager et des permis de construire des lots 3 à 6 et, en raison des modifications du projet d'aménagement et de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, SIGLA NEUF a souhaité mettre à jour le plan de gestion réalisé en janvier 2017, objet de la présente étude. Cette étude a pour but :

- d'une part, de déterminer pour l'ensemble des lots, les mesures de gestion à appliquer pour assurer la compatibilité sanitaire du projet d'aménagement
- d'autre part, de permettre à SIGLA NEUF de disposer d'une étude mise à jour permettant d'établir à l'avenir pour chaque lot, l'attestation¹ prévue à l'article L556-1 du code de l'Environnement selon le modèle d'attestation mentionné à l'article R. 556-3 du code de l'environnement.

Le projet d'aménagement futur, prévu sur le site et fourni par SIGLA NEUF, prévoit la démolition des bâtiments existants et la création de nouvelles constructions à usage d'habitation et/ou d'activité économique : 8 bâtiments (A à H) en R+1 à R+5, dont

¹ Attestation de conformité réalisée conformément à l'arrêté du 19 décembre 2018 fixant les modalités de la certification prévues aux articles L. 556-1 et L. 556-2 du code de l'environnement et le modèle d'attestation mentionné à l'article R. 556-3 du code de l'environnement. Entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2019.

4 bâtiments (A, B, C et D) construits sur parking en sous-sol et 4 bâtiments construits de plain-pied.

Au regard de ces usages réputés sensibles et des résultats des diagnostics, Antea Group a été mandaté pour la réalisation d'un plan de gestion et d'une évaluation des risques sanitaires afin de s'assurer de la compatibilité entre la qualité des milieux et le futur usage du site.

1.2. Contexte réglementaire

De manière générale, les textes font clairement apparaître des préférences pour les approches pragmatiques et de « bon sens » en privilégiant par exemple des mesures directes aux points d'exposition. Cette démarche, basée sur 4 circulaires et plus de 20 outils méthodologiques, a pour but d'être progressive et évolutive.

La démarche de gestion des sites et sols pollués a pour objectifs d'identifier :

- les sources de pollution ;
- les différents milieux de transfert et leurs caractéristiques ;
- les enjeux à protéger (populations riveraines, ressources naturelles, usages des milieux et de l'environnement, milieux d'exposition).

Les outils permettant d'identifier ces différents points sont notamment : une visite de site, l'étude historique et documentaire, le diagnostic sur site du milieu souterrain et les campagnes de mesures.

La mise à jour d'avril 2017 de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués précise « La politique de gestion des risques suivant l'usage des milieux ne dispense pas de rechercher les possibilités de suppression des pollutions compte tenu des techniques disponibles et de leur coût économique. Ainsi, en tout premier lieu, les possibilités de suppression des pollutions et de leurs impacts doivent être recherchées. La maîtrise des impacts suppose la maîtrise préalable des sources de pollution et des pollutions concentrées. »

La définition de la pollution concentrée donnée par l'Union des Professionnels de la Dépollution des Sols (UPDS) est la suivante « Volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume ».

L'existence ou non de zones de pollution concentrée doit être établie par la convergence des résultats obtenus par application d'au moins deux des méthodes suivantes :

- Interprétation des constats de terrain
- Interprétation cartographique
- Analyse statistique
- Bilan massique
- Détermination de la présence d'une phase organique dans les sols

- Approche géostatistique

La pollution concentrée, si elle est facilement accessible et non associée à une pollution diffuse, peut être traitée directement sans passer par le plan de gestion.

Selon le cas, un plan de gestion intégrant une étude des risques sanitaires et environnementaux ainsi qu'un bilan coûts/avantages, pourra être réalisé afin de déterminer les modes de gestion les plus adaptés.

Les prestations réalisées correspondent aux rubriques suivantes de la norme NF X31-620 concernant les prestations de services relatives aux sites et sols pollués (Annexe 1) :

- PG : Plan de Gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site ;
- A320 : Analyse des enjeux sanitaires ;
- A330 : Identification des différentes options de gestion possibles et élaboration d'un bilan coût / avantage.

2. Présentation du site

2.1. Localisation du site

Le site est localisé dans une zone urbaine qui chevauche les communes de Roubaix et de Croix dans le département du Nord (59). Le site, d'une superficie d'environ 12 500 m², est localisé entre le boulevard Montesquieu, la rue de Croix, la rue Eugène Duthoit et la rue de l'Amiral Courbet (Cf. Figure 1).

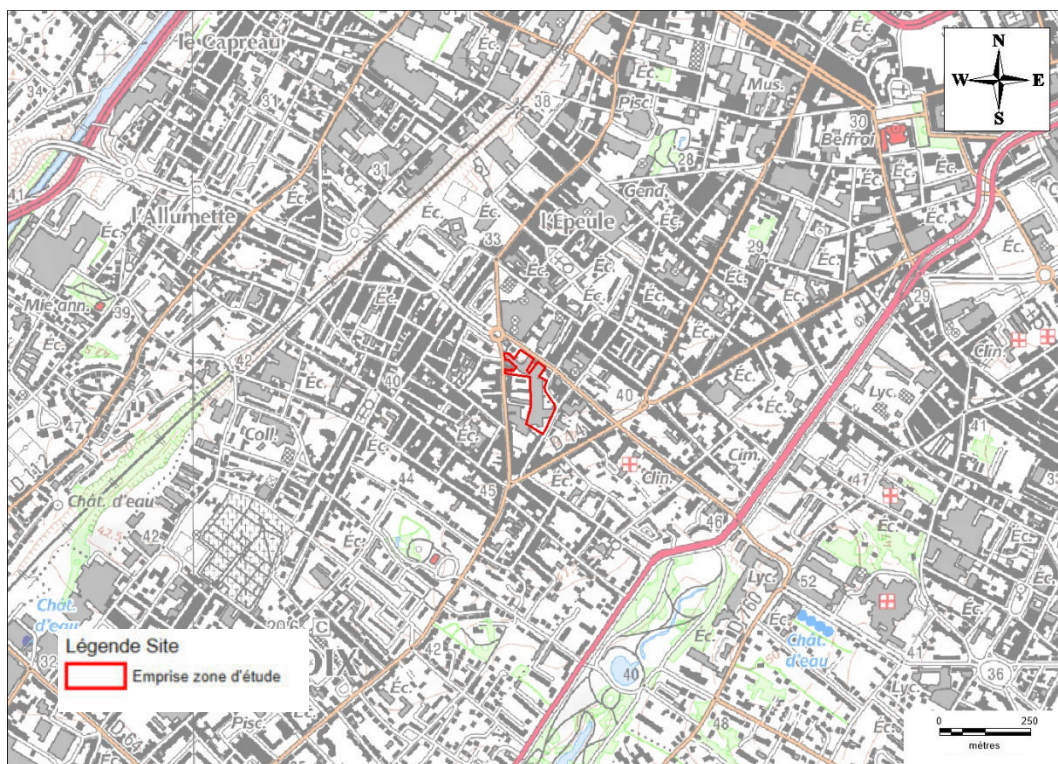


Figure 1 : Localisation du site sur carte IGN

Le site est localisé dans une zone urbaine pouvant comporter des habitations, des commerces, des services, des bureaux, de nombreuses écoles, une clinique ainsi que des activités artisanales et industrielles.



Figure 2 : Localisation du site sur photographie aérienne

2.2. Contexte environnemental

Une étude de vulnérabilité menée en 2017 (rapport A87626A – NPCP160474) a permis d'établir le contexte environnemental du site.

Une synthèse des principaux éléments recueillis dans cette étude est présentée dans les paragraphes ci-après.

2.2.1. Situation géographique

Le site d'étude est localisé dans une zone urbaine dont l'environnement immédiat du site est constitué par :

- au Nord : le boulevard Montesquieu avec des habitations collectives et individuelles, un restaurant, des commerces ainsi qu'une crèche située à moins de 100 m ;
- au Sud : des habitations individuelles avec jardins puis la mairie de Croix entourée d'espaces verts ;
- à l'Ouest : anciens bâtiments industriels (garages à louer), habitations individuelles puis la rue de l'Amiral Courbet et un quartier résidentiel avec des commerces ;
- à l'Est : des habitations individuelles avec jardins et collectives puis la rue de Croix et un quartier résidentiel à proximité de la station de métro Epeule Montesquieu, une clinique.

Au regard de ces informations et des usages identifiés (crèche, habitations avec jardins privés, etc.), les abords du site sont considérés comme sensibles.

2.2.2. Contexte géologique

La géologie attendue au droit du site d'étude a été déterminée à partir de l'examen de la carte géologique de Lille -Halluin (au 1/50 000^{ème}, feuille n° 14) et des informations recueillies sur le site Infoterre du BRGM (Banque de données du Sous-Sol).

Les formations attendues au droit du site, sous une éventuelle couche de remblais, sont les suivantes :

- Limons des Plateaux (LP/e3-4) sur une épaisseur d'environ 9 à 15 m ;
- Les « argiles des Flandres » ou plus précisément « l'argile sableuse de Roubaix » de l'Yprésien supérieur (Cuisien) sur une épaisseur d'environ 15 à 25 m. Il s'agit d'argiles plastiques bleu noir, un peu plus sableuses au sommet ;
- Les « sables d'Ostricourt » du Landénien supérieur (Thanétien) sur une épaisseur d'environ 30 m. Il s'agit de sables fins, gris ou verdâtres, glauconieux et parfois argileux, qui peuvent prendre une teinte jaune par altération ;
- les « argiles de Louvil » du Landénien inférieur (Thanétien) sur une épaisseur d'environ 15 m. Il s'agit d'argiles grises, noirâtres, à passées sableuses et glauconieuses ;
- de la craie du Sénonien au Turonien Moyen sur une épaisseur d'environ. Il s'agit d'une craie blanche à grise caractérisée par une succession de niveaux à silex ;
- des marnes appelées « dièves » du Turonien inférieur à moyen (Crétacé) sur une épaisseur d'environ 15 m. Il s'agit de marnes, plus ou moins crayeuses. Elles forment le substratum imperméable de la nappe de la craie ;
- Les calcaires carbonifères (formation primaires).

2.2.3. Contexte hydrogéologique

Les principales nappes d'eaux souterraines pouvant être présentes au niveau du site d'étude sont les suivantes :

- **Une nappe superficielle dans les limons.** La différence de perméabilité entre les dépôts quaternaires affleurants et l'argile Yprésienne permet une retenue des eaux formant une nappe perchée.
Des piézomètres réalisés au Nord du site en 2013 indiquent la présence d'une nappe dans les limons. Les niveaux d'eau observés étaient compris entre 2 et 3 m/sol (en juin et septembre 2013) et semblaient indiquer l'existence d'un dôme piézométrique dont les directions d'écoulement varient en fonction du temps. Le sens d'écoulement au droit du site ne peut donc être déterminé ;
- **La nappe des sables d'Ostricourt.** Le substratum de cet aquifère est formé par les argiles de Louvil. Le sens d'écoulement de la nappe des sables d'Ostricourt au droit du site d'étude n'est pas défini ;

- **La nappe de la craie du Sénonien et du Turonien Supérieur.** Son substratum est constitué par les marnes du Turonien. Le sens d'écoulement supposé de cette nappe est dirigé vers le Nord-Est. La nappe est probablement drainée par la vallée de l'Espierre ;
- **La nappe des calcaires carbonifères.**

Vulnérabilité

La nappe superficielle des limons des plateaux est libre au droit du site, c'est-à-dire qu'elle n'est pas protégée de la surface par des horizons imperméables. Au regard de sa faible profondeur (2-3m) et de l'absence de couche protectrice (de type argile), cette nappe est vulnérable à une potentielle pollution provenant du site d'étude.

La nappe des sables d'Ostricourt est captive sous les argiles des Flandres. De même, la nappe de la craie est captive sous les argiles de Louvil. Enfin, la nappe des calcaires carbonifères est captive sous les marnes du Turonien. Elles ne sont pas considérées comme vulnérables aux contaminations présentes en surface.

Alimentation des nappes

D'une manière générale, l'alimentation des nappes se fait préférentiellement par infiltration des précipitations efficaces² dans les zones où les formations aquifères ne sont pas protégées de la surface par des niveaux imperméables. D'une manière plus marginale, les nappes peuvent également être alimentées par les rivières avec lesquelles elles sont en relation ou par drainance verticale à partir des aquifères plus proches du sol.

Au droit du site, les précipitations efficaces peuvent s'infiltrer directement dans la nappe des limons quaternaires. Le canal de Roubaix pourrait également jouer un rôle dans l'alimentation de cette nappe lorsque son niveau est suffisamment haut.

Utilisation des eaux souterraines

Dans la région, la nappe de la craie est la principale ressource pour l'alimentation en eau potable. Au niveau local, la nappe des calcaires carbonifères est la principale ressource exploitée, tant pour l'alimentation en eau industrielle que pour l'alimentation en eau potable.

L'étude de vulnérabilité a mis en évidence :

- La présence de 3 captages à usage industriels dans un rayon de 500 m autour du site d'étude ;
- La présence de deux captages pour l'alimentation en eau potable (AEP). Selon l'Agence Régionale de la Santé (ARS), seul un des captages serait actif ;
- L'absence de périmètres de protection des captages AEP au droit du site d'étude (selon les données fournies par l'ARS) ;
- L'absence de captage agricole ;

Les captages identifiés captant la nappe des calcaires carbonifère, ils ne sont pas considérés comme vulnérables à une potentielle pollution provenant du site d'étude.

² Précipitations efficaces : précipitations rejoignant effectivement la nappe. Il s'agit du volume total de précipitations diminué de l'eau consommée par les plantes ou évaporée sous l'action du soleil.

La présence de puits de particuliers non déclarés ne peut être exclue. Il est donc à noter un contexte urbain considéré comme sensible vis-à-vis du transfert éventuel de pollution en raison de la présence potentielle de puits privés au sein de la nappe des limons (non protégée et vulnérable).

2.2.4. Contexte hydrologique

Le cours d'eau le plus proche du site d'étude est le canal de Roubaix qui encercle le site. Il circule à 1,4 km au Nord-Ouest et 2,4 km au Nord Est de la zone d'étude. Il s'écoule vers le Nord-Est et rejoint le canal de l'Espierre à environ 8 km en aval, à la frontière Belge.

Au regard de sa distance par rapport au site, le canal de Roubaix est considéré comme faiblement vulnérable à une potentielle pollution provenant du site. Il présente une sensibilité moyenne en raison de son utilisation pour la pêche.

2.2.5. Zones naturelles d'intérêt soumises à protection

Le site est localisé en dehors de tout périmètre d'espace naturel protégé (ZNIEFF, NATURA 200, etc.). Les premiers périmètres se situent à plus de 4 km du site d'étude. Ils ne sont donc pas vulnérables à une potentielle pollution provenant du site.

2.3. Contexte historique

Une étude historique a été menée en 2017 (rapport A87626A – NPCP160474).

Cette étude a permis de mettre en évidence que plusieurs activités industrielles se sont succédées sur une partie du site depuis le début du 20^{ème} siècle : fabrication de produits chimiques, chaudronnerie, tonnellerie, fabrication de coutellerie, ennoblissement textile (teinture, impression, etc.).

Des sources potentielles de contamination des milieux ont été identifiées sur le site à savoir : anciens ateliers, zone de stockage des huiles, stockages extérieurs de produits, cabine de peinture, cabine de lavage, etc.). De plus, les remblais présents au droit du site, d'origine inconnue constituent également une source potentielle de pollution.

Au regard des informations recueillies, les principaux polluants susceptibles d'être présents au droit du site sont les suivants : HCT, Métaux, HAP, COHV, BTEX, Phénol, Solvants organiques (éthers, organo-chlorés, térébenthine).

3. Projet d'aménagement

Le projet d'aménagement actuel comprend la démolition des bâtiments existants et la création de nouvelles constructions à usage d'habitation ou économique réparties sur 6 lots. Le plan d'hypothèse du permis d'aménager transmis à Antea Group permet de constater la composition des lots suivants :

- Lot 1 : sur une surface de 4 376 m², 2 Bâtiments (A et B) en R+2 à R+5 avec parking en sous-sol à usage d'habitation, espaces verts collectifs, jardins privés, voirie et places de parking en surface ;
- Lot 2 : sur une surface de 2 920 m², séparé du lot 1 par une zone de voirie de 613 m² dissociée, 2 Bâtiments (D et C) en R+3 à R+4 avec parking en sous-sol à usage d'habitation, espaces verts collectifs, jardins privés, voirie et places de parking en surface ;
- Lot 3 : sur une surface de 1 229 m², 1 Bâtiment (E) en R+2 à R+4 sans sous-sol à usage d'habitation ou économique, espaces verts collectifs, jardins privés (possible), voirie et places de parking en surface ;
- Lot 4 : sur une surface de 1 229 m², 1 Bâtiment (F) en R+2 à R+3 sans sous-sol à usage d'habitation ou économique, espaces verts collectifs, voirie et places de parking couvert en surface ;
- Lot 5 : sur une surface de 1 762 m², 1 Bâtiment (H) en R+1 sans sous-sol à usage d'habitation ou économique, espaces verts collectifs et privés (possible), voirie et places de parking en surface ;
- Lot 6 : sur une surface de 399 m², 1 Bâtiment (G) en R+2 sans sous-sol à usage d'habitation ou économique, espaces verts collectifs, voirie et places de parking en surface.

A noter, que des parkings en sous-sol sont prévus uniquement sur les lots 1 et 2.

Les plans d'hypothèse d'implantation des bâtiments et de composition du permis d'aménager sont présentés dans les figures ci-après.

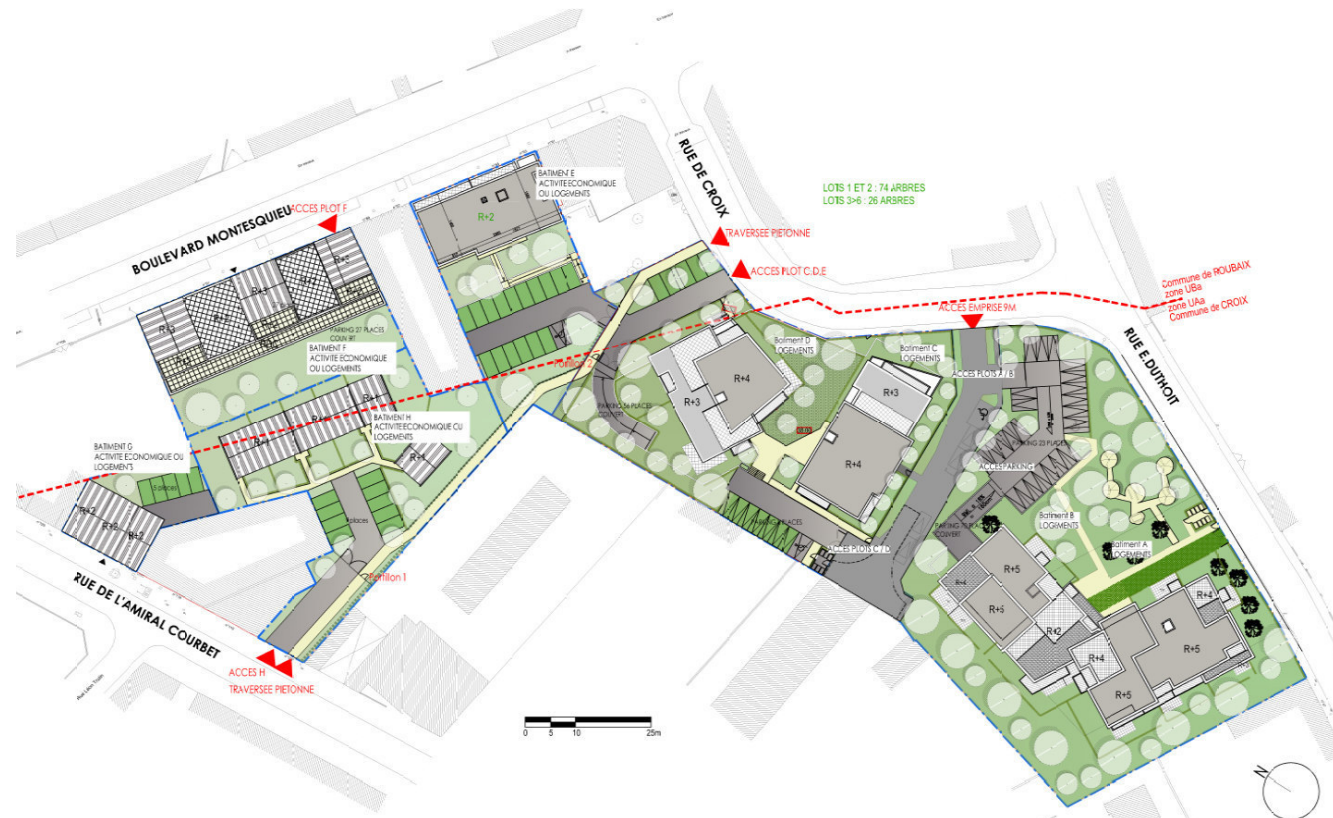


Figure 3 : Projet d'aménagement (source : ANAA Architectes – permis d'aménager ancien site BIEHLER – Roubaix // Croix – PA9 Hypothèse d'implantation des bâtiments Octobre 2017)

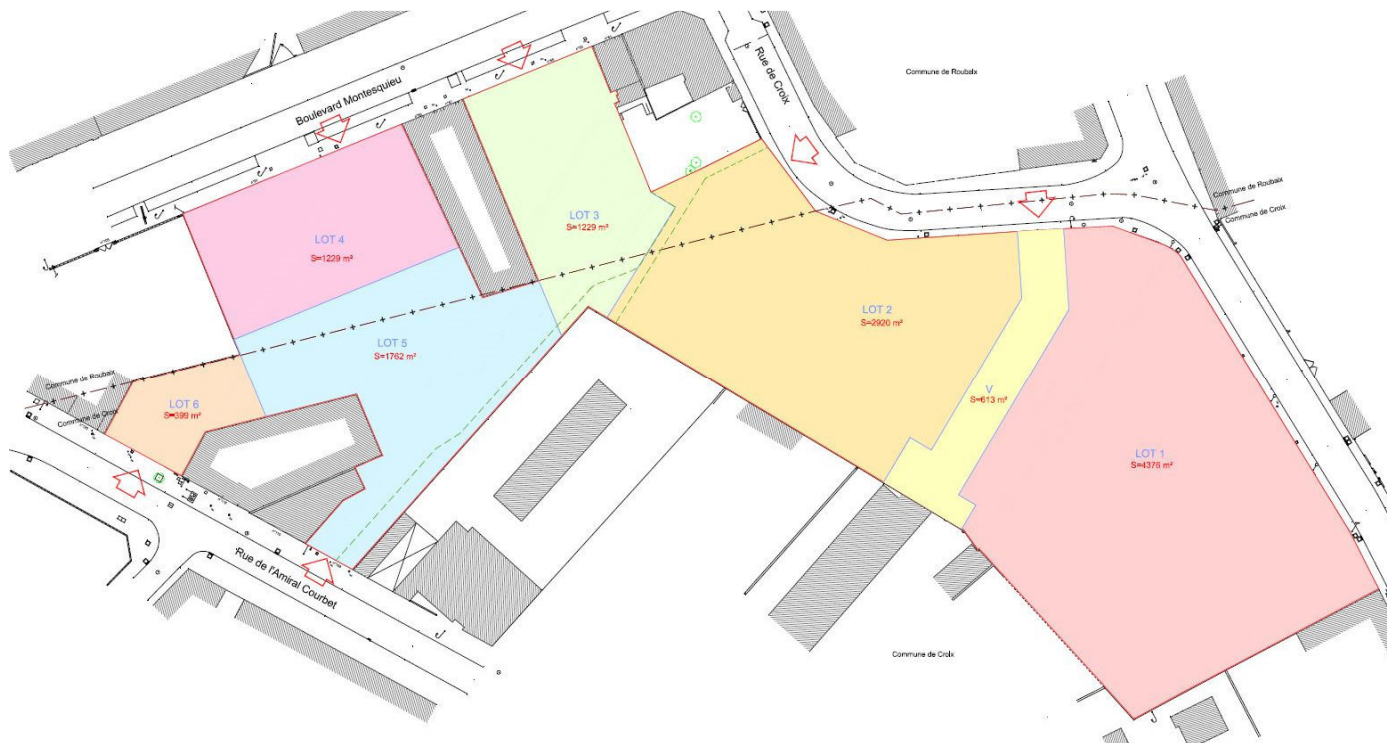


Figure 4 : Projet d'aménagement (source : ANAA Architectes – permis d'aménager ancien site BIEHLER – Roubaix // Croix – PA4 Plan de composition - Octobre 2017)

4. Synthèse des données acquises sur la qualité des milieux au droit du site

Au total, sur la zone d'étude ont été réalisés :

- 3 diagnostics environnementaux. Le premier en 2009, par Sévêque environnement pour le compte de BIEHLER (ancienne société ayant occupé le site). Les deux autres, en 2017 (diagnostic sur l'ensemble du site) et 2018 (diagnostic complémentaire visant les lots 1 et 2) par Antea Group pour le compte de SIGLA NEUF,
- 2 Plan de Gestion par Antea Group pour SIGLA NEUF. Le premier à l'échelle de l'ensemble du site en 2017. Le second a été réalisé après modification du projet d'aménagement à l'échelle des lots 1 et 2 en 2018.

Les données acquises sur la qualité des milieux au travers des diagnostics environnementaux sont synthétisées dans les chapitres suivants.

4.1. Diagnostic environnemental de 2009

Un diagnostic de qualité des sols a été réalisé par Sévêque environnement en décembre 2009 pour le compte de la société BIEHLER, occupante du site d'étude et spécialisée dans la remise en état de matériels d'occasion pour les industries chimiques, cosmétiques et pharmaceutiques.

Dans le cadre de cette étude, dix sondages de sol ont été réalisés à 50 cm de profondeur sous les revêtements étanches (dalle béton ou enrobé) au moyen d'une foreuse Geoprobe montée sur chenille et équipée d'un carottier battu de 54 mm de diamètre. Les prélèvements de sol ont été remontés sous un liner en polyéthylène, garantissant l'absence de contamination croisée. Dix échantillons représentatifs de la tranche de sol de 50 cm d'épaisseur ont ainsi pu être prélevés.

Le plan présenté en Figure 5 montre l'emplacement des différents sondages. Il est à noter que la localisation des différents points de repère étant décalée (local de pompes dans la cour par exemple), l'emplacement exact des points de prélèvements n'est pas certain.

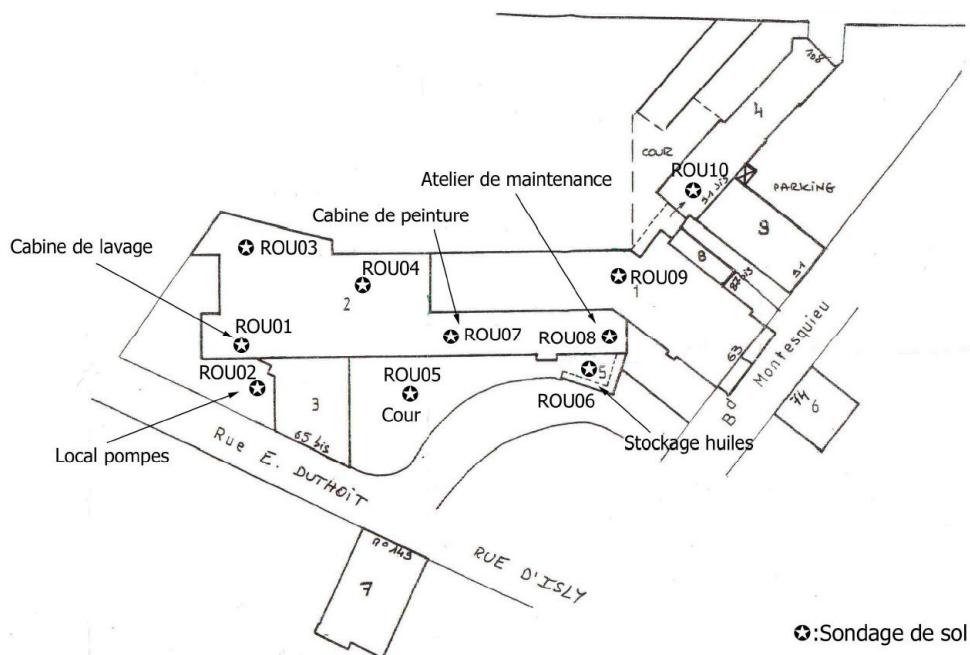


Figure 5 : Plan d'échantillonnage réalisé par Sêvêque environnement en septembre 2009

Les échantillons ont été prélevés et conservés dans des glacières avant d'être transmis au laboratoire accrédité RVA/Strelab reconnu Cofrac. Les analyses effectuées sur les échantillons étaient les suivantes :

- Hydrocarbures totaux, BTEX, HAP
- Bilan 8 métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- COHV

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 1 ci-après. Les concentrations sont données en mg/kg de matière sèche.

Les résultats d'analyses permettent de noter la présence d'anomalies dans les remblais en métaux, HAP et PCE. Des traces en xylènes sont également notées sur 1 échantillon.

