



ENGIE ENERGIE SERVICES

1, rue du Professeur Vézès – BORDEAUX (33)

Mise à jour du plan de Gestion et Analyse des Risques Résiduels

Rapport

Réf : SO3700123-1015058

FRP / LOD / VBE

17/03/2025



GINGER BURGEAP Agence Sud-Ouest • 4, boulevard Jean-Jacques Bosc - 05 56 49 38 22 •
burgeap.bordeaux@groupeginger.com



SIGNALETIQUE

CLIENT

RAISON SOCIALE	ENGIE ENERGIE SERVICES
COORDONNÉES	1 PL SAMUEL DE CHAMPLAIN 92400 COURBEVOIE
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Dominique LANNE Tel : 05 56 05 62 60 Dominique.lanne@suez.com



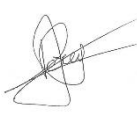


GINGER BURGEAP

ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER	GINGER BURGEAP Agence Sud-Ouest • 4, boulevard Jean-Jacques Bosc - 05 56 49 38 22 • burgeap.bordeaux@groupeginger.com
CHEF DU PROJET	Frédéric PERUS Tél. 06 78 12 42 21 f.perus@groupeginger.com
COORDONNÉES Siège Social <i>SAS au capital de 1 200 000 euros dirigée par Claude MICHELOT</i> <i>SIRET 682 008 222 003 79 / RCS Nanterre B 682 008 222/ Code APE 7112B / CB BNP Neuilly – S/S 30004 01925 00010066129 29</i>	Siège Social 143, avenue de Verdun 92442 ISSY LES MOULINEAUX Tél : 01.46.10.25.70 E-mail : burgeap@groupeginger.com

RAPPORT

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : SO3700123-1015058
Numéro d'affaire :	A54731
Domaine technique :	SP03

SIGNATAIRES

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Validation Nom / signature
Rapport	17/03/2023	01	L. DRIDI 	M. BOUVET 	N. SONALLY
Mise à jour du plan de gestion	17/03/2023	02	F. PERUS 	L. DRIDI 	V. BERNARDINI 

SOMMAIRE

Synthèse technique	6
1. Codification des prestations	8
2. Introduction	9
2.1 Objet de l'étude	9
2.2 Documents de référence et ressources documentaires	10
3. Synthèse des études antérieures	11
3.1 Synthèse de l'étude historique et documentaire	11
3.2 Contexte environnemental	11
3.3 Synthèse de l'état environnemental des différents milieux	11
4. Présentation du projet d'aménagement	16
5. Schéma conceptuel	16
6. Détermination des zones de pollution concentrée	18
6.1 Méthodologie nationale	18
6.1.1 Principes	18
6.1.2 Notion de sources - transfert - cibles	18
6.1.3 Zone de pollution concentrée	19
6.2 Détermination des seuils de coupure en HAP	20
6.2.1 Interprétation des constats de terrain (méthode 1) et approche cartographique (méthode 2)	20
6.2.2 Etude de la distribution des polluants au droit du site (Méthode 3)	22
6.2.3 Bilan des approches étudiées pour la détermination des seuils de coupure	23
6.3 Détermination des anomalies en hydrocarbures	24
6.4 Détermination des anomalies en métaux	25
7. Plan de gestion du site	28
7.1 Méthodologie	28
7.2 Contraintes liées au projet et aux impacts identifiés	28
7.3 Sélection des techniques de traitement applicables au site	29
7.3.1 Présélection des techniques de traitement (hors coût)	29
7.3.2 Description des techniques retenues	31
7.4 Mesures constructives en lien avec la validation sanitaire des seuils de coupure	33
7.4.1 Enjeux à prendre en compte	33
7.4.2 Protection des usagers en extérieur	33
7.4.3 Protection des réseaux AEP	33
7.5 Mesures de gestion générales considérées	33
7.6 Elaboration des scénarios de gestion envisageables pour le site	34
7.7 Chiffrage des scénarios de gestion	34
7.7.1 Scénario 1	35
7.7.2 Scénario 2	36
7.7.3 Scénario 3	37
7.8 Sélection des critères et sous-critères pour la cotation des scénarios de gestion	38
7.9 Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion	38
7.10 Plan d'actions proposé	40
7.10.1 Description des travaux prévus	40
7.10.2 Préconisations spécifiques aux travaux de traitement	41
8. Schéma conceptuel d'usage futur après travaux	42
9. Analyse des Risques Résiduels (ARR)	47
9.1 Contexte et méthodologie	47
9.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux	47