Tableau 1 : Résultats analytiques sur les sols prélevés par Sévêque environnement en 2009

	Valeur de référence	ROU01 Cabine lavage	ROU02 Local pompes	ROU03	ROU04	ROU05 Cour extérieure	ROU06 Stockage huiles	ROU07 Cabine peinture	ROU08 Atelier maintenance	ROU09	ROU10
Métaux lourds											
Arsenic (As)	25	4	8,1	3,9	5,6	5,2	5,6	8,8	6,7	6,8	5,5
Cadmium (Cd)	0,45	0,35	0,31	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,29	0,12	<0,10	<0,10
Chrome (Cr)	90	19	21	19	29	14	22	21	18	17	23
Cuivre (Cu)	20	11	39	5,2	15	9,1	19	33	28	8,1	8,9
Mercurie (Hg)	0,1	<0,05	0,16	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,7	0,36	<0,05	<0,05
Nickel (Ni)	60	8,5	12	12	18	13	13	15	17	13	14
Plomb (Pb)	50	27	1 100	6,9	28	10	24	78	58	11	12
Zinc (Zn)	100	96	570	19	100	60	39	200	69	30	33
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)											
Naphtalène	0,3	0,21	<0,050	<0,050	1,6	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Acénaphthylène	0,5	<0,050	<0,050	<0,050	<1,0	<0,050	<0,10	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Acénaphthène	0,5	0,79	<0,050	<0,050	<1,0	<0,050	0,48	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Fluorène	0,1	0,28	<0,010	<0,010	1,2	<0,010	0,83	<0,010	0,024	<0,010	<0,010
Phénanthrène	0,1	0,63	0,28	0,037	7,8	<0,010	1,3	0,15	0,55	0,02	<0,010
Anthracène	0,1	0,064	0,029	<0,010	1,6	<0,010	0,24	0,023	0,086	<0,010	<0,010
Fluoranthène	0,1	0,64	0,4	0,062	8,4	0,016	2	0,22	1,3	0,024	<0,010
Pyrrène	0,1	0,53	0,37	0,048	7,2	0,014	1,2	0,19	1	0,02	<0,010
Benzo(a)anthracène	0,7	0,21	0,16	0,026	3,5	<0,010	0,59	0,13	0,55	<0,010	<0,010
Chrysène	0,1	0,2	0,19	0,027	3	<0,010	0,6	0,15	0,57	0,015	<0,010
Benzo(b)fluoranthène	0,7	0,24	0,19	0,032	3,1	<0,010	0,54	0,15	0,59	0,015	<0,010
Benzo(k)fluoranthène	0,7	0,11	0,088	0,014	1,6	<0,010	0,25	0,067	0,32	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyrrène	0,1	0,21	0,12	0,021	2,9	<0,010	0,48	0,13	0,54	0,013	<0,010
Dibenzo(a,h)anthracène	0,1	0,027	0,018	<0,010	0,31	<0,010	0,06	<0,020	0,057	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	0,1	0,18	0,12	0,018	2,3	<0,010	0,31	0,12	0,39	0,013	<0,010
Indéno(1,2,3-cd)pyrrène	0,7	0,23	0,16	0,025	2,5	<0,010	0,43	0,15	0,54	0,013	<0,010
HAP (EPA) - somme	25	4,6	2,1	0,31	47	0,03	9,3	1,5	6,5	0,13	n.d.
Indice hydrocarbures											
Hydrocarbures totaux C10-C40	500	266	33	<20	<20	<20	210	35	32	<20	<20
Solvants monoaromatiques											
Toluène	0,5	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	0,5	0,38	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylène	0,5	1,6	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,28	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
o-Xylène	0,5	0,56	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Somme Xylènes	0,5	2,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme des BTEX	6	2,64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Solvants chlorés											
Dichlorométhane	1	0,19	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthylène	1	0,18	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,26	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthylène	1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,32	2,3	<0,10	<0,10

4.2. Diagnostic environnemental de 2017

En janvier 2017, une étude environnementale, historique et documentaire (voir paragraphe 2 – Présentation du site), suivie d'un diagnostic initial de la qualité des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines, a été réalisé par Antea Group (rapport : A87626/A). Les principaux résultats obtenus lors des investigations de terrains synthétisés ci-dessous.

4.2.1. Diagnostic de la qualité des sols

Début décembre 2016, 12 sondages au carottier à fenêtré muni d'un carottier battu portable ont été réalisés à des profondeurs de 2 à 5 m.

En extérieur, des remblais tertiaire ou schisteux contenant des briques, du béton, des cailloux ont été rencontrés sur une épaisseur d'environ 1 m, sous de l'enrobé en S12, ou une dalle béton en S13 et S14. En intérieur, les sols sont recouverts d'une dalle béton d'une épaisseur comprise entre 5 et 18 cm. Les remblais sous-jacents sont limoneux et contiennent des briques, cailloux, bois, scories jusqu'à 1 m de profondeur environ. En S10, les remblais sont sableux noirs sur une épaisseur de 16 cm seulement. Ces remblais recouvrent le terrain naturel composés de limons argileux ou silteux vers 1 m de profondeur et jusqu'à la base du sondage sur l'ensemble du site.

Les résultats des analyses des investigations menées sur les sols ont mis en évidence :

- Une pollution concentrée aux HCT au droit du sondage S9 (future voirie) ;
- La présence de métaux dans les remblais en S1 et S3, S7, S9, S11 et S13 ;
- Un dépassement des critères d'admission en ISDI pour les HAP au droit du sondage S1 (190 mg/kg MS) ;
- Un dépassement des critères d'admission en ISDI pour les PCB au droit du sondage S7 (2 000 µg/kg MS) ;
- Un dépassement des critères d'admission en ISDI pour les HCT au droit du sondage S5 (940 mg/kg/MS) et en S9 (1 800 mg/kg MS) ;
- Des dépassements des critères d'admission en ISDI sur éluats dans une limite d'un facteur 3 sur 3 échantillons sur 9. Ils concernent principalement les sulfates (S1, S2 et S6), la fraction soluble (S1 et S6) et l'antimoine (S1).

Les anomalies sont synthétisées sur la figure de la page suivante.

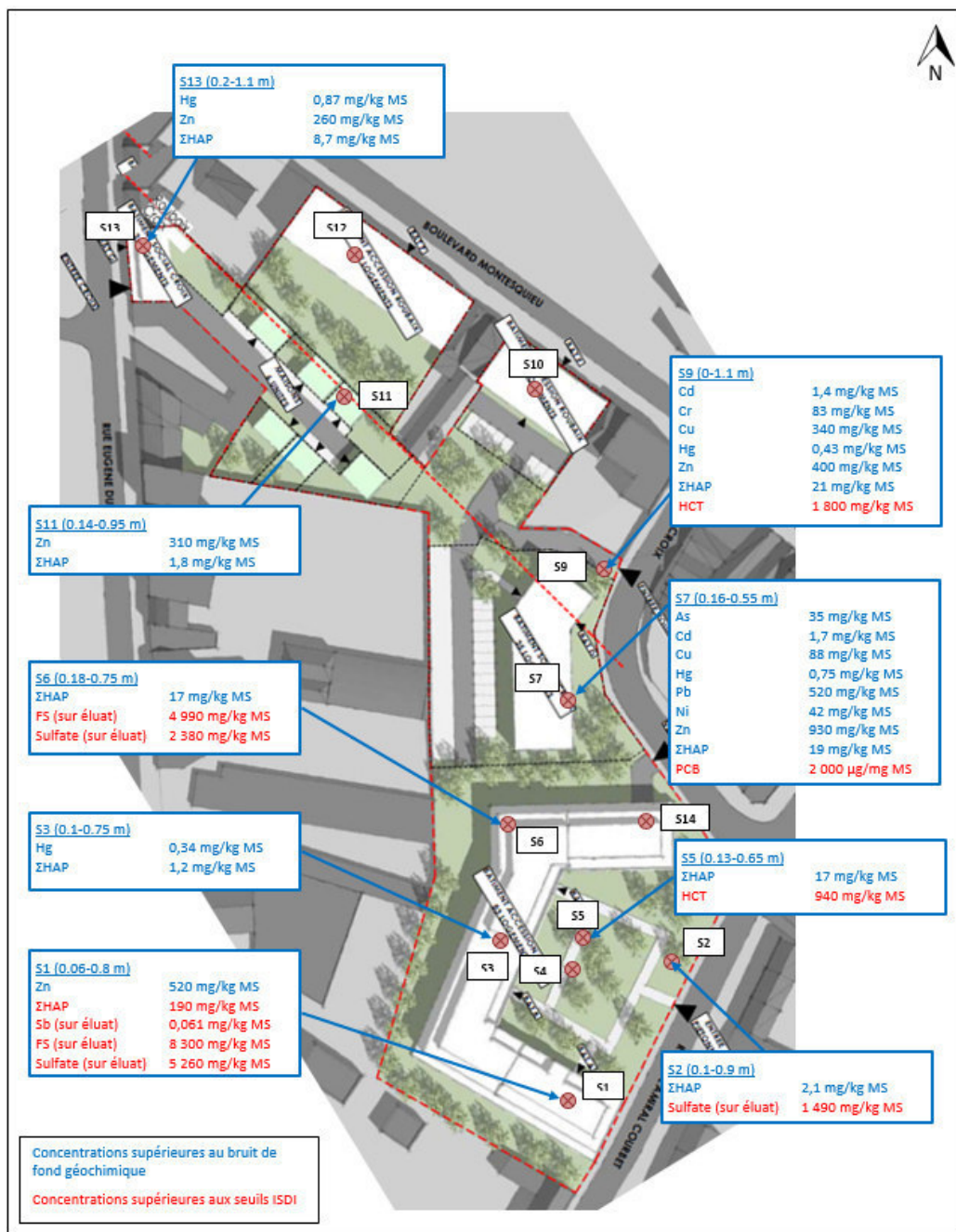


Figure 6 : Cartographie des anomalies dans le milieu sol
 (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017)

4.2.2. Diagnostic de la qualité des gaz du sol

Les investigations sur site se sont déroulées les 15 et 16 décembre 2016. Il a été réalisé 10 prélèvements d'air du sol par un ingénieur d'Antea Group selon les techniques suivantes :

- Utilisation de subslab pour réaliser 8 prélèvements de l'air sous-dalle, à proximité des sondages S1, S2, S4, S6, S7, S10, S11 et S13. L'air a été prélevé à une profondeur de 0,25 m ;
- Création de deux piézomètres-air, ou piézairs, pour réaliser deux prélèvements de gaz du sol. Ces piézomètres-air ont été implantés au droit de S9 et S12, à une profondeur de 0,45 m. L'air a été prélevé à une profondeur de 0,3 m.

Les résultats des analyses des investigations menées sur les gaz du sol, montrent que des composés sont détectés dans les gaz du sol : BTEX, HCT et COHV, avec des dépassements de la VGAI :

- les concentrations en benzène, détectées en PZaS1, PZaS6, PZaS7, PZaS11 et PZaS12 dépassent la VGAI de l'AFSSET/ANSES, qui est de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- les concentrations en trichloroéthylène en PZaS2, PZaS6 et PZaS7 dépassent la VGAI de l'AFSSET/ANSES, qui est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La présence des contaminations mises en évidence sur le site pourrait **induire** :

- un risque sanitaire par contact direct pour les usagers du site (en cas de non conservation du revêtement de surface) ;
- un impact sur la qualité de l'air ambiant (émanations gazeuses possibles), donc des risques sanitaires par inhalation sur les usagers du site ;
- des contraintes en termes de gestion des déblais en cas d'éventuelles excavations.

La synthèse des anomalies détectées dans les gaz du sol est donnée sur la Figure ci-après.

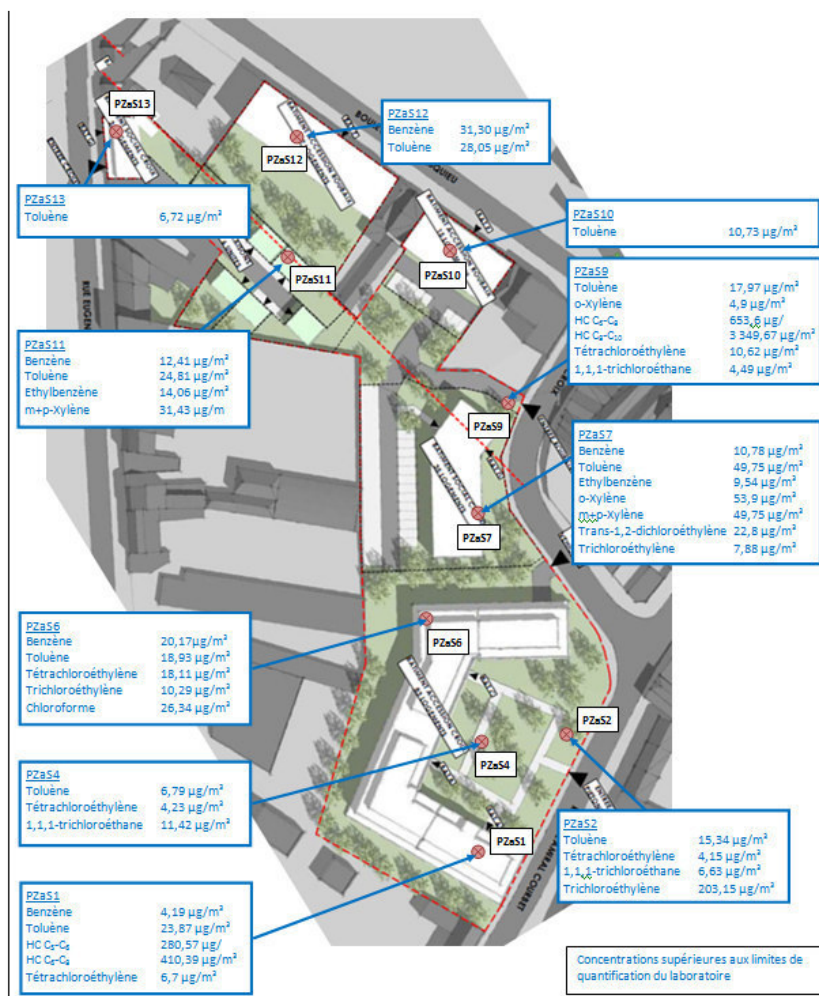


Figure 7 : Cartographie des anomalies dans le milieu gaz du sol (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017)

4.2.3. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines

Trois piézomètres ont été implantés au droit du site les 8 et 9 décembre 2016, leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Caractéristiques des piézomètres mis en place en septembre 2016

Ouvrage	Diamètre	Profondeur de l'ouvrage (m)	Profondeur des crépines	Localisation
Pz1	52/60 mm	11,90	De 1 à 10 m	Dans la cour à l'est du site
Pz2	52/60 mm	11,20	De 1 à 9 m	En limite sud-ouest du site
Pz3	52/60 mm	11,20	De 1 à 11 m	En limite nord-ouest du site

Une campagne de prélèvements a été réalisée le 15 décembre 2016. Des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans les piézomètres présents sur site (Pz1, Pz2 et Pz3) après avoir relevé les niveaux d'eaux.

Le tableau suivant reprend la piézométrie et le nivellement relatif mesurés sur site en décembre 2016 par Antea Group.

Tableau 3 : Mesure du niveau statique de la nappe en décembre 2016

Ouvrage	Altitude en m NGF*	Profondeur de la nappe / repère (m)	Altitude de la nappe	Sens d'écoulement de la nappe
Pz1	102,501	1,62	100,881	Vers le nord
Pz2	102,545	0,62	101,925	
Pz3	99,978	1,82	98,158	

(*) : Nivellement relatif.

L'ouvrage Pz2 se trouverait donc en amont du site et l'ouvrage Pz3 en aval. Le sens d'écoulement de la nappe serait orienté vers le nord.

Les analyses suivantes ont été réalisées sur les 3 échantillons d'eau souterraine prélevés :

- 8 métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn) ;
- BTEX, COHV, HAP ;
- hydrocarbures TPH C₀₅-C₄₀.

Les résultats des analyses des investigations menées sur les eaux souterraines ont mis en évidence une contamination de la nappe : un dépassement du seuil de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est observé au droit du piézomètre amont Pz2 pour le tétrachloroéthylène, le trichloroéthylène et le chlorure de vinyle.

La synthèse des anomalies détectées dans les eaux souterraines est donnée sur la figure ci-après.



Figure 8 : Cartographie des anomalies dans le milieu eaux souterraines (source : rapport ANTEA A87626/A de 2017)

4.3. Diagnostic environnemental complémentaire de 2018

En 2018, suite à des modifications du projet d'aménagement notamment avec l'ajout de parking en sous-sol, des sondages complémentaires ont été réalisés par Antea Group à la demande de SIGLA NEUF.

4.3.1. Description du diagnostic complémentaire des sols

Au total 41 sondages (nommés S1 à S41) entre 2 et 4 mètres de profondeur ont été réalisés du 30 juillet au 1^{er} août 2018 à l'aide d'une foreuse équipée d'un carottier.

Les terrains rencontrés ont été les suivants :

- Enrobé ou dalle béton,
- Remblais d'origine anthropique (brique, limons, scorie, sable etc.),
- Limons argileux et/ou silteux.

La stratégie d'échantillonnage des sols a été adaptée aux besoins de l'étude en fonction de la caractérisation des terres qui seront excavées en phase travaux.

Au total 157 échantillons de sol ont été analysés. Sur chaque échantillon, ont été recherchés :

- Les paramètres du Pack ISDI selon arrêté du 12/12/2014 pour la définition des filières d'élimination,
- Hydrocarbures totaux volatils C5-C10,
- 8 éléments traces métalliques (ETM – As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn),
- Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV).

Pour chaque échantillon de sol, une mesure semi-quantitative in situ des émissions en COV a été réalisée à l'aide d'un PID (Photo ioniseur portatif). Des mesures positives ont été relevées au droit du sondage :

- S7 (parking souterrain), avec une mesure de 56 ppm sur les sols prélevés entre 1 et 2 mètres de profondeur et 1,7 ppm entre 2 et 3 mètres,
- S18 (voirie), avec une mesure de 1,3 ppm sur les sols prélevés entre 0,5 et 2 mètres de profondeur,
- S32 (parking), avec une mesure de 1,7 ppm sur les sols prélevés entre 0,05 et 1 mètre de profondeur.

A noter qu'à l'exception des sols caractérisés au droit de S32, les sols qui présentent des mesures au PID positives au droit de S7 et S18 seront excavés et évacués dans le cadre des travaux d'aménagement.

La localisation des sondages est présentée sur la figure de la page suivante.

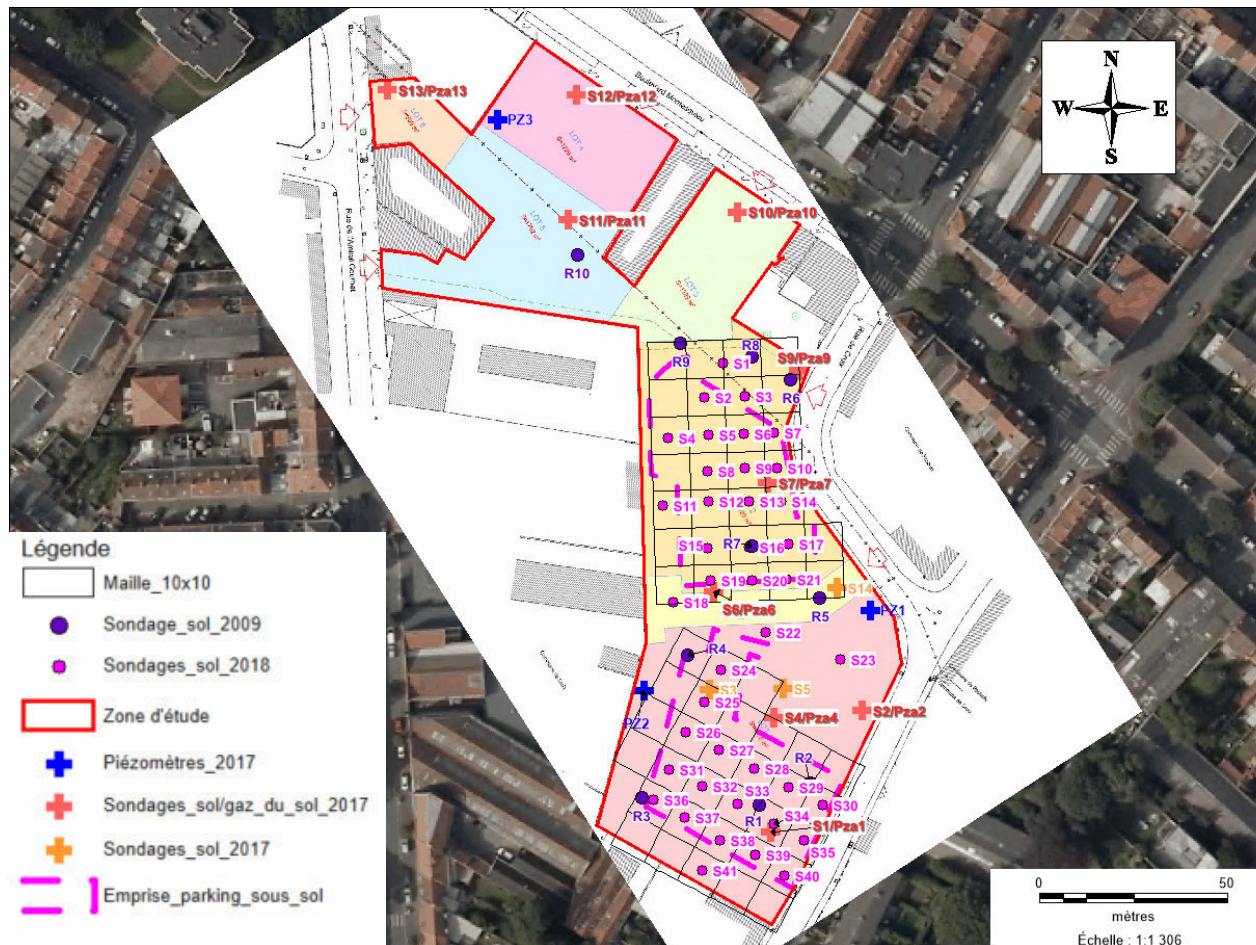


Figure 9 : Localisation des sondages réalisés en 2018

En ce qui concerne les sols destinés à être excavés et évacués (emprise parking), à l'exception du sondage S7, où des anomalies sont notées entre 1 et 2 mètres de profondeur (HCT, HAP et PCB), les impacts sur sol brut sont uniquement notés dans les remblais présents entre 0 et 1 mètre de profondeur (métaux, HCT, HAP et PCB). Aucun impact n'est mis en évidence en COHV, seules des traces, localisées et ponctuelles sont observées. Sous les remblais, le terrain naturel ne présente pas d'impacts significatifs pour les paramètres recherchés.

En ce qui concerne les sols destinés à rester en place (>3,4 mètres au droit des parking et sols de surface zone de voirie), des impacts sont notés dans les remblais entre 0 et 1 mètre de profondeur. Les sols sous-jacents (terrain naturel) sont exempts d'impacts. Les impacts dans les remblais considérés conservés en place sont marqués par la présence de :

- Métaux, avec des impacts en cadmium (S1, S3 et S11), cuivre (S11 et S22), mercure (S3 et S11), nickel (S1), plomb (S11 et S40), zinc (S1, S11, S18, S23 et S40) ;
- Hydrocarbures adsorbés C10-C40 (S18, 6470 mg/kg MS). L'échantillon sous-jacent étant exempt d'impact en HCT, l'extension est limitée aux remblais sur le plan vertical. De plus, les sondages voisins (ancien S6 et S19) sont également exempts d'impact en HCT. L'extension sur le plan horizontal est également limitée ;
- Tétrachloroéthylène (3,67 mg/kg MS au droit de S1). Cet impact en PCE est d'extension limitée sur les plans vertical et horizontal (absence d'impact sur S2 et S3 réalisés en 2018 et ancien S9Pza9) ;
- HAP avec 3400 mg/kg MS au droit de S18 sur les remblais entre 0,07 et 0,5 mètre. L'échantillon sous-jacent (0,5-2 m) présente une teneur de 250 mg/kg MS. L'extension de l'impact noté en surface est limitée sur le plan vertical. Sur le plan horizontal, l'absence d'impact sur les sondages S6 de 2016 et S19 de 2018 indique également une extension limitée ;
- PCB avec 1,01 mg/kg MS au droit de S3 (cet impact reste relativement faible).

Dans les sols destinés à rester en place, aucun impact n'est observé en hydrocarbures adsorbés C5-C10 et BTEX.

4.3.2. Complément d'information acquises sur les eaux souterraines

Lors de la réalisation des sondages, la présence d'humidité a été relevée au droit de 14 d'entre eux. Les observations réalisées peuvent être décrites comme suit :

- à partir de 2 mètres au droit de 10 sondages (S9, S10, S14, S15, S17, S21, S24, S33, S36 et S41),
- à partir de 1,6 mètre au droit de S12,
- à partir de 2,7 mètres au droit de S19,
- entre 0,12 et 1 mètre au droit de S34 et entre 0,08 et 0,6 mètre au droit de S37 (remblais sus-jacents aux limons).

Les humidités ont été relevées de manière hétérogène et 28 sondages ne présentaient pas de traces d'humidité. Par conséquent, les traces d'humidité ne semblent pas caractériser une nappe d'eaux souterraines continue.

En raison de la matrice argileuse identifiée au droit du site, il est possible que les eaux souterraines superficielles prélevées au droit des piézomètres existants ne caractérisent pas une nappe au sens hydrogéologique du terme mais des lentilles d'eau piégées dans la matrice argileuse.

5. Synthèse cartographique des anomalies identifiées

La carte de la page suivante synthétise les anomalies identifiées lors des diagnostics de 2017 et 2018.

Concernant les anomalies notées lors du diagnostic de 2009, la localisation des sondages étant incertaine, elles ne sont pas représentées.

Enfin, pour les sondages réalisés en 2018, seules les anomalies notées sur les sols destinés à rester en place sont représentées (dans l'emprise des parkings en sous-sols, il est considéré que les sols sont excavés et évacués hors site vers la filière adaptée).

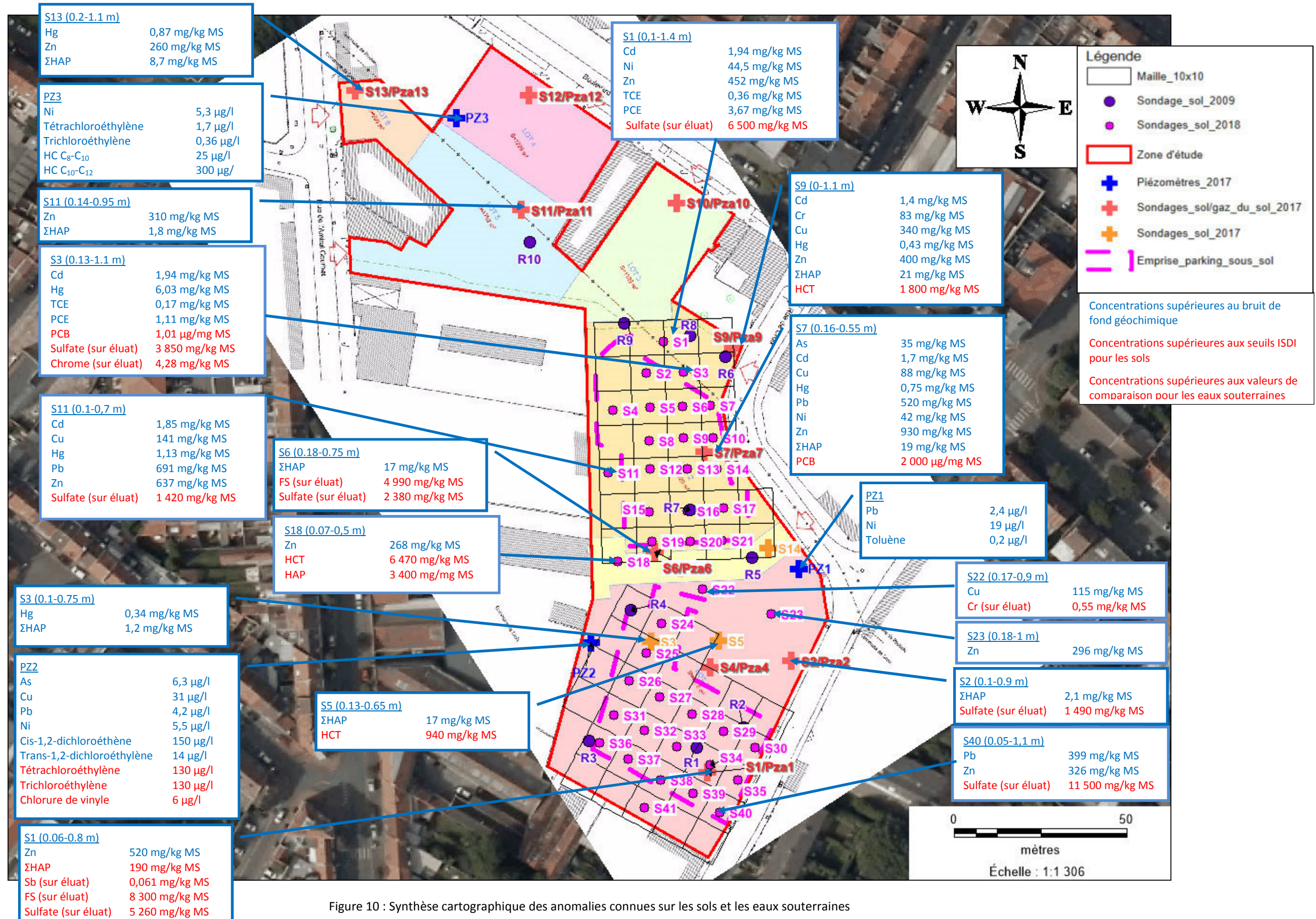


Figure 10 : Synthèse cartographique des anomalies connues sur les sols et les eaux souterraines

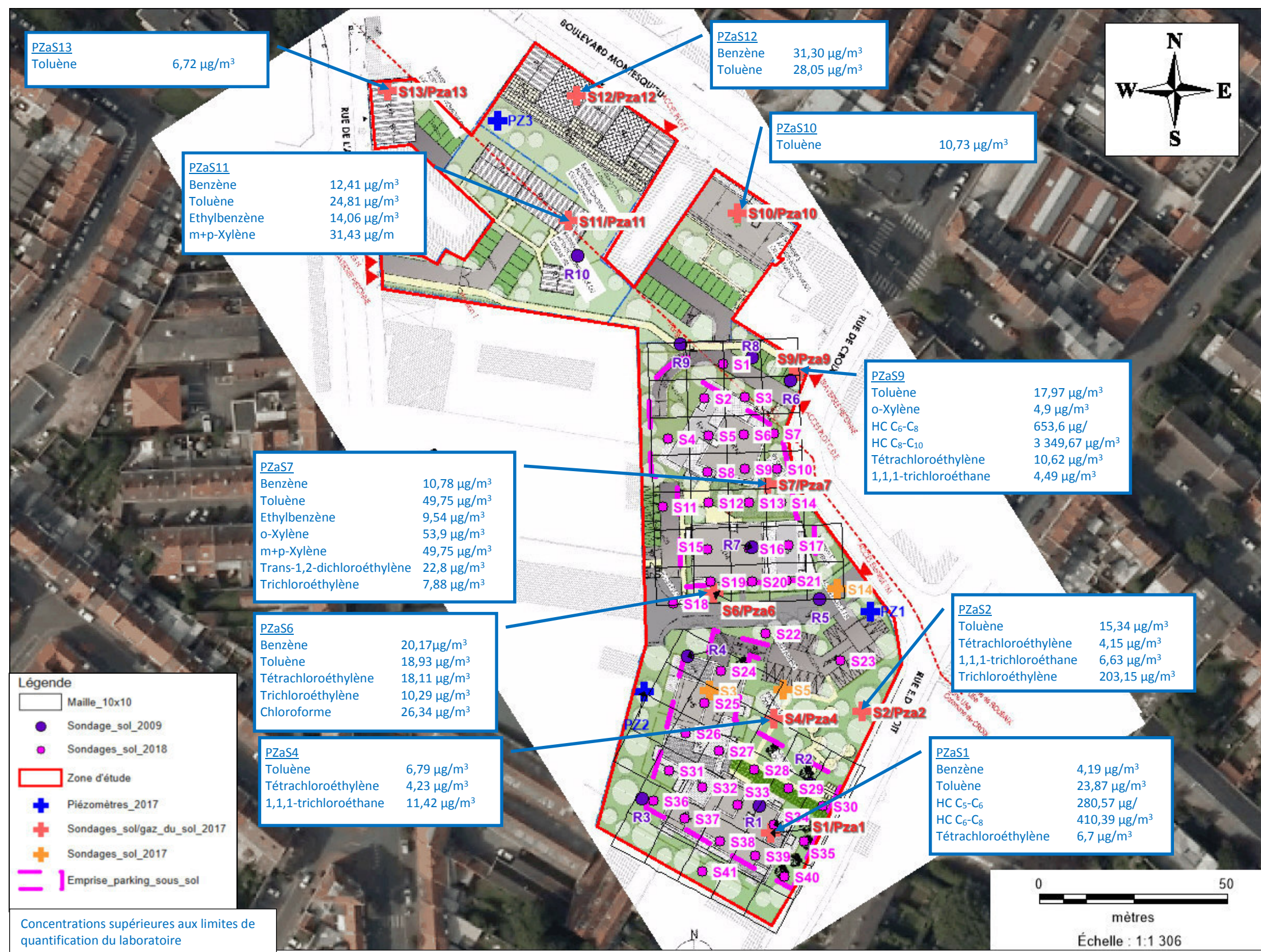


Figure 11 : Synthèse cartographique des anomalies connues sur les gaz du sol

6. Schéma conceptuel initial

Schéma conceptuel

Le schéma conceptuel constitue les fondations sur lesquelles toute démarche de gestion doit reposer.

Il permet de synthétiser et de mettre en relation :

- *Les sources de pollution éventuelles ;*
- *Les voies de transfert et d'exposition aux pollutions ;*
- *Les enjeux sanitaires (usagers) ou environnementaux (eaux souterraines, eaux superficielles, ...) à prendre en considération.*

Le schéma conceptuel s'attache donc à identifier l'ensemble des voies d'administration pertinentes :

- *La consommation d'eau de la nappe, si des captages ou des puits sont présents,*
- *L'ingestion de terres par les enfants,*
- *L'inhalation de poussières,*
- *L'exposition à des vapeurs de polluants provenant du sol ou de la nappe, dans les milieux confinés.*

Ainsi établi, le schéma conceptuel doit permettre d'identifier les actions appropriées à engager pour lever les incertitudes et répondre aux objectifs de l'étude. Le cas échéant, il pourra être mis à jour avec l'acquisition des nouvelles données jusqu'à obtention du schéma conceptuel final.

6.1. Sources de contamination

A la suite des investigations, des sources de pollution ont été identifiées sur le site à savoir :

- Métaux, toluène, COHV et HCT dans les eaux souterraines,
- Métaux, BTEX, HAP, COHV, PCB et HCT dans les sols,
- BTEX, COHV et HCT dans les gaz du sol.

6.2. Vecteurs de transfert

Les vecteurs de transfert des sources de contamination vers les cibles dépendent des aménagements en place. Le Tableau 4 présente ces différents vecteurs de transfert.

Tableau 4 : Vecteurs de transfert de la contamination

Type d'aménagement	Vecteurs de transfert à considérer
Espaces extérieurs (espaces verts, voirie, jardin privés)	• Ingestion de sols. • Inhalation de poussières. • Contact cutané. • Inhalation de vapeur en extérieur.
Espaces intérieurs : Habitations <u>sur sous-sol</u>	Inhalation de vapeur liée au dégazage des composés volatils présents dans les milieux sol, eaux souterraines superficielle et gaz du sol.
Espaces intérieurs : Habitations <u>sans sous-sol</u>	
Ingestion de végétaux auto-produits	Le projet d'aménagement prévoit des jardins privés et des espaces verts collectifs. Des jardins potagers et des arbres fruitiers sont donc possibles au droit du site.
Canalisations enterrées d'eau potable	Ingestion d'eau potable contaminée par perméation au travers des canalisations.
Puits hors site	Ingestion d'eau des puits puisant la nappe superficielle. Cette voie de transfert est écartée. Seuls des usages non sensibles (industriel) sont référencés par la BSS à proximité de la zone d'étude. De plus, les investigations réalisées sur site laissent supposées que les eaux souterraines superficielles sont caractérisées par des lentilles d'eau et non une vraie nappe (non transmissive). Par conséquent, le transfert de composés via les eaux souterraines n'est pas retenu.

6.3. Cibles

Les cibles à considérer sont les futurs résidents du site, les futurs habitants du site et les riverains possédant des puits particuliers.

Les résultats des investigations ont été synthétisés sur le schéma conceptuel présenté sur la page suivante.

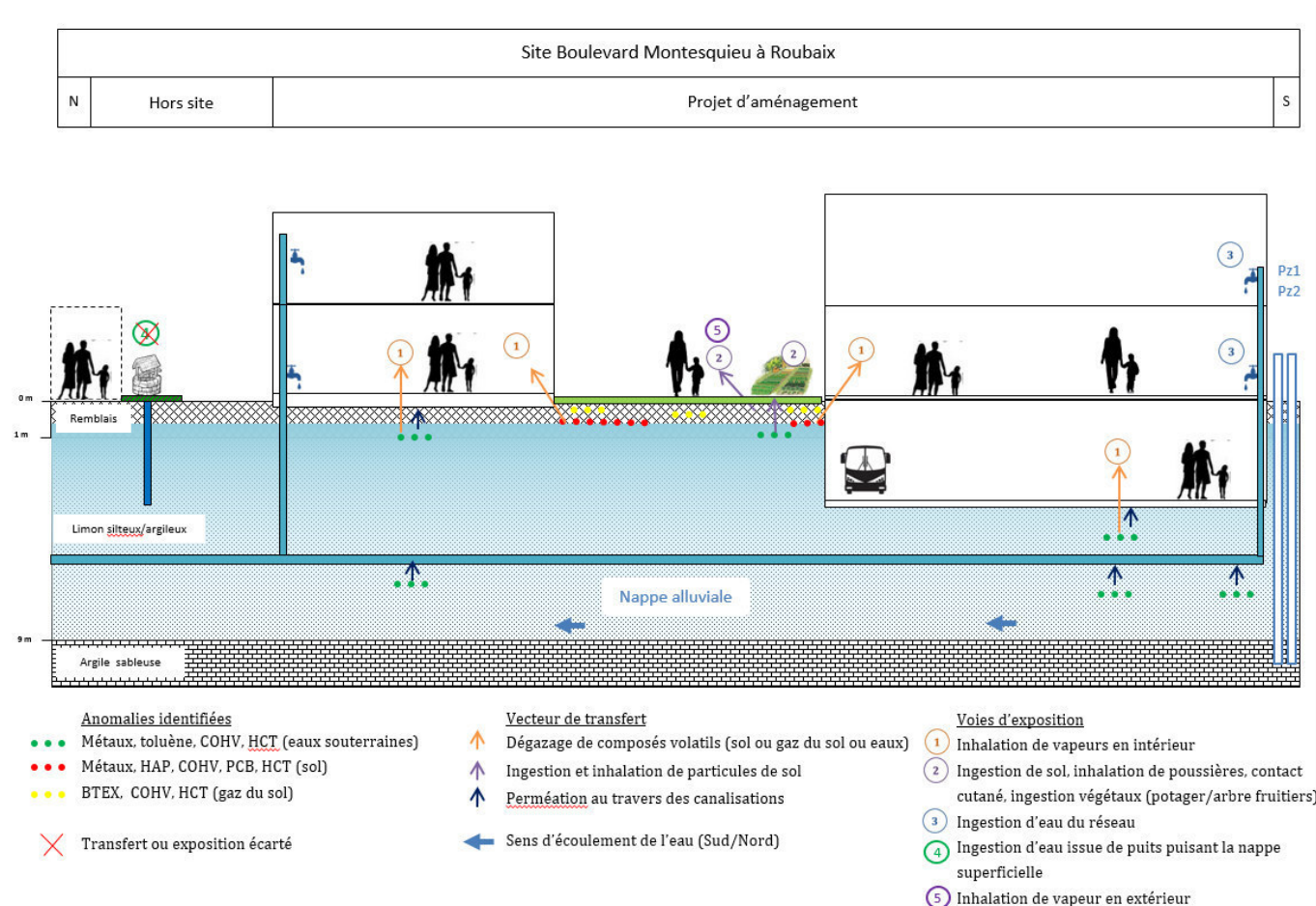


Figure 12 : Schéma conceptuel initial du site

7. Plan de gestion

7.1. Rappel des objectifs

Conformément à la politique nationale de gestion des sites pollués, le plan de gestion a pour objectifs :

- de supprimer les sources de pollution recensées sur le site, et leurs impacts si ces derniers sont constatés,
- si la suppression des sources n'est pas possible, de garantir que les impacts provenant des pollutions résiduelles sont maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.

Il est à noter que les lots 1 et 2 ont fait l'objet en novembre 2018, d'un rapport de diagnostic de pollution des sols complémentaires et d'un plan de gestion spécifique réalisés par Antea Group (rapport A95659/A du 26 novembre 2018). En l'absence de données complémentaires et de modification du projet, les mesures de gestion définies dans le rapport A95659/A restent valides. Elles sont reprises ici.

Pour les lots 3 à 6, les mesures de gestion définies en 2017 (rapport Antea A88549/A de mars 2017) ont été mises à jour, sur la base des dernières informations fournies par SIGLA NEUF.

L'ensemble des mesures de gestion des lots 1 à 6 sont présentées dans les paragraphes suivants.

7.2. Gestion des sources de pollution concentrées

Conformément à la méthodologie nationale des sites et sol pollués d'avril 2017 (cf. chap.3. de la méthodologie), « quelle que soit la nature des polluants, lorsque les volumes de terres polluées en cause sont limités et accessibles, les terres sont excavées et évacuées vers les filières de gestion appropriées sans engager d'études lourdes et coûteuses qui devraient aboutir à cette option de gestion. Dans ce cas précis, le bilan coût avantage n'est pas nécessaire et le plan de gestion se limite à décrire les actions engagées.

7.2.1. Lots 1 et 2

Dans le cadre du projet d'aménagement des lots 1 et 2, la création d'un parking en sous-sol entraîne l'excavation et l'évacuation de l'ensemble des terres présentes au droit des bâtis entre 0 et 3,4 mètres de profondeur et par conséquent, la gestion d'une partie des pollutions concentrées mises en évidence exceptée au droit des sondages S1 (PCE), S3 (PCE et Hg) et S18 (HAP, Plomb). **Les sols restant initialement en place d'après le plan de masse devront être excavés jusqu'à atteinte des seuils de coupures théoriques (présentés ci-après).**

Par conséquent et notamment au regard des terrassement prévus par le projet d'aménagement mené par SIGLA Neuf, il est considéré que la réalisation d'un bilan coût avantage qui aboutira à définir l'excavation comme moyen le plus pertinent n'est pas nécessaire.

Au droit des lots 1 et 2 la comparaison des résultats d'analyses sur sols brut entre eux a permis d'observer des échantillons de sols définissant un volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume. Ainsi des pollutions concentrées sont notées en :

- HCT, au droit de S4 (6720 mg/kg MS) entre 0,13 et 0,6 mètre de profondeur,
 - S7 (1350 mg/kg MS) entre 0,05 et 1 mètre, S14 (1210 mg/kg MS) entre 0,1 et 0,6 mètre, S18 (6470 mg/kg MS) et S39 (1190 mg/kg MS) entre 1 et 1,65 mètre ;
- HAP, au droit de S7 (570 mg/kg MS) entre 0,05 et 1 mètre, S18 (3400 mg/kg MS) entre 0,07 et 0,5 mètre ;
- PCB, au droit de S33 (16,5 mg/kg MS) entre 0,1 et 0,75 mètre ;
- PCE, au droit de S1 (3,67 mg/kg MS) entre 0,1 et 1,4 mètre ;
- Plomb sur sol brut, au droit de S8 (18400 mg/kg MS) entre 0,12 et 0,6 mètre ;
- Mercure sur sol brut, au droit de S4 (6,56 mg/kg MS) entre 0,13 et 0,6 mètre.

La répartition graphique de l'ensemble des résultats pour les paramètres cités ci-dessus a permis d'observer que des volumes de milieu souterrain, délimités dans l'espace, présentent des concentrations significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume (cf. rapport A95659/A du 26 novembre 2018). Ainsi, une analyse statistique des résultats de sol obtenus a été réalisée afin de définir des seuils de coupures théoriques³. Les seuils de coupures déterminés sont les suivants :

- Hydrocarbures adsorbés C10-C40 (HCT), 1 350 mg/kg MS,
- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), 86 mg/kg MS,
- Polychlorobiphényles (PCB), 2,67 mg/kg MS,
- Tétrachloroéthylènes (PCE), 0,1 mg/kg MS,
- Plomb (Pb), 2 000 mg/kg MS,
- Mercure (Hg), 1,13 mg/kg MS,

³ Le seuil de coupure est défini comme étant la concentration pour laquelle le pourcentage de la masse de polluant devient supérieur au pourcentage de la masse de sol. Ainsi, le traitement des sols présentant une teneur supérieure au seuil de coupure permet de traiter les sols en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité.

Les surcoûts liés à la gestion des sources concentrées sont donc estimés entre 81 et 87 K€ (Cf. rapport Antea A95659/A du 26 novembre 2018).

7.2.2. Lots 3 à 6

A l'issue de l'étude documentaire et historique (cf. rapport ANTEA A87626/A de janvier 2017), un programme d'investigation a été défini pour caractériser la qualité des milieux à proximité des structures à risque potentiel de pollution. Ainsi, 1 sondage de sol équipé en piézair a été réalisé au droit de chacun des lots 3 à 6. De plus, un piézomètre a été implanté sur le lot 4.

Les résultats d'analyses ont permis de faire les constats suivants :

- Lot 3, absence d'anomalies significatives et de dépassement des seuils ISDI sur les sols (sondage S10) et toluène quantifié dans les gaz du sol ;
- Lot 4, absence d'anomalies significatives et de dépassement des seuils ISDI sur les sols (sondage S10) et teneurs dans les gaz du sol inférieures aux limites de quantifications du laboratoire d'analyses. Les résultats obtenus sur les eaux souterraines permettent de noter la présence d'anomalie en nickel, TCE, PCE et hydrocarbures C8-C12 ;
- Lot 5, anomalies en zinc (310 mg/kg MS) et HAP (1,8 mg/kg MS) avec des teneurs inférieures aux seuils ISDI (sondage S11). Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes quantifiés dans les gaz du sol ;
- Lot 6, anomalies en mercure (0,87 mg/kg MS), zinc (260 mg/kg MS) et HAP (8,7 mg/kg MS) avec des teneurs inférieures aux seuils ISDI (sondage S13). Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes quantifiés dans les gaz du sol.

Au regard des résultats disponibles, aucune de source de pollution concentrée n'a été mise en évidence au droit des lots 3 à 6. Toutefois, les résultats des études réalisées sur l'ensemble de la zone concernée par le projet d'aménagement, permettent de faire le constat que des anomalies sont notées de manière éparse notamment dans les remblais.

Avec un sondage par lot, il n'est pas possible d'exclure la possibilité d'un impact non identifié. **C'est pourquoi, dans le cadre du réaménagement des lots 3 à 6, après réalisation des plans de terrassement par le maître d'ouvrage, il est recommandé, pour chaque lot, de vérifier l'absence d'anomalies significatives dans les terrains restant en place et notamment le respect des seuils de coupures établis pour les lots 1 et 2.**

7.3. Maîtrise des risques

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, des mesures de gestion doivent être mises en œuvre pour garantir que les impacts provenant des pollutions résiduelles (après gestion des sources concentrées) sont maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.

Les paragraphes suivants présentent les mesures de gestion à mettre en œuvre pour la maîtrise des risques.

7.3.1. Maîtrise des risques liés à l'inhalation de poussières (espaces verts collectifs et privés)

Les zones à usage futur d'espaces verts (collectifs et privés) devront faire l'objet d'un recouvrement pérenne. Le recouvrement vise à agir sur les modes de transfert possibles des substances vers les usagers futurs du site. Cette technique est adaptée pour les zones impactées par des composés pas ou peu volatils, qui une fois recouvertes, ne présentent plus de risques pour la santé humaine grâce à la suppression des possibilités de transfert par ingestion de particules de sol, ingestion et inhalation de poussières.

Le recouvrement s'impose comme une solution techniquement et économiquement envisageable pour la gestion du site, en conformité avec les principes de la Note du 19 avril 2017. Il paraît en outre approprié pour faciliter la végétalisation des zones d'espaces verts. Dans le cas où les cotes altimétriques du projet ne permettraient pas la mise en œuvre de ce recouvrement, il conviendrait de procéder à une substitution de terres, lesquelles seraient alors remplacées par des terres saines.

Le recouvrement sera réalisé par un apport de terres saines sur au moins 70 cm d'épaisseur au droit des espaces verts privés et sur au moins 30 cm d'épaisseur au droit des espaces verts collectifs.

Un grillage avertisseur ou un géotextile anticontaminant imputrescible signalera le contact entre les terres d'apport et les terres laissées en place.

Les matériaux d'apport devront être conformes au bruit de fond pédogéochimique local, conformément à la politique nationale de gestion des sites et sols pollués. L'utilisation de matériaux issus de sites susceptibles d'être à l'origine d'une contamination du sous-sol sera interdite. Les terres susceptibles de contenir des engins pyrotechniques ne seront également pas acceptables.

Il est à noter qu'au droit des bâtiments et des voiries, parkings, le recouvrement des sols par des revêtements de type enrobé ou dalle béton permet d'éviter le contact direct avec les sols, la remobilisation des poussières du sol et l'ingestion de sols.

7.3.2. Maîtrise des risques liés à la réalisation de potagers ou à l'implantation d'arbres fruitiers

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 précise que, « dans tous les cas, la qualité des fruits et des légumes cultivés sur d'anciens sites pollués devra être régulièrement contrôlée à l'issue des travaux ». Cette mesure impose donc un contrôle régulier sur le long terme des végétaux.

Au regard des anomalies résiduelles dans les sols, des anomalies mesurées dans les eaux souterraines de surface (lentille d'eau présente dans les limons) et de la faible profondeur de

celle-ci (inférieure à 1 m au droit de PZ2), l'absorption racinaires des composés présents dans les sols et les eaux souterraines de surface par tout type de végétaux ne peut pas être écartée.

Par conséquent les potagers sur les espaces privatifs et collectifs ainsi que les arbres fruitiers ne seront pas autorisés.

Cette interdiction sera communiquée aux usagers dans le règlement de copropriété, les baux de location, les actes notariés lors d'acquisition.

7.3.3. Maîtrise des risques liés aux réseaux enterrés

7.3.3.1. Canalisations d'eau potable

Principe et zones concernées

Les investigations menées mettent en évidence la présence de composés dont les caractéristiques physico-chimiques induisent un risque de transfert au travers des canalisations d'amenée d'eau potable.

Modalités de gestion

Conformément au Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des Sites et Sols Pollués⁴, les risques de transfert de polluants vers les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable seront supprimés de la manière suivante :

- Privilégier le passage des canalisations dans des terrains non pollués,
- Dans le cas contraire, mise en place d'un remblai de matériaux sains sur une surface d'au moins 1 m² autour de la canalisation ;
- Ou mise en place de la conduite dans un caniveau technique en béton de composition adaptée,
- Ou mise en œuvre de l'une (ou de la combinaison) des deux solutions suivantes :
 - mise en place de canalisations en matériaux résistants aux substances présentes dans les sols et la nappe, c'est-à-dire des canalisations métalliques ou multicouches (présence d'une couche métallique entre deux couches non métalliques),
 - mise en place autour de la canalisation d'une couverture bentonitique (type GSB).

7.3.3.2. Autres réseaux enterrés

La solution la plus simple afin de protéger les réseaux est de les placer au sein même de la tranchée de pose, dans un lit de matériaux sains (minimum 1 m² de section verticale). La pose de réseaux en terrain pollué devra être évitée.

Par sécurité, les canalisations seront en matériau anti-contaminant et assurant une bonne étanchéité au niveau des joints (fonte ductile recouverte de PEHD par exemple).

⁴ BRGM/RP-63675-FR, août 2014

7.3.4. Maîtrises des risques pour les ouvrages en béton et les fondations

Pour les bétons et autres matériaux en contact avec les sols, le concepteur devra mettre en œuvre des moyens insensibles aux substances présentes dans les sols.

A ce stade de la connaissance des milieux, il apparaît que les teneurs en sulfates sur éluat mesurées dans les sols peuvent être élevées (exemple : 14 800 mg/kg au droit de S31). Au sens de la norme NF EN 206⁵, le degré d'agressivité des sols vis-à-vis des bétons est considéré comme modéré pour des teneurs entre 3 000 et 12 000 mg/kg de sulfates dans les sols.

Il sera donc nécessaire d'adapter les techniques (cuvelage et étanchéité) mises en œuvre en conséquence.

L'attention est attirée sur le fait qu'aucun test d'agressivité des sols ou des eaux vis-à-vis des bétons, étanchéité ou cuvelage, n'a été effectué dans le cadre du présent diagnostic. Les éléments disponibles laissent toutefois entendre qu'un degré d'agressivité non négligeable peut exister par endroits. Il appartiendra donc au Maître d'ouvrage de faire effectuer les tests nécessaires pour dimensionner correctement les ouvrages (béton, cuvelage) susceptibles d'être dégradés par une potentielle agressivité des sols ou des eaux vis-à-vis de ces structures.

En raison de la présence d'eaux souterraines de surface, SIGLA NEUF prévoit la réalisation d'un cuvelage au droit des lots 1 et 2 présentant des sous-sols. Il est à noter que cette mesure constructive ne signifie pas la suppression du transfert de polluant volatil depuis les sols ou les eaux souterraines de surface vers l'intérieur des bâtiments.

7.3.5. Maîtrise des risques liés à l'utilisation des eaux souterraines

Les investigations réalisées sur site laissent supposées que les eaux souterraines de surface sont, en fait, des lentilles d'eau retenues par une matrice argileuse identifiée au droit du site. Il ne s'agirait donc pas d'une vraie nappe au sens hydrologique du terme (non transmissive) mais plutôt des retenues d'eaux ponctuelles. L'utilisation de ces eaux paraît donc peu envisageable.

Cependant, une **restriction de l'usage des eaux souterraines** sera mise en place compte tenu du fait que les analyses présentent un dépassement des limites de qualité des eaux de consommation humaine en COHV. La réalisation de puits à usages privés ou collectifs sera proscrite (arrosage des jardins et espaces verts, ou usage récréatif).

Les préconisations précédentes ne s'appliquent pas pour l'installation de pompes à chaleur (prélevant l'eau en partie inférieure de la nappe) car les piézomètres ne sont représentatifs que de la partie supérieure de l'aquifère (prélèvement entre 10 et 15 m de profondeur).

⁵ Norme intitulée « Béton - Spécification, performance, production et conformité ».

La mise en place de pompes à chaleur devra faire l'objet d'une étude de préfaisabilité de façon systématique puisque le milieu environnant (sol/eau souterraine) est ou a été impacté par les anciennes activités. Cette étude devra en outre aborder l'incidence du projet sur la pollution des milieux.

7.3.6. Maîtrise des risques liés à des remontées gazeuses

A ce stade, aucune mesure de gestion n'est établie pour la maîtrise des risques liés à des remontées gazeuses.

Il est à noter que le cuvelage prévu au droit des lots 1 et 2 ne constitue pas une barrière au transfert de substances volatiles contenues dans les eaux souterraines et les sols à l'intérieur des bâtiments.

Aucun cuvelage n'est prévu au droit des lots 3 à 6 en raison de l'absence de sous-sol au droit de ces lots au sein du projet d'aménagement.

7.3.7. Maîtrise des risques liés aux travaux

La réalisation de projets ou travaux pouvant comporter un contact direct ou indirect avec les terrains contaminés (par le biais de poussières notamment) devra être précédée d'une évaluation des risques¹⁰.

Cette évaluation définira, en conformité avec la réglementation en vigueur, les mesures de prévention qui pourront être mises en œuvre lors des travaux, de manière à protéger :

- La santé et la sécurité des travailleurs ;
- L'environnement et notamment les sols, les eaux souterraines et superficielles, la qualité de l'air ;
- La sécurité des riverains et la santé publique.

Ces mesures s'entendent hors problématique amiante.
--

7.4. Obligations du Maître d'ouvrage

Dans la parution de tout CCTP travaux, les contraintes hygiène, sécurité et environnement (HSE) seront clairement explicitées.

Le Maître d'Ouvrage ou le CSPS¹¹ (Coordinateur en matière de Sécurité et de Protection de la Santé) déterminera les mesures de prévention applicables lors des différentes phases du

¹⁰ Article R4121-1 du code du travail : « L'employeur transcrit et met à jour dans un document unique les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs à laquelle il procède en application de l'article L. 4121-3. Cette évaluation comporte un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement. »

¹¹ Le CSPS est désigné conformément aux dispositions de l'arrêté du 25 février 2003 définissant une liste de travaux pour lesquels un Plan Général simplifié de Coordination en matière de Sécurité et de Protection de la Santé est requis.

chantier dans l'optique de la prévention de la sécurité et de la santé des travailleurs, incluant notamment :

- les règles de circulation et d'accès au chantier ;
- les mesures de protection collective (contrôle des émissions de poussières et d'odeurs ...) ;
- le port des équipements de protection individuels (EPI) ;
- l'arrosage de la zone en cas d'envol de poussières ou d'odeurs incommodantes ;
- des mesures d'atmosphère (zone ATEX....).

Préalablement à la réalisation des travaux, une réunion de sensibilisation sera organisée par le maître d'ouvrage ou le CSPS à l'attention de l'ensemble des intervenants.

7.5. Obligations de l'entreprise

Chaque entreprise amenée à intervenir sur le site procédera à une évaluation des risques qui précisera les dispositions opérationnelles à mettre en œuvre pour garantir la sécurité des travailleurs : modes opératoires à respecter, personnel concerné par le contact avec les terrains contaminés, moyens à mettre en œuvre pour la protection de la santé du personnel, etc.

Si cette analyse des risques prend la forme d'un PPSPS, elle devra être validée par le CSPS et mise à disposition de la CRAM.

Durant l'ensemble des phases, des locaux spécifiques pour les intervenants seront prévus, ainsi que la mise en service d'une aire de lavage des engins de terrassement (en sortie de site), permettant de limiter le plus possible les transferts de pollution en dehors du site et en particulier vers les voiries et propriétés riveraines.

7.6. Protection des travailleurs

Au droit des zones impactées par les hydrocarbures volatils et lors du terrassement à ciel ouvert, une borne de détection de composés volatils (COV) pourra être utilisée pour informer les travailleurs des teneurs dans l'air. En cas d'odeurs très incommodantes, une protection respiratoire devra être mise à disposition des intervenants.

Des mesures immédiates et plus simples, tels, le positionnement des travailleurs et des chauffeurs des engins avec le vent dans le dos, ou encore le maintien des portes et des fenêtres closes, peuvent être envisagées (sans utilisation de la ventilation ou de la climatisation qui concentre l'air dans l'espace ventilé).

7.7. Préconisations en vue de l'évolution de l'usage et/ou de travaux ultérieurs - Conservation de la mémoire

7.7.1. Maintien de la couverture des sols

La pérennité d'un recouvrement sera garantie par des dispositions adaptées (restrictions d'usages annexées aux actes de vente et aux baux de locations successifs et communiquées aux gestionnaires de sites, par exemple).

L'interdiction de planter des végétaux comestibles (potagers, arbustes et arbres) sera également précisée aux futurs usagers par ce biais.

Dans le cas de travaux affectant le recouvrement des sols (excavation par exemple), celui-ci devra être reconstitué après l'intervention selon les modalités du présent document.

7.7.2. Mémoire de la qualité des milieux en place

Un document dont la forme reste à définir (PLU, acte notarié, dossier de servitudes, règlement de propriété, etc.) reprendra les différentes restrictions et obligations liées au terrain afin de conserver la mémoire des aménagements et contraintes liées au site.

7.7.3. Usage du site

Les mesures de gestion ont été établies pour le projet d'aménagement spécifique qui nous a été annoncé par le Maître d'ouvrage (Permis d'aménager ancien site BIEHLER – Roubaix // Croix, Plan de composition (PA4) d'octobre 2017 et Hypothèse d'implantation des bâtiments (PA4) d'octobre 2017).

Toute évolution de ce projet devra donner lieu à une actualisation des mesures de gestion. A fortiori, tout changement d'usage ultérieur devra conduire à l'établissement de nouvelles mesures de gestion.

7.8. Divers

Il est interdit de procéder à des mélanges de terres pour atteindre des objectifs de teneur.

7.8.1. Sécurité

L'entreprise mettra en œuvre tous les moyens nécessaires pour limiter l'envol des poussières (arrosage par temps sec notamment). Tous les transports de terres polluées (circulations internes ou vers l'extérieur) seront réalisés par des véhicules bâchés ou fermés et par un transporteur autorisé.

La signalisation afférente aux zones et à leurs dangers sera clairement exposée, conformément à la réglementation en vigueur (nature des dangers, port du casque obligatoire, défense de fumer, défense de manger dans la zone chantier, nature des déchets à déposer dans des bennes spécifiques, etc.).