9.3	Identification des dangers	49
9.4	Caractérisation des Relation dose-réponse	49
9.5	Estimation des expositions	51
9.5.1	Concentrations dans les milieux d'exposition	51
9.5.2	Estimation des expositions.....	54
9.6	Quantification des risques sanitaires	55
9.6.1	Méthodologie.....	55
9.6.2	Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site	56
9.7	Analyse des incertitudes	56
10.	Conservation de la mémoire	60
10.1	Plan de surveillance	60
10.2	Servitudes et information des tiers	60
10.3	Restriction des usages	60
11.	Conclusion et synthèse non technique	62
11.1	Recommandations	63
12.	Limites d'utilisation d'une étude de pollution	64

FIGURES

Figure 1 : Localisation du site d'étude	9
Figure 2 : Localisation des différentes investigations au droit du site d'étude (emprise de la centrale biomasse mise à jour 2023)	12
Figure 3 : Localisation des points de prélèvements air sous-dalle et air ambiant des campagnes de juillet et novembre 2018 (Source Plan de gestion APAVE réf. A532271978, avril 2018 – amendé par GINGER BURGEAP).....	13
Figure 4 : Cartographie de distribution des courbes d'isoconcentration en HAP dans les sols entre 0 et 1 m de profondeur	21
Figure 5 : Cartographie de distribution des courbes d'isoconcentration en HAP dans les sols entre 1 et 2 m de profondeur	21
Figure 6 : Répartition des concentrations en HAP	23
Figure 7 : Répartition des concentrations en HCT	24
Figure 8 : Répartition des concentrations en métaux dans les sols superficiels.....	26
Figure 9 : Graphique de synthèse du bilan cout/avantage.....	39
Figure 10 : Schéma conceptuel d'usage futur (à l'issue des mesures de gestion).....	46
Figure 11 : Représentation schématique des différents modèles de calcul des transferts des sols vers l'air intérieur	51

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des résultats d'investigations d'APAVE.....	14
Tableau 2 : Synthèse des principaux impacts mis en évidence.....	17
Tableau 3 : Critères statistiques des données pour les HAP.....	22
Tableau 4 : Synthèse des sources sols concentrées en HAP.....	24
Tableau 5 : Synthèse des anomalies en HCT.....	25
Tableau 6 : Données statistiques des résultats en métaux dans les sols.....	25
Tableau 7 : Synthèse de l'impact en métaux en F9.....	27
Tableau 8 : Synthèse des techniques de traitement envisageables.....	30
Tableau 9 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°1.....	35
Tableau 10 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°2.....	36
Tableau 11 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°3.....	37
Tableau 12 : Critères et pondération retenus pour le bilan coûts / avantages des scénarios de gestion.....	38
Tableau 13 : Bilan coût/avantage.....	39
Tableau 14 : Voies d'exposition retenues.....	44
Tableau 15 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR.....	48
Tableau 16 : Valeurs toxicologiques de référence retenues.....	50
Tableau 17 : Paramètres retenus liés au sol.....	52
Tableau 18 : Paramètres retenus liés aux scénarii d'aménagements.....	52
Tableau 19 : Concentrations en air intérieur et extérieur.....	53
Tableau 20 : Budgets espace/temps retenus.....	54
Tableau 21 : Synthèse des QD et ERI.....	56
Tableau 22 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation.....	57
Tableau 23 : Les restrictions d'usage à mettre en œuvre.....	61