Le pourtour des fouilles devra être mis en sécurité. Les zones de travail devront être matérialisées et balisées en permanence jusqu'à la fin des travaux. En cas de risques particuliers, cette signalisation sera à renforcer en conséquence.

7.8.2. Gestion des travaux ultérieurs impliquant un remaniement du sous-sol

Le remaniement du sous-sol peut intervenir lors de travaux de type terrassement, réparation de voirie, mise en place de réseaux enterrés, etc. Au vu de la qualité des terrains en place et des mesures de recouvrement adoptées, il est nécessaire de reconstituer la nature, la répartition et l'ordre des terrains laissés en place (remblaiement en respectant la localisation des terres et l'ordre initial des couches).

Les déblais excédentaires devront être évacués en filières agréées.

7.8.3. Comblement des puits et forages

Les ouvrages existants sont à conserver durant le chantier. Après les travaux et sous réserve d'absence d'anomalie, ils pourront être comblés selon les règles de l'art, selon la norme NF X 10-999.

7.8.4. Découverte d'une pollution

Malgré les diagnostics effectués, la découverte d'anomalies non connues à ce jour est possible. Cet aléa sera pris en considération dans le Dossier de Consultation des Entreprises. Les zones ponctuelles et concentrées de pollutions qui seraient découvertes pendant la phase de chantier devront faire l'objet d'un traitement adapté, au même titre que les zones connues, conformément à la politique nationale d'approche des sites et sols pollués. Les entreprises devront être équipées d'un PID (Photo Ionisateur) pour anticiper tout mouvement de terres depuis une zone non connue apparaissant contaminée.

En cas de découverte de pollution non connue à l'avance, l'entreprise doit en informer immédiatement le maître d'ouvrage. Ensuite, les mesures à adopter en urgence sont les suivantes :

- Faire appel au prestataire externe qualifié en charge du suivi des terres excavées, qui se prononcera sur les mesures de gestion spécifiques à engager ;
- Placer les terres excavées sur une zone de confinement temporaire ;
- Clôturer la zone et baliser la fouille en attente de mesures de gestion adaptées.

Toute personne intervenant sur le site et découvrant une pollution devra en avertir le Maître d'ouvrage, le propriétaire du terrain ou toute personne en relation contractuelle avec l'occupant.

7.8.5. Contrôles des mesures de gestion préconisées

Conformément à la méthodologie nationale, un suivi de la bonne application des mesures préconisées sera mis en œuvre. Ce suivi, réalisé par une entité indépendante des prestataires en charge des opérations de dépollution, comprendra notamment :

- Le suivi de la gestion des terres excavées ;
- Le suivi de chantier pour l'optimisation de la gestion des terres, le suivi des excavations et la traçabilité des terres (BSD) ;
- Le prélèvement et l'analyse des parois et fonds de fouille (sol) ;
- Les contrôles de l'intégrité du recouvrement des sols ;
- Le contrôle de la mise en œuvre du grillage avertisseur et du géotextile anti-contaminant ;
- Le contrôle de l'épaisseur des terrains excavés et rapportés ;
- Le contrôle de la provenance et de la qualité des terres végétales et des remblais d'apport.

7.8.6. Dossier de récolement

A l'issue des travaux, un dossier de récolement sera établi par l'entreprise. Il comprendra :

- La traçabilité des terres évacuées (BSD) par filières ;
- Les mesures de gestion mises en œuvre ;
- La traçabilité des mouvements de terre sur site (plans de géomètre géoréférencés) ;
- Les volumes terrassés ;
- Les analyses de contrôle des terres d'apport ;
- L'analyse des risques résiduels en cas d'impact résiduel après travaux (ARR) ;
- Les restrictions d'usages éventuelles ;
- La nécessité d'un suivi des eaux souterraines ultérieur (bilan quadriennal).

8. Elaboration du schéma conceptuel final

La conception du schéma conceptuel actualisé en tenant compte des mesures de gestion est présentée ci-dessous.

8.1. Sources de contamination

A la suite des investigations, des sources de pollution ont été identifiées à savoir :

- Métaux, toluène, COHV et HCT dans les eaux souterraines,
- Métaux, BTEX, HAP, COHV, PCB et HCT dans les sols,
- BTEX, COHV et HCT dans les gaz du sol.

8.2. Vecteurs de transfert

Au vu du recouvrement prévu dans les mesures gestion, les voies de transfert par contact direct, ingestion et inhalation des sols et de poussières n'ont pas été retenues. Une mesure de gestion interdisant les jardins potagers et les arbres fruitiers permet également de supprimer la voie de transfert par ingestion de végétaux impactés.

De plus, les mesures de gestion préconisées permettent d'éliminer la voie de transfert d'ingestion d'eau présentant potentiellement des anomalies via la perméation des composés présents dans les sols et la nappe vers les conduites d'eau potable enterrées.

Seul le vecteur « inhalation de vapeurs », en intérieur et extérieur, provenant des sols et des eaux souterraines est maintenu pour les espaces verts (privatifs, collectifs) et les locaux (logement ou bureaux) des bâtiments (avec et sans sous-sol).

8.3. Cibles

Compte tenu de la localisation des sources et le vecteur de transfert retenu, les cibles identifiées demeurent les adultes ou les enfants fréquentant les différents espaces.

Il est cependant rappelé qu'au cours des travaux de réaménagement du secteur, les travailleurs, dans le cadre des terrassements, sont des cibles temporaires, dont la prise en compte sera effectuée au travers de l'évaluation des risques prévue par le Code du Travail et du respect des dispositions prévues par les mesures de gestion.

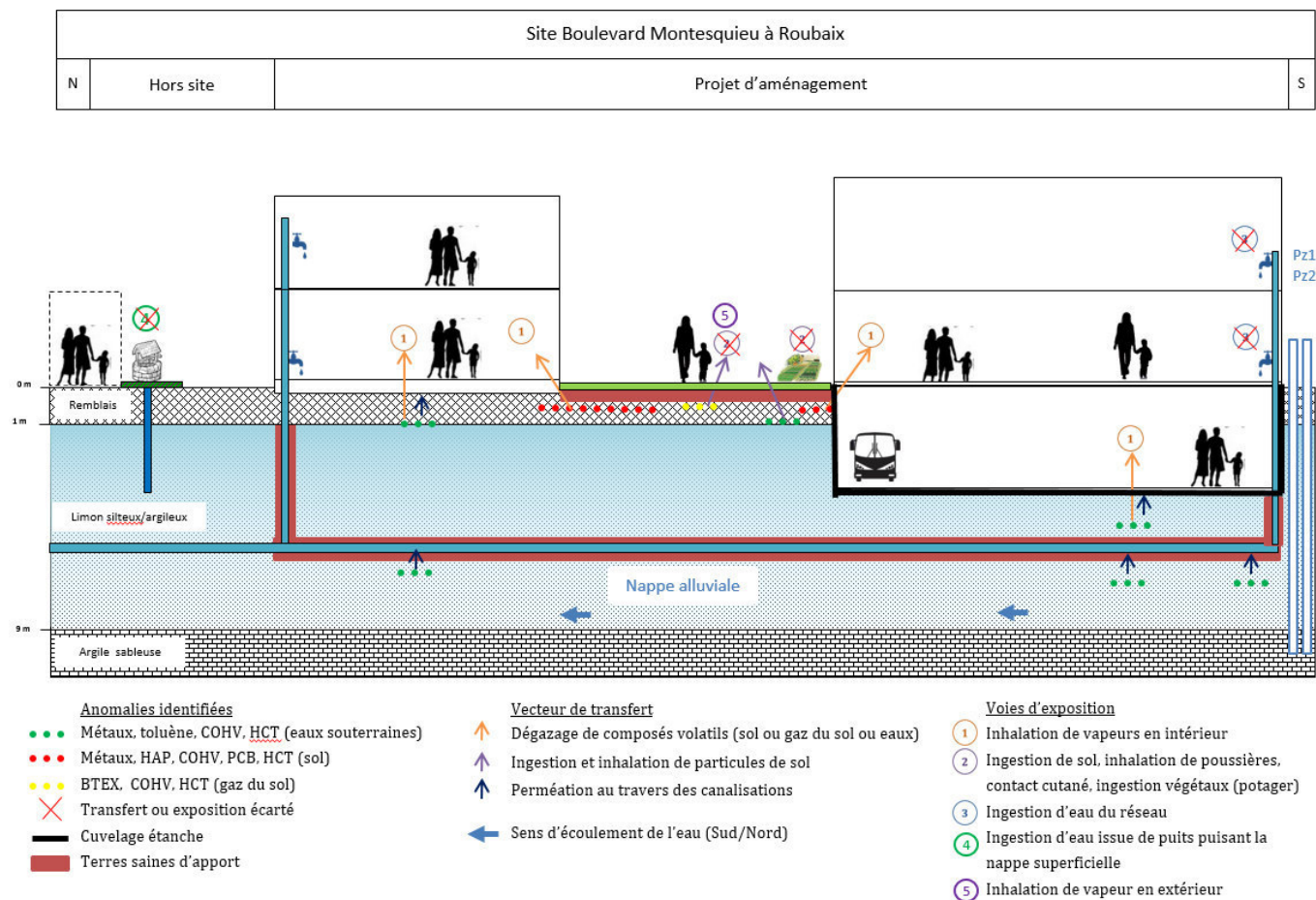


Figure 13 : Schéma conceptuel de fonctionnement

9. Validation des mesures de gestion

L'Analyse des Risques Résiduels a pour objectif de vérifier que, une fois les mesures de gestion mises en œuvre, les risques générés vis-à-vis des futurs aménagements envisagés seront acceptables. Elle se base sur un schéma conceptuel actualisé (figure 15) en tenant compte des mesures de gestion.

Les résultats de l'analyse des risques résiduels permettent, après la mise en place des mesures de gestion présentées précédemment, de confirmer la compatibilité sanitaire entre l'état environnemental connu du site et le projet d'aménagement envisagé.

Les résultats de l'ARR sont présentés en annexe 2.

10. Synthèse technique et recommandations

Le site de l'ancienne ICPE Biehler localisée boulevard de Montesquieu à Roubaix (59), fait l'objet d'un projet d'aménagement réalisé par la société SIGLA NEUF. Ce projet propose une refonte totale du site avec la création de 6 lots. Sur les lots 1 et 2, 4 bâtiments à usage d'habitation avec parking en sous-sol, espaces verts privatifs et communs seront construits. Les lots 3 à 6, seront à usage d'habitation ou économique, 4 bâtiments, des espaces verts communs et privatifs seront construits.

Les études menées ont montré que le site d'étude avait été occupé par plusieurs activités et installations potentiellement polluantes. Des investigations des milieux (sols, eaux souterraines, gaz de sol) ont donc été menées et ont permis de mettre en évidence :

- Dans les sols : des anomalies en métaux (notamment plomb et mercure), COHV (TCE, PCE), Hydrocarbures adsorbés et dissous (HAP, HCT) et PCB ;
- Dans les eaux souterraines : des anomalies en Métaux, toluène, COHV et HCT ;
- Dans les gaz de sol : la présence de BTEX, COHV et hydrocarbures C5-C10.

Afin de garantir la prise en compte effective de ces contraintes et dans le cadre des dépôts de permis d'aménager et permis de construire, SIGLA Neuf a consulté Antea Group pour exposer et définir les actions nécessaires pour que :

- La faisabilité du projet tel qu'envisagé, au regard des contraintes identifiées, soit assurée ;
- La compatibilité des terrains avec les usages projetés soit démontrée ;
- L'implantation de logements et d'infrastructures soit envisageable.

Antea Group a donc établi des mesures de gestion en vue d'assurer la compatibilité du site avec l'usage envisagé.

Les mesures de gestion envisagées pour assurer la compatibilité entre l'état des sols, des eaux souterraines et l'usage futur envisagé sont les suivantes :

- Excavation et évacuation des sources concentrées de pollution en HCT, PCB, HAP, Plomb, Mercure et PCE identifiés sur le site. Des seuils de coupures à respecter ont été établis (cf. paragraphe 7.2. Gestion des sources de pollution concentrées) ;
- Mise en place d'un recouvrement pérenne au droit :
 - des bâtiments (dalle béton) ;
 - des voiries et parkings (enrobé bitumineux ou dispositif équivalent) ;
 - des espaces verts pour les espaces collectifs (terres saines sur 30 cm minimum) et privatifs (terres saines sur 70 cm minimum) séparées des sols en place par un dispositif avertisseur et un géotextile anticontaminant imputrescible ;
- Interdiction d'implanter des arbres à fruits comestibles et de créer des potagers (espaces publics et privés). Interdiction à noter dans les règlements de copropriété, acte notarié, baux locatifs etc. ;

- Mise en place des canalisations enterrées d'eau potable dans une tranchée avec remblai propre et/ou réalisées dans des matériaux résistants aux substances présentes dans les sols et la nappe ;
- Restrictions d'usage des eaux souterraines au droit du site ;
- Mise en œuvre de mesures d'hygiène et sécurité pour les travailleurs amenés à entrer en contact avec les terres du site présentant des anomalies, dans le cadre de travaux de terrassement par exemple,
- Gestion adaptée des terres excavées et déblais en fonction de leur qualité ;
- Mise en place d'une procédure de gestion des anomalies éventuellement découvertes en phase de travaux ;
- Conservation en mémoire des mesures de gestion engagées ;
- Contrôle de l'application des mesures de gestion préconisées par un organisme extérieur aux entreprises en charge des travaux.

Les mesures de gestion ainsi établies permettent de supprimer les vecteurs de transfert des substances identifiées au droit du site à l'exception de l'inhalation de vapeur en milieu intérieur et extérieur (ensemble du site). Ainsi, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, une Analyse Quantitative du Risque Sanitaire (Cf. annexe 2) a été réalisée afin de valider la compatibilité de l'aménagement envisagé avec les anomalies résiduelles identifiées sur site.

La réalisation d'une Analyse Quantitative du Risque Sanitaire pour la voie inhalation en intérieur et extérieur a permis de confirmer, sur la base des résultats obtenus sur les gaz du sol, l'absence de risque sanitaire pour la voie inhalation. Ainsi, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites potentiellement pollués, **les mesures définies ont été validées par des calculs de risques sanitaires, qui ont montré que les critères sanitaires en vigueur sont respectés lorsque ces mesures de gestion sont mises en œuvre.**

Toutefois et conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites potentiellement pollués, pour limiter les incertitudes liées à la ponctualité des prélèvements réalisés en décembre 2016 et aux conditions climatiques, il est recommandé de réaliser des investigations complémentaires sur les lots 3 à 6 afin d'obtenir des informations sur les gaz de sols en conditions plus favorables au dégazage de milieux sols et eaux souterraines (période estivale) et, à des localisations et profondeurs correspondant à celles de la base des radiers en contact avec le sol et de s'assurer que les teneurs et concentrations mesurées sont conformes à celles prises en compte dans l'analyse des risques résiduels.

Enfin, concernant la qualité des sols au droit des lot 3 à 6, des investigations complémentaires seront réalisées en phase chantier pour d'une part, s'assurer que la qualité des sols après terrassement (analyses de fond de fouille) respecte les seuils des coupures associés aux sources concentrées, et d'autre part pour définir les filières adaptées pour les déblais générés en phase travaux.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe 1 : Codification des prestations relatives à la norme NF X31-620

(1 page)

Norme NF X31-620 - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués
Codification des prestations

Domaine A : Etudes, assistance et Contrôles

Domaine B : Ingénierie des Travaux de Réhabilitation

Code	Prestation	Prestation(s) Antea Group	Code	Prestation	Prestation(s) Antea Group
DOMAINE A					
Offres globales prestations			Evaluation des impacts sur les enjeux à protéger		
AMO	Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO)		A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux	
LEVE	Levée de doute pour savoir si un site relève ou non de la méthodologie nationale des sites pollués		A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales	
EVAL	Evaluation (ou audit) environnementale des sols et des eaux souterraines lors d'une vente/acquisition d'un site		A320	Analyse des enjeux sanitaires	X
CPIS	Conception de programmes d'investigations ou de surveillance – Réalisation du programme – Interprétation des résultats – Elaboration de schémas conceptuels, de modèles de fonctionnement et de bilans quadriennaux		A330	Identification des différentes options de gestion possibles et élaboration d'un bilan coût / avantage	
PG	Plan de Gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site	X	Autres compétences		
IEM	Interprétation de l'Etat des Milieux		A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes	
CONT	Contrôles : - de la mise en œuvre du programme d'investigation ou de surveillance - de la mise en œuvre des mesures de gestion		DOMAINE B		
XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués		Prestations élémentaires		
ATTES	Attestation à joindre aux demandes de permis de construire (PC) ou d'aménager dans les secteurs d'information sur les sols (SIS) et au second changement d'usage (Loi ALUR)		B001	Assistance à maîtrise d'ouvrage dans la phase des travaux	
Diagnostic de l'état des milieux			B100	Etude de conception	
A100	Visite du site		B110	Etudes de faisabilité technique et financière	
A110	Etudes historiques, documentaires et mémorielles		B111	Essais de laboratoire	
A120	Etude de vulnérabilité des milieux		B112	Essais en pilote	
A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols		B120	Etudes d'avant projet (AP)	
A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines		B130	Etudes de projet	
A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou sédiments		B200	Etablissement des dossiers administratifs	
A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol		B300	Maitrise d'œuvre dans la phase des travaux	
A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et des poussières atmosphériques		B310	Assistance aux contrats de travaux	
A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires		B320	Direction de l'exécution des travaux	
A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées		B330	Assistance aux opérations de réception	

Annexe 2 : Analyse des Risques Résiduels

(71 pages)

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Analyse des Risques Résiduels

Janvier 2019

97169/A



SIGLA NEUF

194, rue nationale
59800 LILLE

Contact :

M. Romain MISSIAEN

Responsable de programmes

Tél : 03.20.30.22.30/06.76.73.81.46

Mail : romain.missiaen@siglaneuf.fr

Présenté par



Direction Régionale Nord-Est

Pôle Environnement

Synergie Park

5, avenue Louis Néel

59260 LEZENNES

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Sommaire

1. Méthodologie générale.....	3
2. Caractérisation de l'exposition.....	4
2.1. Caractérisation des sources de pollution identifiées sur le site.....	5
2.1.1. Analyse des données	5
2.1.2. Sélection des substances et concentrations associées.....	6
2.1.3. Propriétés physico-chimiques des substances.....	10
2.2. Identification des voies d'exposition	11
2.3. Cibles retenues.....	12
2.4. Schéma conceptuel	12
2.5. Quantification de l'exposition.....	13
2.5.1. Choix du modèle d'exposition	13
2.5.2. Calcul de la dose journalière ou concentration d'exposition	15
2.5.3. Paramètres d'exposition.....	15
3. Evaluation de la relation dose réponse.....	17
3.1. Synthèse des données toxicologiques	17
3.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues	17
3.3. Valeurs de gestion de l'air intérieur (VGAI)	22
4. Quantification des risques sanitaires	23
5. Interprétation des résultats	25
5.1. Hiérarchisation des risques.....	25
5.2. Comparaison aux Valeurs Guide de la qualité de l'Air Intérieur (VGAI)	25
5.3. Evaluation des incertitudes.....	27
5.3.1. Analyse qualitative.....	27
5.3.2. Analyse quantitative	31
6. Conclusions.....	36

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Table des figures

Figure 1 : Schéma conceptuel	12
------------------------------------	----

Table des tableaux

Tableau 1 : Sondages et piézaires disponibles.....	5
Tableau 2 : Espace intérieur et extérieur – substances et milieux d'échantillonnage retenus	7
Tableau 3 : Espace intérieur et extérieur (Lots 1 à 6) - Substances et concentrations retenues (en gras)	9
Tableau 4 : Résumé des voies d'exposition	11
Tableau 5 : Paramètres d'exposition retenus dans l'étude	16
Tableau 6 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation	18
Tableau 7 : Risques sanitaires pour les résidents du site.....	24
Tableau 8 : Comparaison des concentrations modélisées avec les VGAI du HCSP ou de l'ANSES	26
Tableau 9 : Paramètres d'exposition – cas d'une cible à l'exposition cumulée.....	31
Tableau 10 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la durée d'exposition	32
Tableau 11 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la VTR du PCB.....	33
Tableau 12 : Estimation de la concentration potentiellement présente dans les gaz de sol au droit de la plus forte anomalie en mercure	34
Tableau 13 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur les concentrations	34

Table des annexes

Annexe A : Méthodologie Générale

Annexe B : Textes réglementaires et bibliographie

Annexe C : Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS

Annexe D : Synthèse des données toxicologiques

Annexe E : Synthèse des données physico-chimiques

Annexe F : Calculs de Risque Sanitaire

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

1. Méthodologie générale

L'étude est élaborée selon les exigences de la norme NF X-31-620 et suivant les standards environnementaux de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency) en vigueur à ce jour, tout en respectant la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués publiée en avril 2017 par le Ministère chargé de l'Environnement.

Les niveaux de risque acceptables sont ceux usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé. Ils sont indiqués dans la méthodologie nationale ainsi que dans le guide « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels » (MEDDE, 2007).

Le calcul de risque sanitaire a pour but de présenter de manière explicite, aux différentes parties, les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision pourra s'appuyer. A ce titre, cette étude est un outil d'analyse au service de la politique de gestion des sites et sols pollués, elle doit respecter les principes suivants :

- le principe de prudence scientifique,
- le principe de proportionnalité,
- le principe de spécificité,
- le principe de transparence.

La démarche d'évaluation des risques a été développée par l'Académie américaine des Sciences au début des années 1980 ; elle a ensuite été reprise par l'Union Européenne. Selon cette démarche, l'évaluation des risques liés aux substances chimiques se décompose en quatre étapes :

- **la caractérisation du contexte environnemental du site** (sources potentielles de contamination, vecteurs de transfert, récepteurs) ;
- **l'évaluation de l'exposition** qui consiste à quantifier l'exposition des populations (les concentrations ou les doses) sur la base du schéma conceptuel d'exposition établi, récapitulant l'ensemble des voies de transfert et d'exposition pour les populations cibles ;
- **l'évaluation de la toxicité** qui englobe l'identification du potentiel dangereux (ou détermination des effets indésirables que les substances chimiques sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme) et l'évaluation des relations dose-effet (ou estimation du rapport entre le niveau d'exposition, ou la dose, et l'incidence et la gravité des effets) ;
- **la caractérisation du risque**, synthèse de l'évaluation des risques qui quantifie le risque lié aux substances chimiques, en présentant les résultats sous une forme exploitable, accompagnée d'une évaluation des incertitudes relevées tout au long de l'étude.

Un descriptif technique des différentes étapes mises en œuvre dans l'étude est présenté en **Annexe A**.

Une revue des textes réglementaire et bibliographiques utilisés dans le cadre de l'ARR est également présentée en **Annexe B**.

2. Caractérisation de l'exposition

Les résultats de cette étude sont élaborés en l'état actuel des connaissances scientifiques tant du point de vue chimique, géologique que toxicologique (Janvier 2019).

La caractérisation de l'exposition s'établit en fonction des trois composantes d'un risque :

- une source de pollution,
- une voie de transfert de la source vers la cible,
- une cible.

Ces trois composantes sont détaillées dans les chapitres suivants.

Enfin, un schéma conceptuel a été établi en vue de synthétiser les 3 composantes retenues dans cette étude.

Les paragraphes suivants présentent la caractérisation de l'exposition selon ces zones.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

2.1. Caractérisation des sources de pollution identifiées sur le site

2.1.1. Analyse des données

Suite aux investigations, au droit du site, les anomalies suivantes ont été identifiées :

- Métaux, toluène, COHV et HCT dans les eaux souterraines ;
- Métaux, BTEX, HAP, COHV, PCB et HCT dans les sols.

Les substances quantifiées dans les gaz de sols sont les BTEX, les COHV et les HCT.

Les sondages et piézairs considérés selon la zone étudiée (espace intérieur ou extérieur) sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Sondages et piézairs disponibles

Zones d'étude	Sondages sol ¹	Piézomètres	Piézairs
<u>Espace extérieur et</u> <u>espace intérieur</u> <u>Tous les lots (1 à 6)</u>	R1 à R10 ² (Diagnostic de Sévêque - 2009)	PZ1 à PZ3 (Antea Group 2017)	PZaS1, PZaS2, PZaS4, PZaS6, PZaS7, PZaS9 à PZaS13 (Antea Group 2017)
	S1 à S7 et S9 à S14 (Antea Group 2017)		
	S1 à S41 (Antea Group 2018)		

¹ Il s'agit des sondages et données disponibles à ce jour. Cependant, l'ensemble de ces sondages et de des échantillons correspondants n'ont pas forcément été considéré dans l'étude en raison du futur projet d'aménagement et des mesures de gestion.

² La localisation des sondages R1 à R10 étant incertaine, l'ensemble des résultats d'analyses ont tous été pris en compte même si ceux-ci semblent être situés au niveau des sous-sols.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Il est important de noter que les anomalies considérées dans cette Analyse des Risques Résiduels sont celles présentes après application des mesures de gestion et des travaux d'aménagements. Les teneurs mesurées dans les sols qui seront décaissés ne sont pas pris en compte dans cette étude car elles ne sont pas représentatives de la qualité des sols qui seront présents sur site une fois le projet d'aménagement réalisé et les mesures de gestion mises en œuvre. Ainsi l'ensemble des échantillons de sols suivants n'ont pas été pris en compte :

- les sols retirés suite à la réalisation des sous-sols ;
- les sols devant être éliminés dans le cadre de la gestion des sources concentrées définies pour les lots 1 et 2³.

L'ensemble des concentrations mesurées dans les gaz de sol sont conservées car elles sont le reflet de l'ensemble des sols et eaux souterraines environnants. Cette démarche est sécuritaire.

2.1.2. Sélection des substances et concentrations associées

L'ensemble des substances quantifiées par le laboratoire d'analyse a été sélectionné.

D'une façon générale, les substances retenues pour l'évaluation quantitative des risques répondent à certains critères⁴:

- toute substance dont les données disponibles (notamment physico-chimiques et toxicologiques) sont d'une qualité suffisante pour être exploitées en analyse des risques (critères définis par la circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014) ;
- toute substance dont la concentration est supérieure à la limite de quantification dans les sols, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol. Pour l'inhalation de substances volatiles, dans une démarche sécuritaire, toute substance présentant des données physico-chimiques relatives à sa volatilité (pression de vapeur, constante de Henry) a été retenue. Ainsi, l'ensemble des substances organiques recherchées est retenu, incluant les HAP et les PCB. En revanche, parmi les métaux et assimilés, seul le mercure est considéré comme potentiellement volatil.

Pour chaque substance considérée, les mesures réalisées dans les gaz du sol sont privilégiées lorsqu'elles sont disponibles car elles sont un reflet plus réaliste du dégazage des substances volatiles présentes dans les sols et les eaux souterraines.

³ A noter que des seuils de coupures ont été défini au sein du plan de gestion des lots 1 et 2. Les sols dépassant ces seuils de coupures devront être traités. Les seuils de coupures sont rappelés ci-après :

- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), 86 mg/kg MS ;
- Polychlorobiphényles (PCB), 2,67 mg/kg MS ;
- Tétrachloroéthylènes (PCE), 0,1 mg/kg MS ;
- Plomb (Pb), 2 000 mg/kg MS ;
- Mercure (Hg), 1,13 mg/kg MS.

⁴ Cf. Annexe 1, Méthodologie Générale, 3-Sélection des substances.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Les HAP et les PCB n'ayant pas fait l'objet d'analyses dans les gaz de sols, une estimation des concentrations dans les gaz du sol a été réalisée à partir des mesures réalisées dans les sols.

Le mercure et les BTEX n'ont pas fait l'objet de prélèvements de gaz de sol au droit des teneurs les plus élevées mesurées dans les sols. Une seule mesure en gaz de sol a été réalisée au droit de l'ensemble du site. Cette mesure a été réalisée au droit d'une valeur quantifiée dans les sols similaire aux autres valeurs en mercure mesurée sur le site (hors sols évacués selon le seuil de coupure de 1,13 mg/kg) et est considérée représentative pour l'ensemble du site. Pour les BTEX, plusieurs prélèvements de gaz de sol ont été réalisés au droit de teneurs similaires et les mesures de gaz de sol ont donc également été privilégiées.

Concernant le chlorure de vinyle, aucune mesure de gaz de sol n'a été réalisée à proximité du piézomètre PZ2 où celui-ci a été mesuré. Cependant, il a été mesuré au sein de l'ensemble des piézomètres-gaz répartis sur l'ensemble du site permettant de fournir une représentativité du potentiel dégazage de ce paramètre depuis les eaux souterraines. Ce paramètre a donc été retenu dans les gaz de sol.

Pour les substances quantifiées dans les sols et/ou les eaux souterraines, mais non quantifiées dans les gaz du sol, il a été considéré, dans une hypothèse sécuritaire, une teneur dans les gaz du sol égale à la limite de quantification du laboratoire.

Dans chaque milieu retenu et pour chaque composé, Antea Group a retenu la concentration maximale observée parmi les données disponibles.

Le tableau suivant présente les substances quantifiées et le milieu retenu pour chaque substance pour les calculs de risques sanitaires selon le lieu d'exposition.

Tableau 2 : Espace intérieur et extérieur – substances et milieux d'échantillonnage retenus

Famille de substances	SOLS	EAUX SOUTERRAINES	GAZ DU SOL
HAP (hors naphthalène)	X	<LQ	na
HCT	>LQ	>LQ	X
BTEX-N	>LQ	>LQ	X
COHV	>LQ	>LQ	X
PCB	X	na	na
Mercure	>LQ	<LQ	LQ

X : substance et concentration retenues

na : substance non analysée

< LQ : substance non quantifiée

> LQ : substance quantifiée

<BDF : inférieur au bruit de fond pédo-géochimique

> BDF : supérieur au bruit de fond pédo-géochimique

LQ : substance et limite de quantification retenues

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Les éléments suivants ont, par ailleurs, été pris en compte :

Pour les hydrocarbures totaux :

Un élément important pour la réalisation de calculs de risque dans le cas d'une pollution par des hydrocarbures (HCT) est l'identification du type de produit pétrolier en présence, et la détermination de la répartition des fractions hydrocarbonées aromatiques et aliphatiques qui le composent. En effet, il n'existe pas, dans les bases de données spécialisées (US-EPA, ATSDR, OEHHA, etc.) de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) correspondant aux hydrocarbures totaux (Indice HCT).