ANNEXES

Annexe 1. Plans emprise terrain pour chaufferie – Cartes des arbres identifiés – Esquisse d'implantation
Annexe 2. Evaluation multicritères du bilan/cout avantage
Annexe 3. Données toxicologiques
Annexe 4. Relations dose-réponse
Annexe 5. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition
Annexe 6. Détails des calculs de dose et de risque
Annexe 7. Propriétés physico-chimiques
Annexe 8. Glossaire

Synthèse technique

Client	ENGIE ENERGIE SERVICES ENGIE ENERGIE SERVICES
Informations sur la zone étudiée	<ul style="list-style-type: none"> • Intitulé/adresse du site : 1, rue du Professeur Vézès – BORDEAUX (33) ; • Parcelles cadastrales : n°02 de la section PS ; • Superficie totale : 4 004 m² ; • Propriétaire actuel : Mairie de Bordeaux ; • Usage et exploitant actuel : site en friche, en partie occupé par un ancien bâtiment de l'Institut Municipal.
Cadre de l'étude	Projet de construction d'une chaufferie biomasse
Contexte historique et environnemental	<p><u>Historique</u> :</p> <p>L'emprise du terrain alloué à la future chaufferie représente moins de la moitié de la parcelle totale, propriété de la Mairie de BORDEAUX. Le site au global a été occupé par les bâtiments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • En 1931, un premier bâtiment de l'institut municipal de recherches sur l'alimentation humaine et animale a été construit. Le sous-sol du bâtiment correspondait à une laiterie. • Un agrandissement avec la réalisation d'un bâtiment administratif et un laboratoire de chimie au nord de la parcelle et d'une maison de gardien à l'ouest est réalisé en 1961. • Le laboratoire a fermé en 2016 et a été démoli ainsi que le logement de gardien en 2018. Aujourd'hui, seul le bâtiment abandonné de l'Institut municipal est encore présent sur la parcelle d'étude. <p><u>Géologie / hydrogéologie</u> :</p> <p>Les investigations réalisées ont mis en évidence la succession de formations géologiques suivante de haut en bas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remblais graveleux sableux et argileux avec parfois des morceaux de tuiles entre 0 et 1,9 m de profondeur ; • Argiles grises entre 1,9 et 2,7 m de profondeur ; • Argiles tourbeuses entre 2,7 et 3 m de profondeur. <p>Une nappe a été rencontrée dans les remblais superficiels à 0,63 m (mars 2018) de profondeur par rapport au sol au droit de Pz5. Elle n'est pas exploitée dans les environs du site.</p>
Impacts identifiés lors des précédentes études	<p>Les impacts identifiés à l'issue des investigations de terrain sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • milieu sol : métaux, HAP et HCT ; • milieu eaux souterraines : HAP et impact ponctuel en chlorure de vinyle en Pz5 ; • milieu air du sol : COHV (TCE, PCE, Cis-1,2-DCE, trichlorométhane et tétrachlorométhane) et traces de mercure.
Scénarios de réhabilitation étudiés	<ul style="list-style-type: none"> • Scénario 1 : purge de la pollution concentrée en HAP, des impacts en hydrocarbures et en métaux identifiées et recouvrement de surface des espaces extérieurs ; • Scénario 2 : purge de la pollution concentrée en HAP située à l'ouest du futur bâtiment et confinement de surface des autres impacts en HAP, HCT en métaux ; • Scénario 3 : confinement de l'ensemble des zones impactées (confinement de surface), et mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines.

Objectifs de réhabilitation	Des objectifs de réhabilitation sur les sols ont été fixés par analyse cartographique pour supprimer un maximum de pollution. La concentration résiduelle maximale après purge de la source concentrée en HAP située à l'ouest du futur bâtiment et pour un usage industriel est de 81 mg/kg MS (scénario 2).																		
Dimensionnement des zones concentrées	Les scénarii de gestion recommandés prévoient le confinement ou le traitement par excavation et élimination hors-site en filière adaptée de la source concentrée en HAP et le recouvrement des espaces extérieurs ; soit le scénario 2 (noté 47), et le scénario 3 (noté 44). Le dimensionnement de la source concentrée en HAP est le suivant : <table border="1" data-bbox="486 548 1460 862"> <thead> <tr> <th>Nom</th> <th>Sondages concernés</th> <th>Concentration maximale (mg/kg MS)</th> <th>Surface (m²)</th> <th>Profondeur maximale reconnue impactée</th> <th>Volume (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HAP</td> <td>S1, F1, F2, F9 et F10</td> <td>HAP : 190</td> <td>152</td> <td>1,5 m (entre 0 et 1,5 m de profondeur)</td> <td>228</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">TOTAL</td> <td>228 m³</td> </tr> </tbody> </table>	Nom	Sondages concernés	Concentration maximale (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)	HAP	S1, F1, F2, F9 et F10	HAP : 190	152	1,5 m (entre 0 et 1,5 m de profondeur)	228	TOTAL					228 m ³
Nom	Sondages concernés	Concentration maximale (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)														
HAP	S1, F1, F2, F9 et F10	HAP : 190	152	1,5 m (entre 0 et 1,5 m de profondeur)	228														
TOTAL					228 m ³														
Plan d'actions proposé	Il est conseillé : <ul style="list-style-type: none"> De gérer ou de confiner et surveiller la zone de pollution concentrée en HAP selon la solution de réhabilitation retenue ; De mettre en place un programme de surveillance des eaux souterraines sur 4 ans minimum si le scénario 3 est choisi ; De remettre à jour l'ARR en fonction des résultats des concentrations résiduelles après travaux si scénario 2 choisi (et des contrôles sur les gaz des sols à l'échelle de l'emprise d'ENGIE) ; La réalisation d'un dossier de restrictions d'usages avec réalisation notamment d'une surveillance de la qualité des eaux souterraines avant et après travaux. 																		
Analyse des risques résiduels	<ul style="list-style-type: none"> Niveaux de risques sanitaires calculés inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques. En cas de modification des données d'entrée, les présents calculs devront être revus. 																		
Conclusion et recommandation	Au regard de l'analyse multicritères réalisée, deux solutions de réhabilitation apparaissant comme les plus pertinentes : <ul style="list-style-type: none"> le scénario 2 : le traitement par excavation des terres / Elimination hors-site de la source concentrée en HAP en filière adaptée et le recouvrement des espaces extérieurs. Son coût de mise en œuvre a été estimé à environ 140 k€ HT ; le scénario 3 : le confinement des zones polluées, avec mise en place d'un programme de suivi de la qualité des eaux souterraines sur 4 ans. Son coût de mise en œuvre est estimé à environ 105 k€ HT. Par ailleurs, le recouvrement des espaces extérieurs (30 cm de la terre végétale saine et inerte d'apport extérieur, dalle béton et enrobé) a été considéré afin de supprimer la voie de transfert par ingestion et inhalation de sols/poussières. De plus, les futures canalisations d'alimentation en eau potable de la chaufferie devront être mises en œuvre avec des matériaux anti-perméation (en fonte par exemple et avec des joints spécifiques) afin d'éviter tout risque de perméation des composés vers l'eau potable.																		