Le groupe de travail TPHCWG⁵ a défini, pour chaque fraction hydrocarbonée (fractions aliphatiques et aromatiques >EC₆-EC₈, >EC₈-EC₁₀, >EC₁₀-EC₁₂, >EC₁₂-EC₁₆...) ⁶, une VTR et des paramètres physico-chimiques spécifiques. Pour une exposition par inhalation, seuls les hydrocarbures présentant un nombre d'équivalents-carbone inférieur à 16 ont été pris en compte, car ce sont les seuls considérés volatils et bénéficiant d'une VTR pour la voie respiratoire.

Dans les échantillons de gaz du sol, les concentrations en hydrocarbures totaux ont été analysées selon le découpage suivant : >EC₆-EC₈, >EC₈-EC₁₀, >EC₁₀-EC₁₂, >EC₁₂-EC₁₆, >EC₁₆-EC₂₁, >EC₂₁-EC₃₅ avec distinction entre les hydrocarbures aromatiques et aliphatiques.

Pour les PCB :

D'après les études expérimentales réalisées, les 7 congénères analysés sont présents dans l'Aroclor 1254 à hauteur de 40 à 50%. Ainsi, les résultats des analyses basés sur les 7 PCB indicateurs sont multipliés par 2 pour être exprimés en équivalent Aroclor (1254). Les VTR de l'Aroclor 1254 sont ensuite appliquées.

Pour les BTEX :

Le benzène et le toluène correspondant respectivement aux hydrocarbures aromatiques EC₆-EC₇ et EC₇-EC₈, les résultats de l'analyse TPH n'ont pas été retenus sur ces deux fractions afin d'éviter toute redondance dans les calculs de risque.

Le tableau, en page suivante, présente les substances quantifiées dans chaque milieu et la concentration maximale mesurée sur le site.

En gras sont présentés le milieu et les concentrations retenus dans les calculs de risques.

⁵ Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach, Volume 5, June 1999.

⁶ EC : équivalent-carbone. Comme recommandé par le TPHCWG, les fractions sont définies par un «équivalent-carbone (EC)» et non pas par le nombre de carbones contenus dans le composé. Cet « équivalent-carbone » est calculé sur la base du point d'ébullition et du temps de rétention sur chromatographie gazeuse de chaque composé. Par exemple, l'EC du benzène (6 carbones) est 6,5 car son point d'ébullition et son temps de rétention sont approximativement situés entre ceux du n-hexane (6 carbones) et du n-heptane (7 carbones).

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 3 : Espace intérieur et extérieur (Lots 1 à 6) - Substances et concentrations retenues (en gras)

Substances	Concentrations maximales mesurées dans les sols (mg/kg MS)	Echantillon de référence (sols)	Concentrations maximales mesurées dans les eaux souterraines (µg/l)	Echantillon de référence (eaux souterraines)	Concentrations maximales mesurées dans les gaz de sol (mg/m³)	Echantillon de référence (gaz de sol)	
BTEX							
Benzène	LQ	-	LQ	-	3,13 E ⁻²	PZaS12	
Toluène	0,1	R2	0,2	PZ1	4,98 E ⁻²	PZaS7	
Ethylbenzène	0,16	R2	LQ	-	1,41E ⁻²	PZaS11	
Xylènes (mixture d'isomères)	0,28	R2	LQ	-	1,04 E ⁻¹	PZaS7	
COHV							
Cis 1,2-Dichloroéthylène	0,14	S1 (Antea Group 2017)	150	PZ2	4,20 E ⁻³	LQ PZaS4	
Trans 1,2-Dichloroéthylène	LQ	-	14		2,28 E ⁻²	PZaS7	
Trichloroéthylène	0,03	S5 (Antea Group 2017)	130		2,03 E ⁻¹	PZaS2	
Tétrachloroéthylène	0,05	S1 (Antea Group 2017)	130		1,81 E ⁻²	PZaS6	
Chlorure de vinyle	LQ	-	6		4,23 E ⁻³	LQ PZaS4	
1,1,1-trichloroéthane	LQ	-	LQ	-	1,14 E ⁻²	PZaS4	
Chloroforme	LQ	-	LQ	-	2,63 E ⁻²	PZaS6	
HCT							
Aliphatique C05 C06	na	-	na	-	2,81 E ⁻¹	PZaS1	
Aliphatique C06 C08	na	-	na	-	6,54 E ⁻¹	PZaS9	
Aliphatique C08 C10	na	-	25	PZ3	3,35		
Aliphatique C10 C12	17	S11 (Antea Group 2017)	300		2,12 E ⁻¹	LQ PZaS4	
Aliphatique C12 C16	17	S11 (Antea Group 2017)	LQ	-	2,12 E ⁻¹		
Aromatique C08 C10	-	na	25	PZ3	2,12 E ⁻¹		
Aromatique C10 C12	17	S11 (Antea Group 2017)	300		4,23 E ⁻¹		
Aromatique C12 C16	17	S11 (Antea Group 2017)	LQ	-	4,23 E ⁻¹		
HAP							
Naphtalène	1,6	R4	LQ	-	1,06 E ⁻²	LQ PZaS4	
Acénaphthylène	1	LQ mesurée sur R4 retenue car supérieure à la valeur quantifiée maximale sur S6/S5 (Antea Group 2017)	LQ	-	na	-	
Acénaphthène	1		LQ	-			
Fluorène	1,2		R4	LQ			-
Phénanthrène	7,8			LQ			-
Anthracène	1,6			LQ			-
Fluoranthène	8,4	LQ		-			

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances	Concentrations maximales mesurées dans les sols (mg/kg MS)	Echantillon de référence (sols)	Concentrations maximales mesurées dans les eaux souterraines (µg/l)	Echantillon de référence (eaux souterraines)	Concentrations maximales mesurées dans les gaz de sol (mg/m³)	Echantillon de référence (gaz de sol)
Pyrène	7,2		LQ	-		
Benzo (a) Anthracène	3,5		LQ	-		
Chrysène	3		LQ	-		
Benzo (b) Fluoranthène	3,1		LQ	-		
Benzo (k) Fluoranthène	1,6		LQ	-		
Benzo(a)pyrène	2,9		LQ	-		
Dibenzo (a.h) Anthracène	0,31		LQ	-		
Benzo (g h i) pérylène	2,3		LQ	-		
Indeno(1.2.3.c.d)Pyrène	2,5		LQ	-		
Autres						
Aroclor 1254	0,38 (2 x la concentration maximale)	S12 (Antea Group 2017)	na	-	na	-
Mercure	0,113 (10% de la valeur maximale mesurée)	S11 (Antea Group 2017)	LQ	-	4,23 E ⁻³	PZaS7

na : non analysé

LQ : non quantifié et non retenu – teneurs/concentrations inférieures aux limites de quantification du laboratoire

en gris : concentration maximale observée, non retenu

en gras : milieu et concentration retenu

en gras et italique : milieu retenu, substance non quantifiée mais concentration retenue à la limite de quantification

2.1.3. Propriétés physico-chimiques des substances

Les caractéristiques physico-chimiques des substances retenues pour l'évaluation des risques ont été recherchées et sont présentées en **Annexe E**.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

2.2. Identification des voies d'exposition

Le tableau suivant synthétise les voies d'exposition évaluées dans cette étude de risque sanitaire. Les voies d'exposition retenues dans cette étude sont établies en prenant en compte les mesures de gestion.

Tableau 4 : Résumé des voies d'exposition

Voies d'exposition potentielles	Pris en compte, ou non, dans l'étude Lots 1 à 6	Commentaires
Ingestion de particules de sol	non	Les espaces extérieurs sont recouverts de matériaux artificiels tels que de l'asphalte, ou des terres d'apport saines.
Inhalation de poussières sur site	non	
Contact cutané avec les sols	non	
Inhalation de substances volatiles <u>en espace intérieur</u> à partir des sols, des eaux souterraines des gaz du sol	oui	Les mesures réalisées dans les gaz du sol seront privilégiées autant que possible puisqu'elles permettent d'estimer de façon plus réaliste, d'une part, le dégazage des substances volatiles à partir des sols, et potentiellement des eaux souterraines, et d'autre part, l'exposition des usagers.
Inhalation de substances volatiles <u>en espace extérieur</u> à partir des sols, des eaux souterraines des gaz du sol	oui	Les mesures réalisées dans les gaz du sol seront privilégiées autant que possible puisqu'elles permettent d'estimer de façon plus réaliste, d'une part, le dégazage des substances volatiles à partir des sols, et potentiellement des eaux souterraines, et d'autre part, l'exposition des usagers.
Ingestion d'eau souterraine contaminée par infiltration à travers les sols	non	Absence de puits au droit du site
Contact direct ou indirect avec les eaux superficielles	non	Absence de contact et d'usage des eaux superficielles
Ingestion de végétaux autoproduits sur site	non	Absence de jardin potager ou arbre fruitier au droit du site
Ingestion d'eau potable issue des réseaux souterrains	non	Conception des canalisations dans des matériaux résistants aux substances présentes dans les sols.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

2.3. Cibles retenues

Au regard du projet d'aménagement, les cibles pouvant être étudiés sont les futurs résidents (adultes et enfants) ou futurs employés au sein des bâtiments et les usagers des espaces verts collectifs et privatifs au droit de l'ensemble du site (lots 1 à 6).

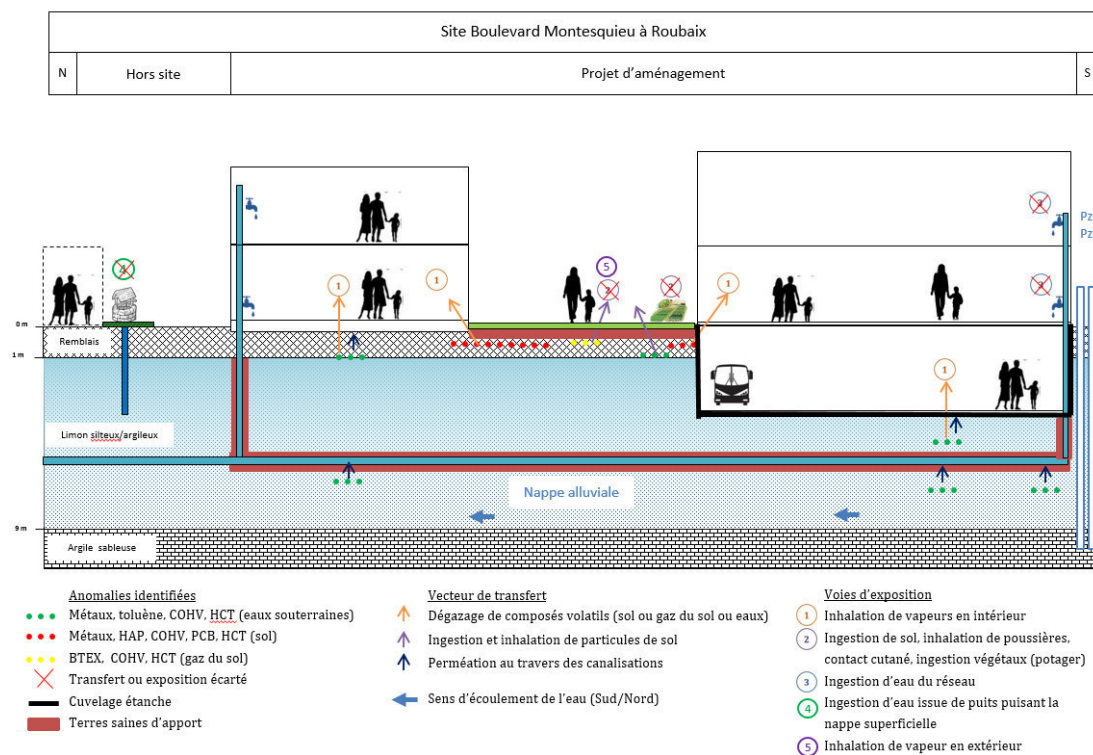
Les cibles étudiées au sein de cette Analyse des Risques Résiduels sont les futurs résidents (adultes et enfants), usagers les plus exposés. Cette étude couvre ainsi les autres cibles tels que d'éventuels futurs employés ou personnes qui pourraient être présentes sur le site mais qui sont moins exposées, du fait d'une durée d'exposition plus faible (passage ponctuel ou régulier sur le parc public ou au sein de l'espace de loisirs par exemple).

A titre informatif, le cas d'une cible présentant une exposition cumulée à savoir une personne qui réside et travaille sur site est présenté en analyse des incertitudes (paragraphe 5.3).

2.4. Schéma conceptuel

Le schéma conceptuel est celui présenté dans le rapport de plan de gestion, paragraphe 16 – Schéma conceptuel intégrant les mesures de gestion.

Pour information, il est présenté ci-après.



W

Figure 1 : Schéma conceptuel

2.5. Quantification de l'exposition

Cette section décrit les modèles d'exposition ainsi que les paramètres retenus pour évaluer les doses d'exposition pour les cibles considérées.

2.5.1. Choix du modèle d'exposition

L'EQRS est réalisée à l'aide du logiciel MODUL'ERS conçu par l'INERIS. Ce logiciel, qui permet d'estimer les niveaux d'exposition des cibles étudiées et les niveaux de risque sanitaire associés, est basé sur l'ensemble des équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle fourni par l'INERIS et le guide de l'utilisateur Modul'ERS⁷.

Dans le cadre de cette étude, le logiciel a fait appel aux modules suivants :

- module « conc gaz air interieur Volasoil » qui est basé sur une approche dérivée du modèle Volasoil du RIVM (institut néerlandais de santé publique et de l'environnement), permettant le calcul des concentrations attendues dans l'air d'un bâtiment à partir d'une source nappe ou sol ;
- module « conc gaz air extérieur » qui permet le calcul du flux d'émission à partir d'une source nappe ou sol et l'estimation des concentrations attendues dans l'air (voir équation du document INERIS-DRC-08-94882-16675B) ;
- module « Niveaux_Exposition_Risque » qui permet de calculer, d'une part les niveaux d'exposition chroniques pour les différentes classes d'âge définies par l'utilisateur et d'autre part, les niveaux de risques chroniques pour des effets cancérogènes et non cancérogènes.

Le logiciel Modul'ERS utilisé est présenté en **Annexe C**.

2.5.1.1. Caractéristiques de la modélisation

Dans les modèles d'exposition, il faut souligner que les mesures dans les gaz du sol permettent de s'affranchir d'une étape dans le calcul de risque, consistant à estimer les concentrations des gaz du sol à partir des concentrations mesurées dans les sols et dans les eaux souterraines. Cette approche permet d'évaluer de façon plus réaliste l'exposition des futurs usagers du site.

2.5.1.2. Paramètres d'entrée du modèle

Les équations de modélisation nécessitent l'utilisation de différents paramètres propres à la construction et aux différentes substances présentes dans les sols, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol.

⁷ INERIS, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-16675C, 01/08/2010, « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle »
INERIS, Rapport d'étude n°DRC-14-1419688-00696A, Mars 2014, Guide de l'utilisateur Modul'ERS

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

L'ensemble des paramètres d'entrée du modèle est présenté en **Annexe C**.

- **Air intérieur – Bâtiments à usage d'habitation ou économique**

Les transferts des substances volatiles dans l'air intérieur ont été modélisés selon les principes suivants :

- la pollution a été positionnée 10 cm en dessous du niveau de la dalle de fond du bâtiment ;
- les bâtiments sont de plain-pied au droit des lots 3 à 6 et sur sous-sol au droit des lots 1 et 2 selon le plan d'aménagement. Dans une démarche sécuritaire, l'ensemble des bâtiments a été considéré de plain-pied ;
- au vu des observations de terrain réalisées, le type de sol retenu au droit des futurs bâtiments est un sol sableux afin de prendre en compte la présence de remblais limoneux à sableux au droit du site ;
- en l'absence de valeurs propres au site, un taux de renouvellement d'air est usuellement fixé à 0,5 vol/h pour des bâtiments à usage résidentiel (habitations). Ce taux est sécuritaire dans le cas d'un usage économique où un taux de renouvellement d'air est usuellement fixé à 0,8 vol/h ;
- le taux de transfert considéré entre le RDC et les étages des bâtiments est de 100%.

- **Air extérieur (voirie, parking en extérieur et espaces vert collectif et privatif)**

Les transferts des substances volatiles dans l'air extérieur ont été modélisés selon les principes suivants :

- au vu des observations de terrain réalisées, le type de sol retenu au droit des futurs bâtiments est un sol sableux afin de prendre en compte la présence de remblais limoneux à sableux au droit du site ;
- modélisation d'un dégazage vers l'air extérieur, en tenant compte d'une vitesse de vents de 3 m/s (démarche sécuritaire – équivaut à des vents de 10 km/h) ;
- afin de prendre en compte la présence de voirie et de parking en extérieur, la pollution a été positionnée 10 cm en dessous du niveau du sol. Cette épaisseur est sécuritaire dans le cas des espaces verts collectifs ou privés puisqu'un recouvrement des sols d'une épaisseur minimale de 30 cm est demandé dans les mesures de gestion.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

2.5.2. Calcul de la dose journalière ou concentration d'exposition

L'équation mathématique permettant de calculer la DJE_{ij} (exprimée en mg/(kg.j) ou la CI (exprimée en mg/m³) dans le cas des substances cancérigènes est la suivante :

$$DJE_{ij} = \frac{T \cdot Q_{ij} \cdot F}{P \cdot T_m \cdot 365} \cdot C_i \cdot ou \cdot CI = \frac{C_i \cdot t_i \cdot T \cdot F}{T_m \cdot 365}$$

où :

- Q_{ij} est la quantité de milieu i administrée par la voie j par jour (en kg/j ou m³/j),
- t_i est la fraction du temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée,
- F est la fréquence d'exposition (en j/an),
- T est la durée d'exposition (en an),
- P est le poids de l'individu (en kg),
- T_m est le temps moyen de prise en compte de l'apparition possible d'un effet néfaste sur la santé (en années),
- C_i est la concentration au point d'exposition (en mg/kg ou mg/m³),
- CI concentration moyennée d'exposition (en mg/m³).

Pour chaque substance chimique retenue dans le cadre de cette étude, la dose journalière ou concentration d'exposition est présentée, avec les calculs de risque sanitaire, en **Annexe F**.

2.5.3. Paramètres d'exposition

Les paramètres généraux caractérisant l'exposition des différentes cibles ou récepteurs sont renseignés ci-après, selon les indications fournies par l'INERIS⁸.

⁸ INERIS, Rapport d'étude n°DRC-14-141968-11173A, 21/02/2015, « Paramètres d'exposition de l'homme du logiciel Modul'ERS »

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 5 : Paramètres d'exposition retenus dans l'étude

Voies d'exposition potentielles	Cibles	Valeurs retenues	Justifications
Durée d'exposition (T)	Résident enfant/adulte	30 ans	US EPA (1997) + INERIS (2015)
Fraction annuelle de temps passé à l'intérieur des bâtiments	Résident adulte	16,5h/jour pendant 365 jours/an soit un ratio de 0,69	INERIS (2015)
	Résident enfant	Entre 0,61 à 0,73 selon les classes d'âge de moins de 18 ans	
Fraction annuelle de temps passé à l'extérieur	Résident adulte	Environ 0,7h/jour soit un ratio de 0,028	INERIS (2015)
	Résident enfant	Entre 0,0313 et 0,1 selon les classes d'âge de moins de 18 ans	
Hauteur de respiration	Résident adulte	1,55 m	INERIS (2015)
	Résident enfant	Entre 0,3 et 1,5 m selon les classes d'âges de moins de 18 ans	

3. Evaluation de la relation dose réponse

3.1. Synthèse des données toxicologiques

Les principaux effets toxiques engendrés par les substances retenues pour l'évaluation des risques sont présentés en **Annexe D**.

3.2. Valeurs toxicologiques de référence retenues

L'ensemble des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues dans le cadre de la présente étude est présenté dans le tableau 7. Pour chaque VTR retenue, la source bibliographique est indiquée.

La sélection des VTR a été établie selon les recommandations de la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Les VTR ont fait l'objet d'une mise à jour en janvier 2019.

Cas particulier des HAP (hors naphtalène) :

*Effets cancérigènes sans seuil :

Il existe une VTR sans seuil associé au B(a)P pour la voie respiratoire. Pour les HAP n'ayant pas de VTR cancérigènes spécifiques dans les bases de données officielles, des FET⁹ ont été appliqués au regard de la toxicologie du B(a)P, selon les recommandations du rapport INERIS-DRC-47026-ETSC-Bdo-N°03DR177.doc-version 1-3, intitulé « Hydrocarbures Aromatiques polycycliques (HAPs) », du 18 décembre 2003."

Cas particulier des PCB (Aroclor 1254) :

Pour l'aroclor 1254, pour la voie par inhalation, des VTR pour les effets sans seuil distinctes sont proposées pour les enfants (< 6ans) et les adultes. Dans une démarche sécuritaire, la VTR applicable pour les enfants, plus sécuritaire, a été appliquée pour la réalisation des risques sanitaires, pour l'ensemble des cibles quel que soit leur âge. La prise en compte de la VTR spécifique pour les adultes est étudiée en analyse des incertitudes (chapitre 5.3.2.2.).

⁹ Le concept de facteur d'équivalence toxique (FET) permet de déterminer le potentiel toxique cancérigène d'une substance par rapport à une substance étalon chimiquement proche et de même mécanisme d'action. Un FET égal à 1 est donné à la substance de référence. Dans le cas des HAP, il s'agit du benzo(a)pyrène. Une substance potentiellement plus toxique aura un FET supérieur à 1 et à l'inverse une substance moins toxique aura un FET inférieur à 1. La VTR retenue pour la substance λ est alors $FET_{\lambda} \times VTR_{\text{étalon}}$.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 6 : Valeurs Toxicologiques de Référence retenues pour la voie inhalation

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
Composés Aromatiques Volatils (CAV)										
71432	benzène	9,8E-03	Immunologique	ATSDR	2007	-	2,6E-02	ANSES	2013	-
100414	éthylbenzène	1,5E+00	Ototoxique	ANSES	2016	-	2,5E-03	OEHHA	2007	-
108883	toluène	1.9E+01	Poids de la progéniture	ANSES	2017	-	-	-	-	-
108383	m-xylène	2,2E-01	Neurologique	ATSDR	2007	-	-	-	-	-
95476	o-xylène									
106423	p-xylène									
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)										
83329	acénaphène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
208968	acénaphthylène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
120127	anthracène	-	-	-	-	-	6,0E-03	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
56553	benzo(a)anthracène	-	-	-	-	-	6,0E-02	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
50328	Benzo(a)pyrène	2,0E-06	Développement	US EPA	2017	-	6,0E-01	US EPA	2017	-
205992	Benzo(b)fluoranthène	-	-	-	-	-	6,0E-02	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
191242	benzo(ghi)pérylène	-	-	-	-	-	1,1E-02	OEHHA	1993	INERIS, 2011

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
207089	benzo(k)fluoranthène	-	-	-	-	-	6,0E-02	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
218019	chrysène	-	-	-	-	-	1,1E-02	OEHHA	1993	INERIS, 2011
53703	dibenzo(ah)anthracène	-	-	-	-	-	6,0E-01	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
206440	fluoranthène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
86737	fluorène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
193395	Indeno(123cd)pyrène	-	-	-	-	-	1,1E-02	OEHHA	1993	INERIS, 2011
91203	naphtalène	3,7E-02	Respiratoire	ANSES	2013	INERIS 2016	5,6E-03	ANSES	2013	INERIS 2016
85018	phénanthrène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
129000	pyrène	-	-	-	-	-	6,0E-04	US EPA + FET	2017	INERIS, 2003 (FET)
Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)										
71556	1,1,1-trichloroéthane	1,0E+00	Hépatique	OEHHA	2008	INERIS, 2014	-	-	-	-
156592	1,2-dichloroéthylène cis	6,0E-02	Hépatique et respiratoire	RIVM	2008	-	-	-	-	-
156605	1,2-dichloroéthylène trans	6,0E-02	Hépatique et respiratoire	RIVM	2008	-	-	-	-	-
67663	chloroforme	6,3E-02	Effet cancérigène à seuil : Reins	ANSES	2008	-	-	ANSES	2012	-
75014	chlorure de vinyle	5,6E-02	Hépatique	RIVM	2001	INERIS, 2009	3,8E-03	ANSES	2012	-

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m ³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m ³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
127184	tétrachloroéthylène	4,0E-01	Reins	ANSES	2018	-	2,6E-04	US EPA	2012	ANSES 2018
79016	trichloroéthylène	3,2E+00	Reins	ANSES	2018	-	1,0E-03	US EPA	2006	ANSES 2018
Métaux										
7439976	mercure	3,0E-05	Neurologique	OEHHA	2008	INERIS, 2009	-	-	-	-
Hydrocarbures Totaux (HCT)										
HCTal1	HCT ALIPHATIQUES EC5-EC6	1,8E+01	Foie, reins	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTal2	HCT ALIPHATIQUES EC6-EC8	1,8E+01	Foie, reins	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTal3	HCT ALIPHATIQUES EC8-EC10	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTal4	HCT ALIPHATIQUES EC10-EC12	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTal5	HCT ALIPHATIQUES EC12-EC16	1,0E+00	Foie, sang	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar3	HCT AROMATIQUES EC8-EC10	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar4	HCT AROMATIQUES EC10-EC12	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-
HCTar5	HCT AROMATIQUES EC12-EC16	2,0E-01	Perte de poids	TPHCWG, VOL 5	1999	-	-	-	-	-

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

N° CAS	Substances	Voie d'exposition : inhalation Durée d'exposition : chronique								
		Effets à seuil					Effets sans seuil			
		VTR (mg/m³)	Effet/organe cible	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)	VTR (mg/m³) ⁻¹	Organisme	Date de construction	Expertise (organisme, date)
Autres										
11097691	PCB (Equivalent Aroclor 1254)	1,0E-03	Hépatique, poids	RIVM	2000	INERIS, 2004	Adultes : 1,0E-01 (fg) 5,0E-01 (fp) Enfants : 5,0E-01	US EPA	1997	-

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

3.3. Valeurs de gestion de l'air intérieur (VGAI)

Conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, au-delà de la simple compatibilité sanitaire, les valeurs de gestion doivent être respectées pour les milieux qui en disposent. Concernant l'air intérieur, ces valeurs de gestion correspondent aux valeurs réglementaires (cas du benzène) ou aux VGAI établies par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) et l'ANSES.

Cas du benzène, trichloroéthylène, du tétrachloroéthylène et du naphthalène :

Il existe pour ces substances une valeur repère de qualité d'air intérieur (non réglementaire) établie par le Haut Conseil de Santé Publique HCSP¹⁰ pour les espaces clos (immeubles d'habitation ou locaux ouverts au public). Le HCSP recommande une valeur de 2 µg/m³ pour le benzène et le trichloroéthylène (TCE), 250 µg/m³ pour les effets à seuil du tétrachloroéthylène, et 10 µg/m³ pour le naphthalène pour l'air intérieur des espaces clos.

Cas de l'éthylbenzène et du toluène :

Pour ces substances, l'ANSES a proposé une VGAI de 1 500 µg/m³ pour l'éthylbenzène¹¹ et de 20 000 µg/m³ pour le toluène¹² dans l'air intérieur des espaces clos.

Les concentrations modélisées dans l'air intérieur du bâtiment seront donc comparées aux VGAI précitées (cf. chapitre 5.2).

¹⁰ Haut Conseil de la santé publique « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos », juillet 2012, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos », juin 2010, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos », juin 2010, « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le naphthalène dans l'air des espaces clos », janvier 2012.

¹¹ ANSES « proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur – L'éthylbenzène », Octobre 2016.

¹² ANSES « proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur – Le toluène », Juillet 2018.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

4. Quantification des risques sanitaires

L'ensemble des résultats est établi en l'état actuel des connaissances (Janvier 2019).

Les calculs ont été réalisés avec des paramètres propres au site quand ceux-ci étaient disponibles. En l'absence de valeurs spécifiques, des valeurs disponibles dans la littérature ou des choix d'expert ont été retenus¹³.

Les feuilles de calculs sont présentées en **Annexe F**.

Il est rappelé que l'acceptabilité des risques est définie sur la base de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017. Un niveau de risque est considéré comme acceptable pour les usagers du site dans les cas suivants :

- Quotient de Danger (QD) inférieur à 1,0 (risques pour les effets à seuil : effets non cancérogènes d'une part, et effets cancérogènes non génotoxiques d'autre part),
- Excès de Risque Individuel (ERI) inférieur à $1,0 \cdot 10^{-5}$ (risques pour les effets sans seuil de dose : effets cancérogènes génotoxiques).

Selon la méthodologie nationale, l'additivité des risques liés aux différents polluants et/ou aux différentes voies d'exposition doit être réalisée selon les recommandations des instances sanitaires au niveau national. En l'état actuel, ces recommandations conduisent :

- Pour les effets à seuils, à l'addition des quotients de danger (QD) uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible,
- Pour les effets sans seuils (ERI), l'addition de tous les excès de risques de cancer.

Toutefois, des incertitudes demeurent sur les organes cibles et les possibilités d'effets croisés ou de synergie lorsque plusieurs substances sont présentes. Aussi, dans une démarche sécuritaire, la somme des QD, toutes voies et toutes substances confondues, est présentée ci-après.

Les niveaux de risque sanitaire, calculés sur la base des concentrations maximales observées sur le site dans les sols et les gaz du sol, sont présentés dans le tableau suivant.

¹³ User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings, USEPA, February 22, 2004.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 7 : Risques sanitaires pour les résidents du site

	ERI	QD*
Niveau de risque global	7,99E-06	2,61E-01
Inhalation d'air intérieur	7,98E-06	2,59E-01
Inhalation d'air extérieur	5,69E-09	1,62 E-03
<i>Seuils de référence</i>	<i>1,0E-05</i>	<i>1,0E+00</i>

*Le QD présenté ici correspond à la classe d'âge la plus pénalisante (classe 1 et 2 pour l'air intérieur et classe 3 pour l'air extérieur). En effet, les QD représentent un risque d'intoxication lié au dépassement d'un seuil d'exposition ; les QD calculés par classe d'âge ne s'ajoutent donc pas les uns aux autres.

Les résultats des calculs de risque, pour la voie d'exposition par inhalation de substances volatiles, indiquent des niveaux de risque sanitaires inférieurs aux seuils de référence, pour les futurs usagers du site une fois les mesures de gestion proposées mises en oeuvre.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

5. Interprétation des résultats

5.1. Hiérarchisation des risques

Les risques sanitaires les plus élevés sont les risques associés à une exposition aux substances présentes dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol, au sein des futurs bâtiments.

Les substances contribuant majoritairement à ces risques sont :

- au niveau de risque non cancérigène (QD), le mercure (87 % du risque) ;
- au niveau de risque cancérigène (ERI), le benzo (b) Fluoranthène (55,6 % du risque) et les PCB (13,5 % du risque).

5.2. Comparaison aux Valeurs Guide de la qualité de l’Air Intérieur (VGAI)

A noter que les concentrations présentées dans ce chapitre ne sont pas issues de mesures réelles dans le milieu mais d’une modélisation. Cette modélisation est par conséquent sujette à certaines incertitudes du fait des paramètres de modélisation retenus (taux de ventilation, dimensions des bâtiments, type de sol au droit du bâti, taux de fissuration de la dalle, etc.), l’influence de certains de ces paramètres sur la concentration modélisée sera présentée en analysé des incertitudes (cf. chapitre 5.3).

Au-delà, des niveaux de risque sanitaires établis, les concentrations modélisées sont ici comparées aux valeurs guides disponibles en termes de qualité d’air intérieur.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Valeurs Guide de la qualité de l'Air Intérieur (VGAI)

Compte tenu d'un impact en benzène, toluène, éthylbenzène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène et naphtalène au droit du site, les concentrations modélisées dans les futurs bâtiments (logement, bureaux, espace de loisirs) ont été comparées, à titre informatif, à la valeur repère de qualité d'air intérieur (VGAI) des espaces clos du Haut Conseil de Santé Public (HCSP) ou à la VGAI proposée par l'ANSES (pour le cas du toluène et de l'éthylbenzène).

Tableau 8 : Comparaison des concentrations modélisées avec les VGAI du HCSP ou de l'ANSES

Substance	Concentrations modélisées dans l'air intérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VGAI du HCSP ou de l'ANSES
Benzène	$6,9 \text{ E}^{-2}$	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Toluène	$1,1 \text{ E}^{-1}$	$20\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Ethylbenzène	$3,1 \text{ E}^{-2}$	$1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Trichloroéthylène	$4,5 \text{ E}^{-1}$	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Tétrachloroéthylène	$4,0 \text{ E}^{-2}$	$250 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Naphtalène	$2,3 \text{ E}^{-2}$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Les concentrations modélisées dans l'air intérieur des futurs bâtiments sont inférieures aux valeurs de qualité d'air intérieur recommandées par le HCSP ou l'ANSES.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

5.3. Evaluation des incertitudes

L'évaluation des risques sanitaires se décompose en cinq grandes étapes, dont chacune fait l'objet d'incertitudes :

- la caractérisation physique du site,
- la sélection des substances,
- l'évaluation de l'exposition,
- l'évaluation de la toxicité,
- la caractérisation des risques.

5.3.1. Analyse qualitative

5.3.1.1. Incertitudes sur les caractéristiques physiques du site

Les incertitudes concernent ici les reconnaissances effectuées sur le site. Des observations de terrain sur les sols ont été réalisées lors des sondages afin de déterminer précisément les différents paramètres spécifiques du site, et réduire ainsi l'incertitude associée à ces paramètres.

Au droit du site, les sols de surface sont constitués essentiellement de remblais limoneux ou de remblais sableux jusqu'à environ 1 m de profondeur. Les remblais comportent de nombreux cailloux, graviers, morceaux de craie et de briques, ect. Le type de sol retenu, correspondant au sol le plus perméable aux substances volatiles observées lors des investigations de terrain, est donc un sol de type sableux.

5.3.1.2. Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

Les cibles choisies sont les usagers du site les plus sensibles, c'est-à-dire ceux qui sont les plus exposés aux substances volatiles présentes dans les sols, eaux souterraines et gaz du sol. Dans une démarche sécuritaire, les risques associés à chacun des milieux étudiés sont cumulés.

Les cibles étudiées sont donc les futurs résidents sur site. A titre informatif, une exposition cumulée avec un individu résidant et travaillant sur le site est présentée en analyse des incertitudes (cf. chapitre 5.3.2).

Dans cette étude, **les modèles d'exposition** du logiciel Modul'ERS développé par l'INERIS ont été utilisés pour estimer les concentrations de polluants dans l'air intérieur et extérieur, à partir des concentrations mesurées dans les sols et les gaz du sol. L'estimation de l'exposition d'un individu, à l'aide de modèles d'exposition, n'est qu'une représentation mathématique approximative, et généralement sécuritaire, de la réalité. L'incertitude associée aux modèles est toutefois difficile à évaluer.

De nombreux paramètres, spécifiques au site ou aux récepteurs, influencent les résultats des modélisations. Les propriétés physico-chimiques et géologiques font partie des paramètres influençant la détermination des flux de remontées des substances volatiles. Les paramètres géologiques proviennent de mesures ou d'observations réalisées sur site. Les propriétés physico-chimiques des substances (provenant de bases de données fiables telles que l'INERIS, l'US-EPA, ou la littérature scientifique), et les concentrations retenues ne sont pas des sources majeures

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

d'incertitudes. Les hauteurs de plafond, et les dimensions des bâtiments font l'objet d'incertitudes du fait de l'absence de plans d'aménagement. Dans une démarche sécuritaire, les calculs ont été réalisés sur la base d'une surface de bâtiment de 50 m² et pour une hauteur sous-plafond standard de 2,5 m.

Une part de l'incertitude, liée à l'utilisation du modèle, provient donc de l'utilisation de paramètres par défaut du fait de l'absence de données spécifiques. En effet, pour certains paramètres, seules les valeurs standards proposées par le modèle sont connues. Dans ce cas, il est difficile d'envisager d'autres valeurs (taux de renouvellement d'air dans un bâtiment, taux de fissuration, température du sol...).

Lors d'une exposition par inhalation de substances volatiles provenant des sols, il apparaît que trois facteurs ont une influence non négligeable sur le résultat final. Il s'agit du taux de fissuration de la dalle, de la hauteur de l'espace clos modélisé et du taux de renouvellement d'air.

Concernant la fraction surfacique occupée par les ouvertures de la dalle, en l'absence de valeurs propres au site, il a été considéré une valeur standard de 1,0E-05 (RIVM 1996, 2008).

Concernant le taux de ventilation, en l'absence de valeurs propres au site, le taux de renouvellement d'air standard (pour un usage résidentiel) du logiciel Johnson et Ettinger a été retenu, soit 0,5 vol/h. Ce taux de renouvellement est plus faible que pour un usage tertiaire. Cette démarche est donc sécuritaire dans le cas d'une activité économique pratiquée sur site.

Il est important de noter que le calcul de risque prend en compte uniquement des bâtiments en plain-pied, démarche sécuritaire, dans le cas des lots 1 et 2 où des parkings en sous-sols seront présents, limitant ainsi l'exposition des futurs usagers des bâtiments de ces lots.

5.3.1.3. Incertitudes sur la sélection des substances et les concentrations

Les concentrations des différentes substances mesurées sur site sont soumises à des incertitudes inhérentes aux méthodes de prélèvements et d'analyses :

- Sur le terrain, des biais de prélèvements existent, liés soit à la technique de prélèvement (tarière manuelle, carottage, géoprobe, pelle mécanique,...), soit à la constitution de l'échantillon (choix de la lithologie à échantillonner, échantillon simple ou composite,...). Les protocoles de terrain font en sorte de limiter ces biais, mais il n'est pas possible de les éviter totalement.
- Au laboratoire, des incertitudes liées aux méthodes d'analyse sont également identifiées. Là encore, les protocoles permettent de limiter ces incertitudes.

La réalisation d'un nombre d'échantillons important permet également de limiter les incertitudes.

La sélection des substances chimiques retenues pour l'étude est une source d'incertitudes. D'une part, les substances considérées sont limitées aux substances polluantes identifiées lors des investigations puis sélectionnées dans l'étude. D'autre part, les limites de quantification des laboratoires ne permettent pas d'établir une concentration pour chaque polluant analysé.

Un examen des études précédemment menées et plusieurs diagnostics environnementaux (eaux souterraines, sols et gaz du sol) ont été réalisés sur le site. Les analyses sur les sols et les eaux

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

souterraines ont été centrées sur les hydrocarbures : HCT, BTEX, HAP, ainsi que sur les COHV et les métaux. Les PCB ont également été analysés sur les sols. Les mesures de gaz du sol ont permis d'estimer de façon plus réaliste le dégazage des substances observées au niveau des sols concernant les HCT, les BTEX, les COHV et le mercure.

Il est à noter que les mesures réalisées sur la zone des lots 3 à 6 indiquent des anomalies moins importantes sur la partie sud du site (lots 1 et 2). Cependant, il est important de souligner que la quantité de données disponibles est modeste sur cette zone. D'après les données disponibles, la profondeur du toit des eaux souterraines sur la zone des lots 3 à 6 est de l'ordre de 1,8 mètre. En raison de la faible quantité de données sur les eaux souterraines et par principe de précaution, des investigations complémentaires, visant à préciser la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol au droit de chaque lot sont recommandés au sein du plan de gestion.

La zone où la valeur maximale en mercure a été mesurée n'a pas fait l'objet d'un prélèvement de gaz de sols. Un seul prélèvement et une seule analyse en mercure dans les gaz de sol ont été réalisés au droit de sols présentant une teneur en mercure du même ordre de grandeur que les autres teneurs mesurées sur le reste du site (hors terres excavées dans le cadre du projet d'aménagement et des mesures de gestion). La mesure réalisée sur les gaz de sol est donc considérée comme représentative de l'ensemble du site (lots 1 à 6). Un calcul sur l'influence de cette incertitude est effectué dans la partie Analyse quantitative, au paragraphe 5.3.2.

Pour les BTEX, plusieurs prélèvements de gaz de sol ont été réalisés au droit de teneurs similaires à la valeur maximale mesurée au droit du site. Les mesures de gaz de sol ont donc également été privilégiées.

Concernant le chlorure de vinyle, aucune mesure de gaz de sol n'a été réalisée à proximité du piézomètre PZ2 où celui-ci a été mesuré. Cependant, il a été mesuré au sein de l'ensemble des piézomètres-gaz répartis sur l'ensemble du site permettant de fournir une représentativité du potentiel dégazage de ce paramètre depuis les eaux souterraines. Ce paramètre a donc été retenu dans les gaz de sol.

Par précaution, les concentrations maximales mesurées sur le site dans les gaz ont été retenues pour le calcul des risques dans l'air ambiant (intérieur et extérieur). Ce choix est sécuritaire en termes de risque sanitaire.

En outre, lorsque la substance n'a pas été détectée dans les gaz du sol, il a été retenu, dans une hypothèse sécuritaire, une teneur égale à la limite de quantification des laboratoires lorsque la substance considérée a été quantifiée dans les sols et/ou les eaux souterraines (en respectant les deux zones distinctes).

Il est à noter que chaque composé n'a été mesuré dans les gaz de sol qu'au cours d'une seule campagne de prélèvement et que le dégazage des composés volatils dans les gaz de sols est fortement dépendant des conditions météorologiques. En l'occurrence les prélèvements ont été réalisés dans des conditions météorologiques plutôt moyennes à mauvaises pour le dégazage des sols (réalisation des prélèvements en décembre 2017). Il est recommandé de se baser sur les résultats de gaz de sol obtenus au cours de plusieurs campagnes réalisés en conditions météorologiques différentes (une campagne en période estivale, plus favorable au dégazage des sols) pour effectuer les modélisations d'exposition.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

5.3.1.4. Incertitudes sur l'évaluation de la toxicité

Selon l'US EPA, il existe de nombreuses sources d'incertitudes associées à la détermination des valeurs de toxicité, notamment du fait :

- de l'extrapolation de la réponse dose-effet pour de faibles doses à partir de hautes doses,
- de l'extrapolation de réponse pour des expositions de courtes durées à de longues durées,
- de l'extrapolation des résultats d'expérimentations chez l'animal pour prédire des effets chez l'homme,
- de l'extrapolation de réponses à partir d'études provenant de populations animales homogènes pour prédire les effets sur une population composée d'individus avec un large spectre de sensibilité.

Les bases de données toxicologiques retenues pour l'étude sont en priorité celles de l'ANSES, l'US-EPA (base de données de l'IRIS¹⁴), de l'ATSDR, et de l'OMS, puis celles du RIVM¹⁵, de Health Canada, de l'OEHHA et de l'EFSA¹⁶.

La sélection des VTR a été établie selon les recommandations de la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 (cf. **Annexe A**).

5.3.1.5. Incertitudes sur la caractérisation du risque

Les incertitudes inhérentes à la caractérisation du risque sont directement fonction des incertitudes précisées dans les chapitres précédents.

Il convient de rappeler que cette analyse ne peut tenir compte de toutes les incertitudes liées à l'utilisation des modèles. Néanmoins, il faut souligner que, de façon générale, **les paramètres retenus pour calculer les risques ont tendance à surestimer les risques sanitaires ; ceci répond au principe de prudence scientifique qui régit l'évaluation quantitative des risques sanitaires.**

¹⁴ Integrated Risk Information System.

¹⁵ Institut Royal pour la Santé Publique et l'Environnement (Pays-Bas).

¹⁶ Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (European Food Safety Authority).

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

5.3.2. Analyse quantitative

Plusieurs paramètres sont étudiés ici, à savoir :

- La fraction annuelle de temps passé sur le site (en intérieur et en extérieur) ;
- La VTR en PCB ;
- La concentration en mercure.

5.3.2.1. La fraction annuelle de temps passé sur le site

L'étude principale prend en compte l'exposition d'une personne résidant sur site durant 30 ans (de 0 à 30 ans). Le projet d'aménagement prévoyant des bâtiments à usage résidentiel et/ou économique, à titre informatif, le cas d'une exposition cumulée d'un individu qui, une fois adulte, travaille et vit sur site est étudié ci-après. Pour cela, les fractions annuelles de temps passées à l'intérieur des bâtiments et en extérieur a été augmenté tel que présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 9 : Paramètres d'exposition – cas d'une cible à l'exposition cumulée

Voies d'exposition potentielles	Cibles	Valeurs retenues	Justifications
Fraction annuelle de temps passé à l'intérieur des bâtiments	Employé	8h/jour pendant 220 jours/an soit un ratio de 0,19	INERIS (2015) et jugement d'expert Les calculs de risques ont été réalisés en prenant en compte une exposition cumulée d'une personne travaillant et résidant sur le site
	Résident adulte	16,5h/jour pendant 365 jours/an soit un ratio de 0,69	
	Cumul annuel	Soit un ratio annuel en exposition cumulée (employé + résident) de 0,88	
	Résident enfant	Entre 0,61 à 0,73 selon les classes d'âge de moins de 18 ans	
Fraction annuelle de temps passé à l'extérieur	Employé	Ratio de 0,053 soit environ 1,3h/jour tous les jours (0,025 pour les employés et 0,028 pour les résidents)	INERIS (2015) et jugement d'expert Les calculs de risques ont été réalisés en prenant en compte une exposition cumulée d'une personne travaillant et résidant sur le site.
	Résident adulte		
	Cumul annuel	Entre 0,0313 et 0,1 selon les classes d'âge de moins de 18 ans	

En gras, les paramètres modifiés par rapport à l'étude principale

L'ensemble des autres paramètres ont été conservé tels que présentés dans l'étude principale (caractéristiques du sol, de la dalle béton, taux de ventilation, durée d'exposition, etc.).

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Les niveaux de risque intégrant cette exposition cumulée sont présentés ci-après.

Tableau 10 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la durée d'exposition

	ERI	QD *
Cible : Résident sur site	7,99E-06	2,61E-01
Cible : Personne travaillant et résidant sur site	9,87E-06	3,16E-01
Ecart (%)	+23,5%	+21 %
Seuils de référence	1,0E-05	1,0E+00

*Le QD présenté ici correspond à la classe d'âge la plus pénalisante (classe 7 pour l'air intérieur et classe 3 pour l'air extérieur). En effet, les QD représentent un risque d'intoxication lié au dépassement d'un seuil d'exposition ; les QD calculés par classe d'âge ne s'ajoutent donc pas les uns aux autres.

La cible, à travers le temps d'exposition de celle-ci aux anomalies présentes sur site, est un paramètre sensible pour le niveau de risques cancérigène (ERI) et pour le niveau de risques non cancérigène (QD), dont l'augmentation peut engendrer une augmentation significative des risques. Il est à noter qu'avec une exposition cumulée d'une personne vivant et travaillant sur site, le niveau de risque cancérigène est très proche de la valeur seuil en vigueur.

5.3.2.2. La VTR PCB

Cas du PCB :

Initialement, pour l'aroclor 1254, pour la voie par inhalation, des VTR pour les effets sans seuil distinctes sont proposées pour les enfants (< 6ans) et les adultes. Dans une démarche sécuritaire, la VTR applicable pour les enfants, plus sécuritaire, a été appliquée pour la réalisation des risques sanitaires, pour l'ensemble des cibles quel que soit leur âge. La prise en compte de la VTR adulte (soit 0,1 mg/m³ au lieu de 0,5 mg/m³) est ici étudiée.

Les niveaux de risque intégrant cette VTR sont présentés dans le tableau suivant.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 11 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur la VTR du PCB

	ERI	QD
VTR PCB enfants	7,99E-06	2,61E-01
VTR PCB adultes	7,16E-06	2,61E-01
Ecart (%)	-10,75%	0%
<i>Seuils de référence</i>	<i>1,0E-05</i>	<i>1,0E+00</i>

La prise en compte de la VTR adulte indique une diminution importante des niveaux de risques sanitaires de 10,75 % cohérente avec le fait que les PCB est un des traceurs du risque cancérigène (ERI). L'étude principale est donc sécuritaire en prenant en compte la VTR enfant, d'autant plus que la concentration prise en compte est celle mesurée dans les sols et que la modélisation de la concentration dans les gaz de sols à partir de la mesure dans les sols est majorante.

5.3.2.3. La concentration en mercure

La mesure sur gaz de sol a été privilégié concernant le mercure même si l'échantillon n'a pas été réalisé au droit de la valeur maximale mesurée dans les sols car les teneurs en mercure au droit du site sont relativement similaires (en dehors de sols qui seront excavés dans le cadre du projet d'aménagement et des mesures de gestion). De plus, il est rappelé que la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués préconise de privilégier, pour les calculs de risques, les mesures les plus proches du milieu d'exposition (air intérieur ou extérieur). Les gaz de sol sont donc plus appropriés que les sols ou les eaux souterraines pour les calculs de risques sanitaires par inhalation.

Afin de mettre en évidence le risque potentiellement engendré au droit de la teneur maximale en mercure, cette analyse des incertitudes estime la concentration potentiellement présente dans les gaz de sol au droit de cette anomalie afin d'évaluer le risque sanitaire potentiel.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Tableau 12 : Estimation de la concentration potentiellement présente dans les gaz de sol au droit de la plus forte anomalie en mercure

Données disponibles au niveau des piézomètres « gaz »				Plus forte anomalie mesurée dans les sols		Concentration potentiellement présente au droit de la plus forte anomalie
Gaz de sol		Sols		Sols		Gaz du sol
Teneur maximale mesurée dans les sols à proximité d'un piézomètre « gaz » [Tpiézair]	Ouvrage concerné	Concentration maximale mesurée dans les gaz de sol [Cpiézair]	Echantillon concerné	Teneur maximale mesurée dans les sols sur le site [T max]	Echantillon concerné	Concentration maximale estimée dans les gaz de sol au droit de la plus forte anomalie mesurée dans les sols (présence potentielle) $[(C_{piézair})/(T_{piézair})] \times [T_{max}]$
mg/kg MS		mg/m ³		mg/kg MS		
0,075	10% de la concentration de S7 (Antea Group 2017)	< 4,23 ^E -03	LQ PZaS7	0,113	10% de la concentration de S11 (Antea Group 2018) ¹⁷	6,4^E-03

Un calcul de risque a été réalisé à partir de cette concentration potentielle estimée dans les gaz de sol au droit de la plus forte anomalie mesurée en mercure dans les sols.

Les risques sanitaires induits sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 13 : Résultats de l'analyse des incertitudes sur les concentrations

	ERI	QD
Etude principale		
Prise en compte de la concentration maximale mesurée dans les gaz de sol en mercure	7,99E-06	2,61E-01
Analyse des incertitudes		
Prise en compte de la concentration maximale estimée dans les gaz de sol au droit de la plus forte anomalie mesurée dans les sols	7,99E-06	3,76E-01
Ecart (%)	0%	+ 44,5 %
Seuils de référence	1,0E+00	1,0E-05

Les résultats de l'analyse d'incertitude montrent que la prise en compte de la concentration estimée dans les gaz de sols n'engendre pas de risque sanitaire pour les futurs usagers du site. Le calcul se base sur une estimation, à priori, sécuritaire et majorante puisque l'estimation de la concentration dans les gaz de sols est calculée à partir d'une limite de quantification du laboratoire constituant la concentration maximale mesurée dans les gaz de sols.

¹⁷ La prise en considération de cette concentration (1,13 mg/kg) est sécuritaire puisque c'est la valeur du seuil de coupure pour le mercure. Aucune concentration supérieure ne pourra être présente puisque les terres présentant une concentration égale ou supérieur à 1,13 mg/kg devront être évacuées.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

5.3.2.4. Bilan de l'analyse des incertitudes

Cette analyse des incertitudes (qualitative et quantitative) met l'accent sur :

- le caractère sécuritaire de cette Analyse des Risques Résiduels par la prise en compte, notamment, de bâtiments de plain-pied sur l'ensemble du site, des concentrations maximales rencontrées dans les sols restants en place et dans les gaz de sols (tous les piézaires pris en compte), d'un sol de type sable, etc. ;
- une valeur élevée pour le niveau de risque non cancérigène (ERI) en cas d'exposition cumulée restant toutefois inférieure à la valeur seuil de référence ;
- le caractère sécuritaire de l'Analyse des Risques Résiduels réalisée à travers l'utilisation de la VTR PCB dédiée aux enfants pour l'adulte pour les effets sans seuil ;
- l'augmentation du niveau de risque cancérigène (QD) lors de la prise en compte d'une concentration estimée dans les gaz de sol en mercure au droit de la plus forte anomalie mesurée dans les sols en ce paramètre. Cependant, ce risque reste acceptable et respecte la valeur seuil de référence.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

6. Conclusions

Dans le cadre du réaménagement du site localisé boulevard de Montesquieu à Roubaix (59), SIGLA NEUF a mandaté Antea Group pour la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels (ARR) dans l'objectif d'étudier la compatibilité de l'aménagement envisagé (bâtiments à usage d'habitation ou économique et espaces extérieurs de type parking, espaces verts collectifs et privés) avec les anomalies résiduelles observées au droit du site.

Au regard du projet d'aménagement, le scénario d'exposition suivant a été étudié : l'exposition d'une personne vivant sur le site d'étude de l'âge de 0 à 30 ans (cible la plus exposée) par inhalation des substances volatiles présentes dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol dans l'air intérieur des bâtiments et l'air extérieur (parking espace vert collectif, espace de loisirs).

Cette Analyse des Risques Résiduels indique que les niveaux de risque sont inférieurs aux seuils de risque recommandés par la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (Janvier 2019).

Après la mise en œuvre des mesures de gestion, l'état environnemental du site est donc compatible avec la construction d'un ensemble de bâtiments à usage d'habitation ou économique comprenant des espaces verts communs et privés et des parkings.

Toutefois et conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites potentiellement pollués, pour limiter les incertitudes liées à la faible quantité de données disponibles au droit des lots 3 à 6 et aux conditions climatiques, il est conseillé de réaliser des investigations complémentaires sur les lots 3 à 6 afin d'obtenir des informations supplémentaires sur les sols et les gaz de sols en conditions plus favorables au dégazage de milieux sols et eaux souterraines (période estivale). Ces investigations complémentaires permettraient d'une part, de s'assurer de l'absence de source de pollution concentrée non connue et d'autre part, de définir les filières adaptées pour les déblais générés en phase travaux. Sur la base de ces résultats (teneurs et concentrations résiduelles réellement présentes dans les sols et les gaz de sol), l'analyse des risques résiduels pourra être révisée si les teneurs sont supérieures à celles connues.

Cette conclusion est établie en considérant que les mesures de gestion définies précédemment ainsi que les hypothèses suivantes ont été respectées :

- mise en place d'un recouvrement pérenne au droit des zones :
 - des bâtiment d'activité de plain-pied et en sous-sol (dalles béton) ;
 - de parkings et voiries (enrobé bitumineux par exemple) ;
 - des espaces verts (terres saines séparées des sols en place par un dispositif avertisseur et un géotextile anticontaminant imputrescible) ;
- Interdiction d'implanter des arbres à fruits comestibles et de créer des potagers (espaces publics et privés). Interdiction à noter dans les règlements de copropriété, acte notarié, baux locatifs etc. ;
- Mise en place des canalisations enterrées d'eau potable dans une tranchée avec remblai propre et réalisées dans des matériaux résistants aux substances présentes dans les sols, la nappe et les gaz de sols ;

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- Restrictions d'usage des eaux souterraines au droit du site ;
- sur la base d'un taux de ventilation standard de 0,5 vol/h dans les bâtiments et d'une hauteur sous plafond de 2,5 m ;
- en considérant les concentrations maximales en substances chimiques observées dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol ;
- selon les hypothèses sécuritaires retenues ;
- selon la méthodologie décrite dans les outils de gestion des sites (potentiellement pollués, rédigée par le M.E.D.D.E (anciennement M.E.D.A.D), V0 - février 2007 et selon la nouvelle méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (avril 2017) ;
- en l'état actuel des connaissances scientifiques sur les plans chimique, géologique et toxicologique (Janvier 2019).

Il faut noter que tout changement concernant les caractéristiques environnementales du site (découverte d'une nouvelle source), le projet d'aménagement et les scénarios d'exposition pris en considération est susceptible de modifier les résultats de l'étude.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son client.

Les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <http://www.annexes.anteagroup.org>.

Sauf avis contraire de votre part, la présente prestation sera intégrée dans la liste des références d'Antea Group. Les noms de nos clients, les titres des prestations ainsi que leurs montants sont ainsi susceptibles d'être communiqués à des tiers.

Antea Group réalise ses prestations dans le respect des principes de la norme AFNOR NF X 31-620. Cette norme constitue le socle de la certification « Prestation de services relatives aux sites et sols pollués ». Antea Group est certifiée selon cette norme. Antea Group applique les recommandations de la politique de gestion des sites et sols pollués du MEEDDAT, exprimée dans la Note du 19 avril 2017 et la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués associée.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A



ANNEXES

Annexe A : Méthodologie Générale

Annexe B : Textes réglementaires et bibliographie

Annexe C : Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS

Annexe D : Synthèse des données toxicologiques

Annexe E : Synthèse des données physico-chimiques

Annexe F : Calculs de Risque Sanitaire

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe A : Méthodologie Générale

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

DESCRIPTIF TECHNIQUE DE LA METHODOLOGIE

L'évaluation des risques sanitaires se décompose en plusieurs étapes :

1. **Analyse des données** (compilation et synthèse des données issues des différentes études réalisées au droit du site),
2. **Evaluation des expositions** (définition des scénarii d'exposition, quantification des doses journalières d'exposition),
3. **Sélection des substances** (détermination des substances retenues pour l'étude et leurs concentrations associées dans les sols et/ou la nappe et/ou gaz du sol),
4. **Evaluation de la relation dose-réponse** : recueil des valeurs toxicologiques de référence disponibles au moment de la réalisation de l'étude, et choix argumenté d'une valeur toxicologique pour chaque substance retenue,
5. **Caractérisation des risques** (effets avec seuil et sans seuil),
6. **Interprétation des résultats** : hiérarchisation des risques, détermination des objectifs de réhabilitation (ou de dépollution) et/ou de servitudes à mettre en place -si nécessité-, évaluation des incertitudes,
7. **Conclusion et recommandations.**

① ANALYSE DES DONNEES

L'ensemble des données issues des investigations réalisées au droit du site est compilé et analysé.

② EVALUATION DES EXPOSITIONS

Cette étape se décompose en plusieurs phases :

- une identification des voies d'exposition ;
- une identification des récepteurs d'exposition (typologie de la population) ;
- une définition des scénarii d'exposition (typologie des modes d'exposition en fonction des activités) ;
- une quantification de l'exposition (doses journalières d'exposition : DJE ou, pour un gaz, concentration d'exposition : CE).

Il faut souligner ici que l'exposition des travailleurs lors de la phase chantier (travaux de terrassement/construction des bâtiments) ne fait pas l'objet de la présente étude ; leur sécurité devra néanmoins être assurée et toutes les précautions nécessaires devront être prises lors du maniement et de l'évacuation des sols. A ce titre, les mesures relatives à l'hygiène, la sécurité et la qualité sont traitées dans le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPS ou PPSPS) qui a été remis lors de la phase d'investigations.

L'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires porte sur la santé humaine des cibles présentes sur le site. L'appréciation des risques touchant aux écosystèmes, aux végétaux d'ornement qui pourront être implantés au droit de la zone d'étude, à la ressource en eau ou aux biens matériels ne fait pas l'objet de la présente étude. De même, l'appréciation des risques liés à l'explosivité et aux nuisances olfactives ne fait pas l'objet de cette étude.

Caractérisation du lieu d'exposition

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Le lieu d'exposition est ici décrit afin d'établir les voies de transfert et les voies d'exposition potentielles, en fonction de l'aménagement envisagé au droit du site.

Définition des scénarii d'exposition

Dans une étude de risque, **les voies d'exposition potentielles** sont les voies de contact direct (ingestion et inhalation de poussières telluriques) et indirectes (inhalation de substances chimiques volatiles, ingestion de végétaux, etc.). Le choix des voies retenues est fonction de l'aménagement prévu sur le site. Les cibles sont les futurs usagers du site.

Les scénarios d'exposition potentiels des populations comprennent les éléments suivants :

- une source ou un milieu contaminé par des polluants à risque ;
- un cheminement dans le milieu environnemental vers un point d'exposition ;
- un récepteur ;
- un mode d'exposition.

Le schéma conceptuel récapitule l'ensemble des voies de transfert et d'exposition pour les populations cibles.

Calcul de la dose d'exposition

La **quantification des expositions** vise à calculer la dose journalière (ou concentration) d'exposition des cibles aux substances identifiées. Il est donc essentiel de déterminer :

- les paramètres d'exposition, à savoir la fréquence, la durée et l'intensité des contacts entre les polluants et les différents groupes de population susceptibles d'être exposés ;
- la concentration dans l'air ambiant intérieur et/ou extérieur à laquelle est exposé le futur usager du site à partir des milieux sources sols, eaux souterraines et/ou gaz du sol.

Les **paramètres d'exposition** reposent sur des facteurs définis dans la littérature, telle que l'*Exposure Factors Handbook* de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency)¹⁸, et CIBLEX¹⁹, ainsi que sur l'étude des caractéristiques spécifiques du site (jugement d'expert).

Dans le cadre de l'EQRS, le transfert des polluants volatils présents dans la nappe, les sols et les gaz du sol vers l'air ambiant sera étudié à l'aide de logiciels de modélisation. **Les modèles d'exposition** utilisés permettent ainsi d'établir les concentrations en polluants dans l'air ambiant intérieur d'un bâtiment et/ou extérieur au droit du site.

La dose d'exposition permet la quantification de l'exposition journalière à un polluant, qui est présent dans le milieu d'exposition. La dose journalière d'exposition (DJE) est définie comme un taux par unité de poids (mg/kg.j) ou comme une concentration par unité volumique (concentration d'exposition en mg/m³).

¹⁸ US EPA, Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. EPA/600/R-09/052F, September 2011.

¹⁹ IRSN, ADEME, CIBLEX : banque de donnée de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, version 0, Juin 2003

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

③ SELECTION DES SUBSTANCES

Les substances sélectionnées pour l'étude sont celles connues pour être toxiques pour l'homme et pour lesquelles il existe des valeurs toxicologiques de référence accessibles et fiables. Les calculs de risque porteront sur ces substances, et éventuellement sur leurs produits de dégradation.

Les substances retenues pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires répondent aux critères suivants :

- toute substance dont les données disponibles (notamment physico-chimiques et toxicologiques²⁰) sont d'une qualité suffisante pour être exploitées en analyse des risques. Concernant les données physico-chimiques, les sources bibliographiques retenues sont les suivantes, par ordre de priorité :

Hiérarchisation	Références bibliographiques
1	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
2	United States Environmental Protection Agency (US-EPA) : US EPA Soil Screening Guidance, June 1996; US-EPA Screening level ecological assesement protocol ; Appendix C : Media-to-receptors BCF values, 1999. US-EPA Screening level ecological assesement protocol ; Appendix C : Media-to-receptors BCF values, 1999.
3	Hazardous Substances Data Bank (HSDB)
4	Handbook <i>Soil Vapor Extraction Technology</i> de T., A. Pedresen et J., T. Curtis (1991). (constante de Henry à 10°C) <i>Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Third Edition, Verschueren (1996)</i> ;
5	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR);
6	Human Health Risk Assessment Protocol (HHRAP), September 2005.
7	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
8	Base de données du logiciel Csoil
9	Base de données CALTOX
10	Base de données du logiciel BP Risc
11	Base de données du logiciel RBCA (fichier)
12	Base de données du logiciel HESP
13	Superfund for Dermal Risk Assessment, 2001
14	US-EPA (United States Environmental Protection Agency) dans le document Risk Assessment, Technical Guidance Manual
15	Base de données RAIS (Risk Assessment Information System) (uniquement pour les données manquantes)

- toute substance dont la concentration est supérieure à la limite de quantification dans les sols, les eaux souterraines et/ou les gaz du sol ;
- pour l'inhalation de substances volatiles, dans une démarche sécuritaire, toute substance présentant des données physico-chimiques relatives à sa volatilité (pression de vapeur, constante de Henry). Ainsi, l'ensemble des HAP et des PCB sont notamment considérés comme volatils. En revanche, parmi les ETM, seul le mercure est considéré comme volatil ;

²⁰ Sources des paramètres toxicologiques retenus (selon la hiérarchisation de la circulaire n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 Octobre 2014) : ANSES, INERIS ; US EPA , ATSDR, OMS ; RIVM, Health Canada, OEHA, EFSA.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- pour l'inhalation de vapeurs, lorsque les concentrations sont inférieures aux limites de quantification dans les gaz de sols, ces limites de quantification sont retenues lorsque les composés concernés sont détectés à des teneurs / concentrations supérieures aux limites de quantification dans les sols ou les eaux souterraines ;
- pour l'ingestion et l'inhalation de poussières, tout ETM dont la concentration est supérieure au bruit de fond pédogéochimique local, régional et/ou national²¹.

④ EVALUATION DE LA RELATION DOSE-REPONSE

Objectifs

L'objectif de l'évaluation de la relation dose-réponse est d'identifier les effets indésirables qu'une substance est capable de provoquer chez l'homme (identification du potentiel dangereux des substances) et de définir, quand cela est possible, une relation quantitative entre la dose et l'augmentation de la probabilité d'occurrence et/ou de la gravité des effets néfastes.

Les valeurs toxicologiques de référence, utilisées pour estimer l'incidence ou le potentiel des effets néfastes sur l'homme, sont dérivées de cette relation dose-réponse.

Il existe deux grandes catégories de toxiques, les substances à effet sans seuil (telles que les substances cancérogènes) et les substances à effet à seuil.

Caractérisation des substances à effets sans seuil

Les composés cancérogènes génotoxiques sont des substances considérées sans valeur seuil. Ainsi, si le risque zéro est associé à une dose d'exposition égale à zéro, tous les autres niveaux d'exposition présentent un risque ; les substances cancérogènes génotoxiques sont aussi appelées substances à effet sans seuil. La réponse théorique à une dose d'exposition nécessite l'usage de modèle mathématique.

L'ERU (ou Excès de Risque Unitaire) et le CR (Cancer Risk) correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance cancérogène. Il s'agit généralement de la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de la pente de la droite («slope factor») qui relie la probabilité de réponse à la dose toxique. Cet indice est l'inverse d'une dose et s'exprime en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$.

Les différentes VTR rencontrées sont :

- pour la voie orale, l'Excès de Risque Unitaire (ERU) ou Sfo (oral Slope Factor) exprimé en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$ et le Drinking Water Unit Risk élaborés par l'US-EPA (exprimé en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$) ;
- pour la voie respiratoire : l'Inhalation Unit Risk (IUR) élaboré par l'US-EPA, exprimé en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$;
- quelle que soit la voie d'exposition : l'excess lifetime Cancer Risk ou CR élaboré par le RIVM et la dose ou concentration tumorigène (TD05 ou TC05) élaborée par Health Canada.

²¹ Sources des données sur le fonds pédogéochimique régional et/ou national : INRA/BRGM (Fond géochimique naturel, Etat des connaissances à l'échelle nationale, juin 2000), Atlas Géochimique Européen (FOREGS).

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

La classification de l'US-EPA définit les classes suivantes :

Classification US EPA :

- Groupe A : Substance cancérigène pour l'homme.
- Groupe B1 : Substance probablement cancérigène pour l'homme avec des données disponibles limitées chez l'homme.
- Groupe B2 : Substance probablement cancérigène chez l'homme mais il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuves chez l'homme.
- Groupe C : Cancérigène possible pour l'homme.
- Groupe D : Substance non classifiable quant à la cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe E : Substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérogénicité pour l'homme.

D'autres classifications existent, notamment celle du Centre International de Recherche sur le Cancer de l'Organisation Mondiale de la Santé (CIRC/IARC) décrite ci-dessous :

Classification du CIRC / IARC :

- Groupe 1 : L'agent (le mélange) est cancérigène pour l'homme.
- Groupe 2A : L'agent (le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme.
- Groupe 2B : L'agent (le mélange) est peut-être cancérigène pour l'homme.
- Groupe 3 : L'agent (le mélange) est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme.
- Groupe 4 : L'agent (le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

L'Union Européenne a également émis une classification réglementaire (applicable en France) quant aux effets cancérigènes, mutagènes, ou toxiques pour la reproduction des produits chimiques²². La classification des substances cancérigènes est définie ci-dessous :

- Catégorie 1 : Substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme.
- Catégorie 2 : Substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme.
- Catégorie 3 : Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possible mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).
- Aucune classification.

Caractérisation des substances à effets à seuil

Il est reconnu que les effets biologiques des substances chimiques non cancérigènes ou de certaines substances cancérigènes non génotoxiques apparaissent à partir d'un certain seuil, d'où leur appellation, substances à effet à seuil. En fait, des mécanismes physiologiques réduisent les effets néfastes par des moyens pharmacocinétiques tels que l'absorption, la distribution, l'excrétion, et le métabolisme. Ainsi, certains niveaux d'exposition engendrent des effets qui peuvent être tolérés par un récepteur sans développer d'effets néfastes. La dose seuil pour un composé est estimée habituellement à partir d'une dose n'engendrant pas d'effet néfaste (NOAEL ou No-Observed-Adverse-

²² INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (2002). Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction - classification réglementaire. Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail. N° 187, 2^{ème} trimestre 2002. ND 2168-187-02.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Effect-Level) ou de la dose la plus basse engendrant un effet néfaste (LOAEL ou Lowest-Observed-Adverse-Effect-Level). Ces valeurs sont déterminées à partir d'études sur les animaux, ou à partir de données humaines lorsqu'elles sont disponibles.

Différentes valeurs de référence sont disponibles et varient suivant la voie d'exposition (orale ou inhalation), l'effet critique observé et la durée d'exposition (exposition chronique, subchronique ou aiguë). Dans l'évaluation des risques sanitaires, les expositions sont essentiellement des expositions de type chronique.

Une dose chronique de référence ou *Reference dose* (RfD) est définie comme étant l'estimation de la quantité de produit à laquelle un individu peut théoriquement être exposé sans constat d'effet nuisible, sur une durée déterminée. Pour une exposition par voie orale, la RfD est exprimée en masse de substance par kilogrammes de poids corporel et par jour (mg/kg/j). Pour l'inhalation, la RfD est généralement exprimée en masse de substance par mètre cube d'air ambiant (en mg/m³) et est appelée RfC ou *Reference Concentration*.

Parmi les doses de références publiées par les divers organismes nationaux et internationaux, les plus utilisées sont les *Reference Doses* (RfD) et les *Reference Concentrations* (RfC) élaborées par l'US EPA [United States Environmental Protection Agency], les *Minimal Risk Levels* (MRL) élaborées par l'ATSDR [Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA], et les *Acceptable Daily Intake* (ADI) ou *Dose Journalière Admissible* (DJA) et les *Acceptable Concentrations in Air* (ADI) ou *Concentration Admissible dans l'Air* (CAA), élaborées par l'OMS [Organisation Mondiale pour la Santé].

Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) est effectuée conformément aux prescriptions établies par la Circulaire n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 en date du 31 octobre 2014, cosignée par la DGS et la DGPR, relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR pour mener les évaluations de risque sanitaire dans le cadre des études d'impact et de la gestion de sites et sols pollués.

Ainsi, la sélection de la VTR est effectuée en respectant :

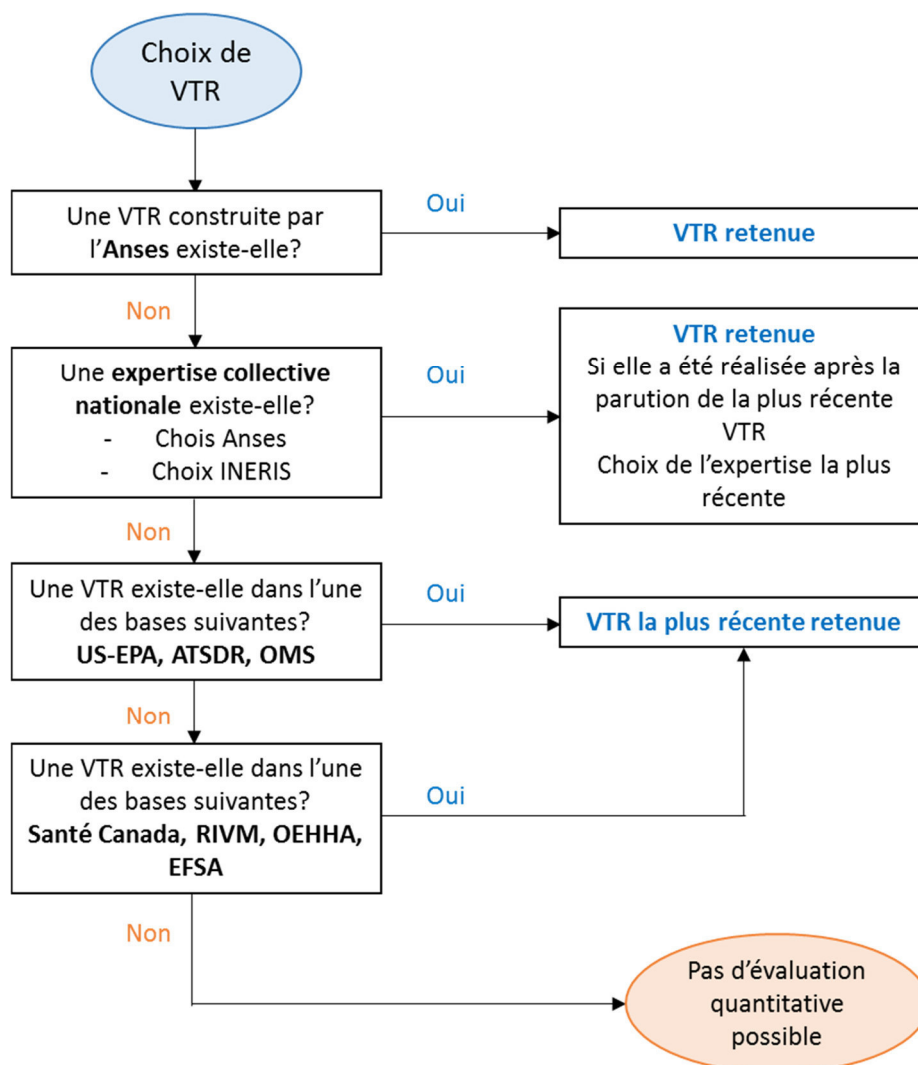
- la hiérarchisation suivante :
 - prise en compte en premier lieu des VTR construites par l'ANSES,
 - à défaut, si une expertise collective nationale a été menée (sélection ANSES et/ou INERIS) *a posteriori* des dates d'élaboration de l'ensemble des VTR disponibles, la VTR sélectionnée lors de cette expertise est retenue ;
 - à défaut, la VTR la plus récente dans les bases de données de l'US EPA, l'ATSDR et l'OMS est sélectionnée dans un premier temps,
 - en l'absence de VTR dans les bases précitées, c'est la VTR la plus récente dans les bases de données de Santé Canada, RIVM, OEHA ou EFSA qui est prise en compte.
- et les critères suivants :
 - les VTR provisoires ne doivent pas être retenues,
 - les VTR sélectionnées doivent correspondre à la durée et à la voie d'exposition auxquelles la population est confrontée ;
 - aucune dérivation de voie à voie n'est réalisée par Antea group ;

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- si des VTR ont été élaborées *a posteriori* d'une expertise collective nationale (ANSES, INERIS), les recommandations de cette expertise sont suivies et mises en perspective des nouvelles VTR disponibles.

La méthodologie adoptée est schématisée ci-dessous.



⑤ RESULTATS : CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation du risque est l'étape finale du calcul des risques sanitaires. Les informations issues de l'évaluation de l'exposition des cibles et de l'évaluation de la toxicité des substances sont synthétisées et intégrées sous la forme d'une expression qualitative et quantitative du risque. Ainsi, la caractérisation du risque consiste à mettre en relation les valeurs toxicologiques de référence retenues avec les doses d'exposition.

Il faut souligner ici que le cas d'un individu adulte qui aurait séjourné sur le site pendant son enfance est systématiquement étudié, lorsque la présence d'enfants au droit du site est envisageable.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Calcul de risque pour les effets à seuil

Les effets potentiels des substances non cancérigènes ou cancérigènes non génotoxiques sont estimés en comparant la dose calculée aux critères de toxicité. Pour ce faire, le quotient de danger de la substance i (QD_i) est calculé comme suit :

$$QD_i = DJE_i \text{ (ou } CE_i) / RfD_i \text{ (ou } RfC_i)$$

Avec :

DJE : dose journalière d'exposition (ou CE concentration d'exposition)

RfD : dose de référence (en français il s'agit d'une dose journalière tolérable)

RfC : concentration de référence

A noter que le quotient de danger pour le scénario « enfant grandissant » correspond au quotient de danger maximal entre les phases d'exposition « enfant » et « adulte ».

Le Ministère en charge de l'Environnement recommande de considérer comme acceptable un indice de risque cumulé inférieur à 1. Un quotient de danger de 0,01 n'implique pas qu'il existe une chance sur cent de développer un effet néfaste, mais indique que la dose d'exposition estimée est cent fois plus faible que la dose de référence.

Calcul de risque pour les effets sans seuil

L'excès de risque individuel théorique de développer un cancer du fait d'une exposition à la substance i est estimé par le produit de l'excès de risque unitaire de la substance i et la dose journalière d'exposition estimée pour cette substance et cette voie d'exposition, soit :

$$ERI_i = DJE_i \text{ (ou } CE_i) \times ERU_i$$

Avec :

ERI_i = Excès de Risque Individuel de cancer (pour la substance i)

DJE_i = Dose journalière d'exposition moyennée sur une vie entière (pour la substance i)

ERU_i = Excès de Risque Unitaire de la substance i

A noter que l'excès de risque pour le scénario « enfant grandissant » correspond à l'excès de risque moyen (pondéré) calculé sur la durée totale d'exposition, incluant une phase « enfant » et une phase « adulte ».

Le Ministère en charge de l'Environnement recommande de considérer comme acceptable un excès de risque cumulé inférieur à 10^{-5} . Les sites pour lesquels le niveau de risque est supérieur à 10^{-5} devront faire l'objet de travaux de réhabilitation.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Règles de cumul des effets entre voies d'exposition et substances

Les risques sont d'abord calculés pour chaque substance. L'exposition à plusieurs substances peut induire l'additivité, la synergie (amplification des effets) ou l'antagonisme (annulation des effets). En l'absence de connaissances sur la synergie entre les substances, il a été considéré, en première approche, l'additivité des risques liés à l'exposition à plusieurs substances :

- pour les effets à seuil (effets non cancérogènes et cancérogènes non génotoxiques), l'additivité des indices de risque entre voies d'exposition et substances est retenue comme hypothèse de départ, quel que soit les effets sanitaires associés à chacune des substances considérées ;
- pour les effets sans seuil (cancérogènes génotoxiques), le cumul des ERI correspond à l'hypothèse d'une indépendance des effets cancérogènes des différentes substances.

En seconde approche, tout dépassement du seuil de référence de 1 par la somme des indices de risque, qui serait imputable à la sommation elle-même, peut conduire à un approfondissement de l'étape de quantification sur la base des règles de cumul énoncées ci-avant. La sommation est alors conditionnée par la présence, entre les différentes voies d'exposition et les différentes substances prises en compte, d'effets sanitaires communs (principaux et secondaires) parmi ceux établis dans la bibliographie spécialisée et à partir desquels les VTR ont été élaborées.

A noter que les niveaux de risque sont calculés par milieu source. Puis, les niveaux de risque associés aux substances présentes dans les sols et les eaux souterraines sont cumulés en vue d'établir un niveau de risque global. Néanmoins, pour une substance donnée, lorsque des mesures dans les gaz du sol ont été réalisées, ce milieu est privilégié si celui-ci est jugé représentatif des concentrations maximales observées dans les sols et/ou les eaux souterraines.

⑥ INTERPRETATION DES RESULTATS

Hiérarchisation des risques

Il s'agit d'établir le scénario d'exposition générant les risques sanitaires les plus élevés, en termes de milieu et de substances (source), de voie d'exposition (transfert), et de cible.

Evaluation des incertitudes

De nombreuses incertitudes sont inhérentes à une étude quantitative des risques. L'utilisation de données propres au site réduit mais n'élimine pas toutes ces incertitudes. Une analyse attentive des incertitudes constitue une phase essentielle de la démarche d'évaluation des risques. Elle doit être prise en compte dans l'évaluation des conclusions de l'étude car elle permet de donner les éléments pour valider les conclusions, en identifiant les incertitudes les plus significatives pouvant interférer dans les résultats de l'étude.

Ainsi, les incertitudes liées aux différentes étapes de la démarche, et qui auront été intégrées dans les mesures de gestion proposées, sont signalées. Les thématiques sur lesquelles portent ces incertitudes sont rappelées (toxicologie, paramètres d'exposition, transfert...).

Dans un second temps, une analyse des incertitudes est menée. Cette analyse des incertitudes consiste à faire varier la valeur initialement établie sur certains paramètres du modèle d'exposition, en vue d'évaluer le degré de sensibilité de ce paramètre dans le calcul de risque.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Détermination des mesures compensatoires

Si les niveaux de risques sanitaires modélisés sont supérieurs aux niveaux de référence établis, les mesures compensatoires envisageables seraient alors présentées, en tenant compte des différentes cibles et des différents scénarii étudiés. Le rapport d'étude fera alors clairement apparaître les éventuelles mesures constructives, servitudes, restrictions d'usage, voire mesures de surveillance qui en résultent.

⑦ CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Si l'étude met en évidence un risque sanitaire (détermination de niveaux de risque non acceptables), le ou les points à l'origine du risque seraient mentionnés. Selon la localisation des zones à risque, des recommandations pourraient alors être proposées au vu des différents projets d'aménagement.

Pour ce faire, la restitution des résultats doit comporter toutes les hypothèses qui conditionneraient l'acceptabilité du projet. Le rapport doit notamment identifier les éléments suivants :

- les concentrations des substances étudiées dans les milieux d'exposition résiduelle (ou les milieux sources résiduels en l'absence d'accès direct aux milieux d'exposition) ;
- les contraintes constructives passives ou actives comme le taux de ventilation, le type de fondation (radier, vide sanitaire,...) d'un bâtiment, le type d'aménagement (type de remblais en cas d'excavation, type de recouvrement des zones non bâties,...) ;
- les usages (présence/absence de puits privés,...).

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe B : Textes réglementaires et bibliographie

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

TEXTES REGLEMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les principaux textes réglementaires et bibliographiques qui fondent les évaluations de risques sanitaires sont les suivants :

- ADEME, IRSN, CIBLEX Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, Version 0, Juin 2003.
- ADEME, Contamination des sols - Transfert des sols vers les animaux, Décembre 2008.
- ADEME, Contamination des sols - Transfert des sols vers les plantes, Décembre 2008.
- ANSES, <https://www.anses.fr/>
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Etats-Unis), Minimal Risks Levels (MRLs) for Hazardous Substances : <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrlolist.asp>.
- BRGM, Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes ; Éditions BRGM - Réf. N°DOC 300 - 2008.
- BRGM, Fond géochimique naturel, Etat des connaissances à l'échelle nationale, BRGM/RP-50158-FR - Juin 2000.
- Circulaire du 08/02/2007 relative aux Installations Classées. Prévention de la pollution des sols. Gestion des sols pollués.
- Circulaire du 08/02/2007 relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles.
- Code de l'Environnement, notamment ses articles L. 511-1, L. 512-6-1 et L. 512-39-1 à L 512-39-4.
- Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène du 4 décembre 2011.
- Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public du 4 décembre 2011.
- Décret n°77-1133 du 21/09/1977 pour application de la loi du 19/07/1976 relative aux ICPE, modifié par le décret n°2005-1170 du 13/09/2005.
- Groundwater Services Inc., ASTM E2081-00 (reapproved in 2004)(American Society for Testing and Materials), RBCA 1.3a (Risk Based Corrective Action) Tool Kit for Chemical Releases, 2000.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le benzène, rapport du 16/06/2010.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le tétrachloroéthylène, rapport du 16/06/2010.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le naphthalène, rapport du 05/01/2012.
- HCSP : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos – Le trichloroéthylène, rapport du 06/07/2012.
- Health Canada, L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada, Partie II : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) de Santé Canada et paramètres de substances chimiques sélectionnées, version 2.0, Septembre 2010.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), Classification du CIRC/IARC. Disponible sur le site internet de l'IARC : <http://monographs.iarc.fr/htdig/search.html>.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- INERIS, Méthodologie d'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires relatifs aux substances chimiques, convention 03 75 C 0093 ADEME / SYPREA / SPDE / INERIS, version 0 du 4 novembre 2005, 40 pages.
- INERIS, Portail Substances Chimiques. Disponibles sur le site internet de l'INERIS : <http://www.ineris.fr/substances/fr/>.
- INERIS, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérogènes et non cancérogènes ; Rapport final, Décembre 2003.
- INERIS, Inventaire des données de bruit de fond dans l'air ambiant, l'air intérieur, les eaux de surface, et les produits destinés à l'alimentation humaine en France, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-15772A, 10 avril 2009.
- INERIS, Rapport d'étude n°DRC-08-94882-16675C, « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle », 1er août 2010.
- INERIS, Rapport d'étude n°DRC-14-1419688-00696A, Guide de l'utilisateur Modul'ERS, Mars 2014.
- INERIS, Synthèse des Valeurs Réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, l'air et les denrées alimentaires en France au 31 décembre 2015, Rapport d'étude n° INERIS-DRC-15-151883-12362B, Juillet 2016.
- INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) (2002), Produits chimiques cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction - classification réglementaire. Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail. N° ED 976, avril 2012.
- Loi n° 76-663 du 19/07/1976 relative aux ICPE.
- 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.
- Note du Ministère de l'Environnement N° DEVP1708766N du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués - Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007 et Méthodologie Nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 associée.
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part II, Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors, July 2009, updated 2011.
- OMS (Organisation Mondiale pour la Santé), WHO Air Quality Guidelines; 2nd Edition Regional Office for Europe, 2000.
- OMS (Organisation Mondiale pour la Santé), WHO Drinking Water Quality Guidelines; 4th Edition, 2011.
- OQAI, Campagne Nationale Logements, Etat de la Qualité de l'air dans les logements français, Rapport final, Mai 2007.
- RIVM (Institut National de Santé Publique et d'Environnement, Pays-Bas), Risc-Human 3.1, Van Hall Instituut, 2000.
- RIVM (Institut National de Santé Publique et d'Environnement, Pays-Bas), Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, March 2001, updated 2009.
- Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach, Volume 1 à 5, May 1998 - June 1999.
- US EPA, Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A, Baseline Risk Assessment), Interim Final, December, 1989.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- US EPA, User's guide for evaluating subsurface vapour intrusion into buildings, Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C., February 22, 2004.
- US EPA, Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. EPA/600/R-09/052F, September 2011.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe C : Présentation et paramétrage du logiciel Modul'ERS

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

PRESENTATION DES MODULES DE CALCUL MODUL'ERS DE L'INERIS
(Extrait guide de l'utilisateur)

Chaque module de calcul, à l'exception du module *Niveaux_Exposition_Risque*, correspond à un milieu et **permet de calculer la concentration de polluants dans ce milieu** (concentration attribuable à la source (ou aux) sources étudiée(s) et concentration totale, intégrant le bruit de fond) et **le niveau d'exposition correspondant pour les cibles humaines en fonction du temps. Les niveaux d'exposition sont calculés par classe d'âge en fonction du temps²³ et pour un profil d'individus dont l'utilisateur définit l'âge en début d'exposition et la date de début d'exposition²⁴.**

Les fonctions de chaque module sont décrites dans le logiciel. Pour savoir ce que chaque module permet de calculer, il est conseillé de lire sa description dans la fenêtre *Information*, en cliquant une fois sur sa représentation dans la matrice.

Comme indiqué précédemment toutes les équations sont accessibles et l'utilisateur peut également se reporter au document « Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle » (DRC-08—94882-16675C).

Les modalités de calcul des concentrations par chacun des modules sont résumées ci-dessous et les termes sources de pollution pouvant être utilisés sont listés.

- Le module **Sol** sert au calcul de la concentration dans une couche de sol en surface, en tenant compte ou non des apports atmosphériques, des apports par irrigation et des mécanismes de perte (dégradation, lixiviation, érosion, ruissellement).
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans l'eau.
- Le module **Nouveau_végétal** permet de calculer les concentrations dans les végétaux liées aux dépôts atmosphériques directs, à l'absorption gazeuse (polluants organiques), aux dépôts de particules du sol remises en suspension à partir du sol de surface, à l'irrigation par aspersion, au prélèvement direct à partir du sol racinaire. Les concentrations sont recalculées chaque année et données au moment de la récolte et de récolte en récolte.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans l'eau, concentration dans l'air, concentration dans le sol.
- Le module **Eaux_superficielles** donne les concentrations dans les eaux superficielles et les sédiments à l'état stationnaire. La concentration dans les eaux peut être calculée au point x en aval d'un rejet ponctuel (approche applicable à un cours d'eau) ou comme une concentration homogène dans un volume d'eau Vol_e_sup (approche applicable notamment à une étendue d'eau). Ce calcul peut être fait en tenant compte de rejets diffus (apports atmosphériques, par ruissellement sur les zones imperméables, par ruissellement sur les zones perméables, par érosion) et des pertes par dégradation, volatilisation et sédimentation.

²³ Pour une simulation sur 30 années, les niveaux d'exposition calculés par classe d'âge correspondent au cours du temps à des individus différents. Ainsi, la classe d'âge des enfants de 1 à 3 ans correspond à des individus différents à la date t=0 et à t=30.

²⁴ Les niveaux d'exposition calculés pour un profil d'individus durant une simulation sur 30 ans se rapportent aux mêmes individus durant toute la simulation. Les valeurs des paramètres d'exposition de ces individus évoluent en fonction de leur âge, qui lui-même dépend de l'âge défini par l'utilisateur en début d'exposition et du temps t.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- ➔ Expression possible du terme source de pollution : dépôts atmosphériques, concentration dans le sol, concentration dans le cours d'eau au point $x=0$.
- Le module **Eaux_souterraines** donne la concentration de polluants en phase dissoute aux points de coordonnées x, y, z à l'instant t , pour une source surfacique de polluants dans la zone saturée, perpendiculaire à l'écoulement et de concentration constante (à partir de la solution de Domenico). Le module permet également de calculer cette concentration à partir d'une concentration constante dans le sol au bas de la zone non saturée.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans le sol en bas de la zone insaturée, concentration dans la nappe au point $x=0$.
- Le module **Animaux_aquatiques** permet de calculer les concentrations dans l'animal selon une approche stationnaire ou dynamique à partir de la concentration dans le milieu d'exposition. Dans le dernier cas, la concentration dans le tissu animal est estimée pour un animal en fin de vie.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'eau, concentration dans les sédiments.
- Le module **Nouvel_animal** donne les concentrations dans l'animal (tissu 1 : viande, matières grasses) et dans les produits excrétés par l'animal (tissu 2 : oeufs, lait ou matières grasses de ces produits). Ces concentrations peuvent être calculées à l'état stationnaire ou avec une approche dynamique. Dans ce cas, les concentrations dans les tissus animaux sont estimées pour un animal en fin de vie. La dose d'exposition de l'animal est estimée à partir de son ingestion de sol, d'eau et/ou de végétaux contaminés. L'utilisateur peut tenir compte des concentrations de trois sols différents, de trois ressources en eau différentes et de cinq végétaux différents.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'eau, concentration dans le sol, concentration dans les végétaux.

Les cinq modules suivants permettent de calculer les concentrations dans l'air.

- Le module **Conc_gaz_air_exterieur** permet le calcul du flux d'émission à partir d'une source sol (source sol supposée infinie ou supposée finie à la surface du sol) ou d'une source nappe et l'estimation des concentrations dans l'air à hauteur de respiration des cibles et/ou à une hauteur H_b définie par l'utilisateur.
- Le module **Conc_gaz_air_interieur_Volasoil** donne le flux d'émission à partir d'une source sol ou d'une source nappe et l'estimation des concentrations dans un bâtiment (endroit où a lieu l'émission : vide sanitaire, sous-sol ou pièces à vivre selon les cas) et dans le lieu de vie, si le bâtiment comporte un vide-sanitaire ou un sous-sol. Les calculs sont réalisés selon une approche dérivée du modèle Volasoil du RIVM (institut néerlandais de santé publique et de l'environnement).
- Le module **Conc_gaz_air_interieur_JE**, basé sur les équations du modèle de Johnson et Ettinger (US EPA, 2004; Johnson et al., 1991), permet le calcul des concentrations gazeuses dans l'air d'un bâtiment à partir d'une source sol ou d'une source nappe. Ce module est conçu pour un bâtiment construit sur une dalle. Dans le cas d'une source sol, la concentration attendue dans le bâtiment peut être estimée en utilisant la solution pour une source infinie ou la solution pour une source finie, proposée par l'US EPA. La solution en source finie

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

implémentée suppose nécessairement que la dalle du bâtiment se situe au niveau du sol (pas de sous-sol enterré).

- ➔ Pour ces trois modules, l'utilisateur peut définir les caractéristiques de deux couches de sol différentes au-dessus de la source, tenir compte du mélange de substances présentes dans le sol en appliquant la loi de Raoult et de la diffusion dans la nappe dans le cas d'une source nappe.
 - ➔ Expression possible du terme source de pollution pour ces trois modules : concentration dans l'eau de la nappe, concentration dans l'air du sol, concentration dans le sol.
- Le module **Conc_part_air_extérieur** donne les concentrations inhalables de polluant sous forme particulaire dans l'air extérieur, à partir de la concentration dans le sol et de la fraction de particules issues du sol, ou du modèle de Cowherd calculant le flux moyen annuel de particules inférieures ou égales à 10 µm, dues à l'érosion éolienne.
- ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans le sol.
- Le module **Conc_part_air_intérieur** permet le calcul des concentrations inhalables à partir de la concentration particulaire inhalable dans l'air extérieur (*Cap_e_inh_attrib*).
- ➔ Expression possible du terme source de pollution : concentration dans l'air extérieur sous forme particulaire.

Les modules dédiés à l'air extérieur *Conc_gaz_air_extérieur* et *Conc_part_air_extérieur* permettent, en plus de la source sol ou de la source nappe du site, de tenir compte de la concentration dans l'air liée à d'autres sources de polluants issues du site.

A la différence des autres modules dédiés aux calculs des concentrations dans les milieux, les cinq modules pour la concentration dans l'air calculent les niveaux d'exposition en moyenne annuelle et le niveau d'exposition moyen sur la durée d'exposition. Ces grandeurs servent au calcul des risques chroniques.

- Enfin, le module **Niveaux_Exposition_Risque** est dédié au calcul des niveaux d'exposition chronique et au calcul des niveaux de risque chronique. Les doses d'exposition orales sont calculées en moyenne annuelle pour les différentes classes d'âge, afin d'estimer les risques à effet de seuil. Elles sont aussi calculées en moyenne sur toute la durée d'exposition pour un profil d'individus, dont l'utilisateur a défini l'âge en début d'exposition et la date de début d'exposition, afin d'estimer les risques sans effet de seuil. Pour les expositions par inhalation, le calcul des niveaux d'exposition moyens est fait directement dans les modules relatifs au milieu (cf. paragraphe précédent). Les niveaux de risque sont définis par substance individuelle et pour toutes les substances et peuvent aussi être définis par organe cible pour les effets à seuil.

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Paramètres d'entrée du Logiciel Modul'ERS

Modélisation vers l'air intérieur – Bâtiment (à usage d'habitation ou économique)

- Caractéristiques des sols :
 - Modélisation source gaz du sol et source sol

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Température du sol	K	298,15	Valeur par défaut 25°C
Volume de la source sol	m ³	0	Source considérée comme infinie (volume non connu)
Couche de sol 2 (située au contact du bâtiment)			
Epaisseur de la couche de sol entre le bâtiment et la source (couche 2)	m	0,1	Epaisseur minimale du modèle
Type de sol de la couche 2	-	Sable	Spécifique au site : basé sur observations de terrain
Densité du sol	g/cm ³	1,66	Valeur standard pour ce type de sol (US-EPA)
Porosité du sol	-	0,375	Porosité totale θ_s pour ce type de sol (US-EPA)
Perméabilité intrinsèque du sol	m ²	7,38E-13	Valeur calculée pour le site à partir de la teneur en eau du sol (calculé ci-après)
Teneur en eau du sol	cm ³ /cm ³	0,312	Teneur mesurée pour le site à partir du 90 ^{ème} percentile des pourcentages de matière sèche mesurés sur les échantillons prélevés sur site
Teneur en carbone organique du sol (COT)	-	0,002	Valeur par défaut (US EPA)

- Caractéristiques des bâtiments :
 - Dimensions (valeurs par défaut en l'absence de plan d'aménagement) :

PARAMETRES	Unité	Valeurs	Commentaires
Surface	m ²	50	Valeur par défaut en l'absence de plan d'aménagement
Hauteur	m	2,50	Hauteur sous plafond standard
Taux de transfert entre les étages	cm	100%	Hypothèse sécuritaire

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- Paramètres de modélisation :

PARAMETRES	Unité	Valeurs	Commentaires
Fraction surfacique occupée par les ouvertures de la dalle	-	1,0E-05	Valeur par défaut (dalle normale)
Nombre d'ouverture dans la dalle par unité de surface	m ⁻²	0,2	Valeur Modul'ERS
Epaisseur de la dalle du bâtiment	m	0,15	Valeur standard
Porosité de la dalle	-	0,02	Valeur par défaut de Modul'ERS (Hazebrouck 2005)
Teneur en eau de la dalle	-	0	Valeur par défaut de Modul'ERS (Hazebrouck 2005)
Différence de pression entre le sol et l'espace clos (DeltaP)	Pa (ou kg.m ⁻¹ .s ⁻²)	2	Valeur par défaut pour une configuration de plain-pied (USEPA, 2004 + RIVM, 2008)
Taux de renouvellement d'air (ER)	vol/s	1,39E-4 (=0,5 vol/h)	Valeur standard pour un usage résidentiel – sécuritaire pour les bâtiments à usage économique

Modélisation vers l'air extérieur

- Caractéristiques des sols :
 - Modélisation source gaz du sol

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Température du sol	K	298,15	Valeur par défaut 25°C)
Volume de la source sol	m ³	0	Source considérée comme infinie (volume non connu)
Couche de sol 2 (située au contact du bâtiment)			
Epaisseur de la couche de sol entre le bâtiment et la source (couche 2)	m	0,1	Epaisseur sécuritaire prenant en compte les voiries et parkings recouverts d'un revêtement de type enrobé. Sécuritaire au droit des espaces verts où les mesures de gestion préconisent minimum 30 cm de recouvrement par des terres saines.
Type de sol de la couche 2	-	Sable	Spécifique au site : basé sur observations de terrain
Densité du sol	g/cm ³	1,66	Valeur standard pour ce type de sol (US-EPA)
Porosité du sol	-	0,375	Porosité totale θ_s pour ce type de sol (US-EPA)
Perméabilité intrinsèque du sol	m ²	7,38E-13	Valeur calculée pour le site à partir de la teneur en eau du sol (calculé ci-après)
Teneur en eau du sol	cm ³ /cm ³	0,312	Teneur mesurée pour le site à partir du 90 ^{ème} percentile des pourcentages de matière sèche mesurés sur les échantillons prélevés sur site
Teneur en carbone organique du sol (COT)	-	0,002	Valeur par défaut (US EPA)

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

- Caractéristiques des espaces extérieurs :

Paramètres	Unité	Valeurs	Commentaires
Vitesse de vent	m/s	3	Hypothèse majorante. Correspond à 10 km/h.
Hauteur de mélange	m	cf. paramètres d'exposition	Hauteur de respiration des cibles
Longueur de la source parallèle au vent W	m	230	Plus grande diagonale du site (hypothèse majorante)

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe D : Synthèse des données toxicologiques

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Plan de gestion

Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances		Effets non cancérogènes et organes cibles	Effets cancérogènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
CAV						
Benzène	71-43-2	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système hématopoïétique/sang, foie, tractus gastro-intestinal, système nerveux central, système immunitaire, effets foetotoxiques,	CH	1	C1AM1B	Leucémies (myélocytiques, lymphoïdes, myéloïdes)
Toluène	108-88-3	Appareil respiratoire, système cardiovasculaire, système hématopoïétique/sang, système nerveux central, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques, foie	InI	3	R2	-
Ethylbenzène	100-41-4	Système hématopoïétique/sang, reins, foie, effets foetotoxiques /développement, système endocrinien	D	2B	-	-
Xylènes	1330-20-7	Système nerveux central, sang, appareil respiratoire, peau, foie, reins, rate, effets foetotoxiques / développement	InI	3	-	-
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)						
Naphtalène	91-20-3	Sang/système hématopoïétique, appareil cardiovasculaire, système nerveux central, yeux, foie, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, rate, effets foetotoxiques /développement, système endocrinien, appareil respiratoire	C	2B	C2	Tumeurs bénignes pulmonaires (études chez l’animal)
Acénaphène	83-32-9	Foie, sang/système hématopoïétique, appareil cardiovasculaire, appareil respiratoire, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, appareil reproducteur, système endocrinien	D	3	-	-
Acénaphthylène	206-96-8	Appareil cardiovasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien, appareil respiratoire	D	-	-	

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Plan de gestion

Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances		Effets non cancérogènes et organes cibles	Effets cancérogènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
Phénanthrène	85-01-8	Appareil respiratoire, appareil cardiovasculaire, foie, sang/système hématopoïétique, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
Fluoranthène	206-44-0	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien, reins	D	3	-	-
Fluorène	86-73-7	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
Anthracène	120-12-7	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	C2	-
Pyrène	129-00-0	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-
Benzo(a)anthracène	56-55-3	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, appareil reproducteur, effets foetotoxiques, système lymphatique, système endocrinien	B2	2B	C1B	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	B2	2B	C1B	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	D	3	-	-

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Plan de gestion

Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances		Effets non cancérogènes et organes cibles	Effets cancérogènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	B2	2B	C1B	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
Chrysène	218-01-9	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système nerveux central, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien, tissu mammaire, tissu adipeux	B2	2B	C1BM2	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, peau, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	B2	2A	C1B	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
Benzo(a)pyrène	50-32-8	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, appareil reproducteur, effets foetotoxiques/développement, système endocrinien	B2	1	C1BM1B R1B	Estomac, foie, poumons et peau (études chez l'animal)
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, sang/système hématopoïétique, foie, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, système endocrinien	B2	2B	-	Peau, système urinaire, poumons, tractus gastro-intestinal (études chez l'animal)
COMPOSES ORGANOCHLORES VOLATILS						
Trichloréthylène	79-01-6	Système cardiovasculaire, système nerveux central, peau, foie, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques, sang	CH	1	C1BM2	Carcinomes hépatocellulaires chez l'animal
Tétrachloroéthylène	127-18-4	Système nerveux central, foie, reins, effets foetotoxiques	LH	2A	C2	chez l'homme : leucémies lymphoïdes. chez l'animal : carcinomes hépato-cellulaire
Cis-1,2-dichloroéthylène	156-59-2	Appareil respiratoire, système nerveux central, foie, sang	-	-	-	-
Trans-1,2-dichloroéthylène	156-60-5	Appareil respiratoire, système cardiovasculaire, système nerveux, foie	-	-	-	-

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Plan de gestion

Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances		Effets non cancérogènes et organes cibles	Effets cancérogènes			
Dénomination	N°CAS		Classification USEPA CIRC UE			Types de cancer
Chlorure de vinyle	75-01-4	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système nerveux central, peau, os, foie, reins, système immunitaire, appareil reproducteur, effets foetotoxiques, rate, effets hématopoïétiques	CH	1	C1A	Angiosarcomes osseux, tumeurs cérébrales, cancers du poumon, hépatomes, mélanomes
Chloroforme	67-66-3	Foie, reins, système nerveux central, tractus gastro-intestinal, effets foetotoxiques	LH	2B	C2R2	Cancers du tube digestif, de la vessie, du foie et du rein
1,1,1 trichloroéthane	71-55-6	Système nerveux central, foie	InI	3	C2	-
HYDROCARBURES TPH						
TPH C6-C8 aliphatiques	-	Foie, reins	-	-	-	-
TPH C8-C10 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-
TPH C10-C12 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-
TPH C12-C16 aliphatiques	-	Foie, sang	-	-	-	-
TPH C8-C10 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
TPH C10-C12 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
TPH C12-C16 aromatiques	-	Perte de poids	-	-	-	-
METAUX						
Mercure	7439-97-6	Appareil respiratoire, système cardio-vasculaire, système nerveux central, peau, reins, tractus gastro-intestinal, système immunitaire, effets foetotoxiques/développement	D	3	R1B	-
AUTRES SUBSTANCES						
PCB	1336-36-3	Peau, épithélium nasale et olfactif, Foie, SNC, Système immunologique	B2	2A	-	Tumeurs hépatiques

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)

Plan de gestion

Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe E : Synthèse des données physico-chimiques

Synthèse des données physico chimiques		Coefficient de partition de carbone	Diffusion dans l'air	Diffusion dans l'air	Solubilité	Constante de Henry
		K _{oc}	D _a	D _w	S	H'
		(cm ³ /g)	(cm ² /s)	(cm ² /s)	(mg/L)	(unitless)
N° de CAS	Dénomination					
11097681	PCB	4,48E+04	1,75E-02	8,00E-06	2,77E-01	1,40E-02
50328	Benzo(a)pyrène	1,02E+06	4,50E-02	6,90E-06	3,00E-03	1,62E-05
53703	Dibenzo(a,h)anthracène	1,40E+06	3,10E-02	4,80E-06	5,00E-04	1,94E-06
56553	Benzo(a)anthracène	3,98E+05	5,10E-02	9,00E-06	9,40E-03	1,37E-04
83329	Acénaphène	4,58E+03	4,21E-02	7,69E-06	3,70E+00	5,94E-03
85018	Phénanthrène	2,08E+04	5,40E-02	5,70E-06	1,20E+00	1,61E-03
86737	Fluorène	7,71E+03	4,56E-02	6,79E-06	1,98E+00	3,72E-03
91203	Naphtalène	1,25E+03	5,40E-02	7,20E-06	3,18E+01	1,97E-02
120127	Anthracène	2,57E+04	4,28E-02	6,72E-06	1,29E+00	2,04E-03
129000	Pyrène	6,80E+04	2,72E-02	7,24E-06	1,30E-01	4,44E-07
191242	benzo(g,h,i)pérylène	2,68E+06	4,90E-02	5,56E-06	2,60E-04	5,65E-06
193395	Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	6,30E+06	3,10E-02	5,10E-06	6,20E-02	1,17E-05
205992	Benzo(b)fluoranthène	1,23E+06	3,33E-02	5,13E-06	1,50E-03	4,55E-03
206440	Fluoranthène	7,20E+04	3,90E-02	5,80E-06	2,60E-01	6,06E-04
207089	Benzo(k)fluoranthène	7,90E+05	3,33E-02	5,13E-06	7,60E-04	2,79E-05
208968	Acénaphthylène	6,12E+03	4,38E-02	7,53E-06	3,93E+00	5,11E-03
218019	Chrysène	3,98E+05	2,48E-02	6,21E-06	2,00E-03	3,84E-03
71432	Benzène	6,00E+01	8,80E-02	9,80E-06	1,83E+03	2,25E-01
108883	Toluène	1,00E+02	8,70E-02	8,60E-06	5,15E+02	2,72E-01
100414	éthylbenzène	2,42E+02	7,50E-02	7,80E-06	1,75E+02	3,31E-01
95476	o-Xylène	2,34E+02	8,40E-02	1,00E-05	1,78E+02	2,11E-01
106423	p-Xylène	3,17E+02	7,20E-02	8,44E-06	1,77E+02	3,06E-01
108383	m-Xylène	1,57E+02	6,95E-02	7,80E-06	1,51E+02	3,06E-01
HCTa11	Hydrocarbures aliphatiques 5-6	7,94E+02	1,00E-01	1,00E-05	3,60E+01	3,30E+01
HCTa12	Hydrocarbures aliphatiques 6-8	3,98E+03	1,00E-01	1,00E-05	5,40E+00	5,00E+01
HCTa13	Hydrocarbures aliphatiques 8-10	3,16E+04	1,00E-01	1,00E-05	4,30E-01	8,00E+01
HCTa14	Hydrocarbures aliphatiques 10-12	2,51E+05	1,00E-01	1,00E-05	3,40E-02	1,20E+02
HCTa15	Hydrocarbures aliphatiques 12-16	5,01E+06	1,00E-01	1,00E-05	7,60E-04	5,20E+02
HCTar3	Hydrocarbures aromatiques 8-10	1,58E+03	1,00E-01	1,00E-05	6,50E+01	4,80E-01
HCTar4	Hydrocarbures aromatiques 10-12	2,51E+03	1,00E-01	1,00E-05	2,50E+01	1,40E-01
HCTar5	Hydrocarbures aromatiques 12-16	5,01E+03	1,00E-01	1,00E-05	5,80E+00	5,30E-02
7439976	mercure Hg0	1,00E+03	3,07E-02	6,30E-06	5,67E-02	2,99E-01
127184	Tétrachloroéthylène	2,47E+02	7,20E-02	8,20E-06	1,50E+02	7,45E-01
71556	1,1,1-Trichloroéthane	1,35E+02	7,80E-02	8,80E-06	1,33E+03	7,05E-01
79016	Trichloroéthylène	1,11E+02	7,90E-02	9,10E-06	1,07E+03	4,22E-01
67663	trichlorométhane ou chloroforme	6,00E+01	1,04E-01	1,00E-05	8,20E+03	1,55E-01
75014	chlorure de vinyle	1,86E+01	1,06E-01	1,20E-06	1,60E+03	1,10E+00
156592	cis-1,2-Dichloroéthylène	3,55E+01	7,36E-02	1,13E-05	3,50E+03	1,64E-01
156605	trans-1,2-Dichloroéthylène	3,80E+01	7,07E-02	1,19E-05	6,30E+03	3,84E-01

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Annexe F : Calculs de Risque Sanitaire

AIR INTERIEUR			
Substances	Concentration modélisée dans l'air intérieur du rez-de-chaussée (mg/m3)	ERI	QD (classe 1 et 2 - classe d'âge la plus pénalisante)
Aliphatique C>05 C06	6,19E-04	-	2,44E-05
Aliphatique C>06 C08	1,44E-03	-	5,68E-05
Aliphatique C>08 C10	7,38E-03	-	5,36E-03
Aliphatique C>10 C12	4,67E-04	-	3,39E-04
Aliphatique C>12 C16	4,67E-04	-	3,39E-04
Aromatique C>08 C10	4,67E-04	-	1,69E-03
Aromatique C>10 C12	9,32E-04	-	3,38E-03
Aromatique C>12 C16	9,32E-04	-	3,38E-03
Benzène	6,89E-05	5,08E-07	5,13E-03
Chloroforme (Trichlorométhane)	5,79E-05	-	6,67E-04
Chlorure de vinyle (Chloroéthène)	9,32E-06	1,00E-08	1,21E-04
Dichloroéthène. cis-1.2-	9,25E-06	-	1,12E-04
Dichloroéthène.1.2-trans-	5,02E-05	-	6,08E-04
Ethylbenzène	3,11E-05	2,20E-08	1,50E-05
Mercure	9,32E-06	-	2,25E-01
Naphtalène	2,33E-05	3,71E-08	4,58E-04
Toluène	1,10E-04	-	4,19E-06
Trichloroéthane. 1.1.1-	2,51E-05	-	1,82E-05
Trichloroéthylène	4,47E-04	1,27E-07	1,01E-04
Tétrachloroéthylène	3,99E-05	2,94E-09	7,23E-05
Xylène (mixture d'isomères)	2,29E-04	-	7,52E-04
Acénaphtylène	1,56E-03	2,66E-07	-
Acénaphène	1,51E-03	2,57E-07	-
Anthracène	1,48E-04	2,52E-07	-
Aroclor 1254	7,57E-06	1,07E-06	5,50E-03
Benzo (a) Anthracène	2,98E-06	5,07E-08	-
Benzo (b) Fluoranthène	2,61E-04	4,44E-06	-
Benzo (g h i) pérylène	2,52E-07	7,85E-10	-
Benzo (k) Fluoranthène	2,42E-07	4,12E-09	-
Benzo(a)pyrène	1,54E-08	2,62E-09	5,60E-03
Chrysène	1,00E-06	3,12E-09	-
Dibenzo (a.h) Anthracène	4,77E-10	8,11E-11	-
Fluoranthène	6,48E-05	1,10E-08	-
Fluorène	6,76E-04	1,15E-07	-
Indeno(1.2.3.c.d)Pyrène	5,42E-09	1,69E-10	-
Phénanthrène	4,67E-03	7,95E-07	-
Pyrène	4,36E-05	7,41E-09	-
Total		7,98E-06	2,59E-01

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

AIR EXTERIEUR - espace extérieur privé et collectif		
Substances	ERI	QD (classe 3 - classe d'âge la plus pénalisante)
Aliphatique C>05 C06	-	9,20E-09
Aliphatique C>06 C08	-	2,14E-08
Aliphatique C>08 C10	-	2,02E-06
Aliphatique C>10 C12	-	1,27E-07
Aliphatique C>12 C16	-	1,27E-07
Aromatique C>08 C10	-	6,66E-07
Aromatique C>10 C12	-	1,46E-06
Aromatique C>12 C16	-	1,77E-06
Benzène	8,51E-11	1,91E-06
Chloroforme (Trichlorométhane)	-	3,33E-07
Chlorure de vinyle (Chloroéthène)	1,86E-12	4,97E-08
Dichloroéthène. cis-1.2-	-	3,98E-08
Dichloroéthène. 1.2-trans-	-	1,84E-07
Ethylbenzène	2,97E-12	4,51E-09
Mercure	-	4,15E-05
Naphtalène	9,83E-12	2,70E-07
Toluène	-	1,54E-09
Trichloroéthane. 1.1.1-	-	5,71E-09
Trichloroéthylène	1,99E-11	3,55E-08
Tétrachloroéthylène	3,70E-13	2,03E-08
Xylene (mixture d'isomères)	-	2,22E-07
Acénaphtylène	1,90E-10	-
Acénaphtène	1,25E-10	-
Anthracène	2,91E-10	-
Aroclor 1254	2,69E-10	3,07E-06
Benzo (a) Anthracène	6,70E-10	-
Benzo (b) Fluoranthène	1,50E-09	-
Benzo (g h i) pérylène	4,82E-11	-
Benzo (k) Fluoranthène	4,35E-10	-
Benzo(a)pyrène	3,31E-10	1,57E-03
Chrysène	1,61E-10	-
Dibenzo (a.h) Anthracène	4,41E-11	-
Fluoranthène	7,20E-11	-
Fluorène	7,71E-11	-
Indeno(1.2.3.c.d)Pyrène	2,22E-11	-
Phénanthrène	1,28E-09	-
Pyrène	5,03E-11	-
Total	5,69E-09	1,62E-03

Site Boulevard de Montesquieu à Roubaix (59)
Plan de gestion
Analyse des Risques Résiduels

97169/A

Substances	Concentration modélisée en air extérieur						
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7
Aliphatique C>05 C06	1,59E-07	6,81E-08	1,69E-07	1,38E-07	4,07E-08	3,66E-08	2,74E-08
Aliphatique C>06 C08	3,70E-07	1,59E-07	3,94E-07	3,22E-07	9,48E-08	8,54E-08	6,38E-08
Aliphatique C>08 C10	1,90E-06	8,13E-07	2,02E-06	1,65E-06	4,86E-07	4,37E-07	3,27E-07
Aliphatique C>10 C12	1,20E-07	5,13E-08	1,27E-07	1,04E-07	3,07E-08	2,76E-08	2,07E-08
Aliphatique C>12 C16	1,20E-07	5,13E-08	1,27E-07	1,04E-07	3,07E-08	2,76E-08	2,07E-08
Aromatique C>08 C10	1,25E-07	5,36E-08	1,33E-07	1,09E-07	3,21E-08	2,89E-08	2,16E-08
Aromatique C>10 C12	2,75E-07	1,18E-07	2,93E-07	2,39E-07	7,04E-08	6,34E-08	4,74E-08
Aromatique C>12 C16	3,33E-07	1,43E-07	3,55E-07	2,90E-07	8,53E-08	7,68E-08	5,74E-08
Benzène	1,75E-08	7,51E-09	1,87E-08	1,53E-08	4,49E-09	4,04E-09	3,02E-09
Chloroforme (Trichlorométhane)	1,97E-08	8,43E-09	2,09E-08	1,71E-08	5,04E-09	4,54E-09	3,39E-09
Chlorure de vinyle (Chloroéthène)	2,61E-09	1,12E-09	2,78E-09	2,28E-09	6,70E-10	6,03E-10	4,51E-10
Dichloroéthène. cis-1.2-	2,24E-09	9,62E-10	2,39E-09	1,96E-09	5,75E-10	5,18E-10	3,87E-10
Dichloroéthène. 1.2-trans-	1,04E-08	4,45E-09	1,10E-08	9,04E-09	2,66E-09	2,39E-09	1,79E-09
Ethylbenzène	6,36E-09	2,72E-09	6,77E-09	5,54E-09	1,63E-09	1,47E-09	1,10E-09
Mercure	1,17E-09	5,00E-10	1,24E-09	1,02E-09	2,99E-10	2,69E-10	2,01E-10
Naphtalène	9,40E-09	4,03E-09	1,00E-08	8,19E-09	2,41E-09	2,17E-09	1,62E-09
Toluène	2,76E-08	1,18E-08	2,93E-08	2,40E-08	7,06E-09	6,36E-09	4,75E-09
Trichloroéthane. 1.1.1-	5,36E-09	2,30E-09	5,71E-09	4,67E-09	1,37E-09	1,24E-09	9,25E-10
Trichloroéthylène	1,07E-07	4,57E-08	1,14E-07	9,29E-08	2,73E-08	2,46E-08	1,84E-08
Tétrachloroéthylène	7,61E-09	3,26E-09	8,10E-09	6,63E-09	1,95E-09	1,76E-09	1,31E-09
Xylene (mixture d'isomères)	4,61E-08	1,97E-08	4,91E-08	4,01E-08	1,18E-08	1,06E-08	7,95E-09
Acénaphthylène	5,42E-05	2,32E-05	1,81E-05	1,48E-05	1,21E-05	1,08E-05	1,05E-05
Acénaphène	3,57E-05	1,53E-05	1,19E-05	9,75E-06	7,94E-06	7,15E-06	6,92E-06
Anthracène	8,30E-06	3,56E-06	2,77E-06	2,26E-06	1,85E-06	1,66E-06	1,61E-06
Aroclor 1254	9,20E-08	3,94E-08	3,07E-08	2,51E-08	2,05E-08	1,84E-08	1,78E-08
Benzo (a) Anthracène	1,91E-06	8,18E-07	6,37E-07	5,21E-07	4,24E-07	3,82E-07	3,70E-07
Benzo (b) Fluoranthène	4,29E-06	1,84E-06	1,43E-06	1,17E-06	9,53E-07	8,58E-07	8,30E-07
Benzo (g h i) pérylène	7,50E-07	3,21E-07	2,50E-07	2,04E-07	1,67E-07	1,50E-07	1,45E-07
Benzo (k) Fluoranthène	1,24E-06	5,31E-07	4,13E-07	3,38E-07	2,76E-07	2,48E-07	2,40E-07
Benzo(a)pyrène	9,42E-08	4,04E-08	3,14E-08	2,57E-08	2,09E-08	1,88E-08	1,82E-08
Chrysène	2,51E-06	1,07E-06	8,36E-07	6,84E-07	5,57E-07	5,01E-07	4,85E-07
Dibenzo (a,h) Anthracène	1,26E-08	5,38E-09	4,18E-09	3,42E-09	2,79E-09	2,51E-09	2,43E-09
Fluoranthène	2,05E-05	8,79E-06	6,84E-06	5,59E-06	4,56E-06	4,10E-06	3,97E-06
Fluorène	2,20E-05	9,42E-06	7,32E-06	5,99E-06	4,88E-06	4,39E-06	4,25E-06
Indeno(1.2.3.c.d)Pyrène	3,45E-08	1,48E-08	1,15E-08	9,41E-09	7,67E-09	6,90E-09	6,68E-09
Phénanthrène	3,65E-04	1,57E-04	1,22E-04	9,96E-05	8,12E-05	7,31E-05	7,07E-05
Pyrène	1,43E-05	6,15E-06	4,78E-06	3,91E-06	3,19E-06	2,87E-06	2,78E-06



Antea Group est certifié :



www.lne.fr