1. Codification des prestations

Le présent rapport est conforme à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 et aux exigences de la **norme AFNOR NF X 31-620 1, 2 et 5 : décembre 2021 - « Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »**, pour le domaine A : « Etudes, assistance et contrôle » et le domaine D : « Attestation de prise en compte des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines dans la conception des projets de construction ou d'aménagement »

Prestations élémentaires (A) concernées	Objectifs	Prestations globales (A) concernées	Objectifs
<input type="checkbox"/> A100	Visite du site	<input type="checkbox"/> AMO Assistance à Maîtrise d'ouvrage en phase études	Assister et conseiller son client pendant tout ou partie de la durée du projet, en phase études.
<input type="checkbox"/> A110	Etudes historiques, documentaires et mémorielles	<input type="checkbox"/> LEVE Levée de doute	Le site relève-t-il de la politique nationale de gestion des sites pollués, ou bien est-il « banalisable » ?
<input type="checkbox"/> A120	Etude de vulnérabilité des milieux	<input type="checkbox"/> INFOS	Réaliser les études historiques, documentaires et de vulnérabilité, afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations.
<input type="checkbox"/> A130	Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations	<input type="checkbox"/> DIAG	Investiguer des milieux (sols, eaux souterraines, eaux superficielles et sédiments, gaz du sol, air ambiant...) afin d'identifier et/ou caractériser les sources potentielles de pollution, l'environnement local témoin, les vecteurs de transfert, les milieux d'exposition des populations et identifier les opérations nécessaires pour mener à bien le projet (prélèvements, analyses...)
<input type="checkbox"/> A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols	<input checked="" type="checkbox"/> PG Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site	Etudier, en priorité, les modalités de suppression des pollutions concentrées. Cette prestation s'attache également à maîtriser les impacts et les risques associés (y compris dans le cas où la suppression des pollutions concentrées s'avère techniquement complexe et financièrement disproportionnée) et à gérer les pollutions résiduelles et diffuses. Réalisation d'un bilan coûts-avantages (A330) qui permet un arbitrage entre les différents scénarios de gestion possibles (au moins deux), validés d'un point de vue sanitaire (A320) Préconisations sur la nécessité de réaliser, ou non, les prestations PCT (dont B111 et/ou B112 (voir NF X 31-620-3)), CONT, SUIVI, A400, et la définition des modalités de leur mise en œuvre ; ces préconisations peuvent également concerner l'organisation, la sécurité et l'encadrement des travaux à réaliser ; Préciser les mécanismes de conservation de la mémoire en lien avec les scénarios de gestion proposés
<input type="checkbox"/> A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines		
<input type="checkbox"/> A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou les sédiments		
<input type="checkbox"/> A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol		
<input type="checkbox"/> A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques		
<input type="checkbox"/> A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires	<input type="checkbox"/> IEM Interprétation de l'Etat des Milieux	La prestation IEM est mise en œuvre en cas de : <ul style="list-style-type: none"> • mise en évidence d'une pollution historique sur une zone où l'usage est fixé (installation en fonctionnement, quartier résidentiel, etc.) ; • mise en évidence d'une pollution hors des limites d'un site ; • signal sanitaire. Comparable à une photographie de l'état des milieux et des usages, la prestation IEM vise à s'assurer que l'état des milieux d'exposition est compatible avec les usages existants [9]. Elle permet de distinguer les situations qui : <ul style="list-style-type: none"> • ne nécessitent aucune action particulière ; • peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages constatés ; • nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion
<input type="checkbox"/> A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées	<input type="checkbox"/> SUIVI	Suivi environnemental
<input type="checkbox"/> A270	Interprétation des résultats des investigations	<input type="checkbox"/> BQ Bilan quadriennal	Interpréter les résultats des données recueillies au cours des quatre dernières années de suivi Mettre à jour l'analyse des enjeux concernés par le suivi sur la période sur les ressources en eau, environnementales et l'analyse des enjeux sanitaires.
<input type="checkbox"/> A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux	<input type="checkbox"/> CONT Contrôles	Vérifier la conformité des travaux d'investigation ou de surveillance Contrôler que les mesures de gestion sont réalisées conformément aux dispositions prévues
<input type="checkbox"/> A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales	<input type="checkbox"/> XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués
<input checked="" type="checkbox"/> A320	Analyse des enjeux sanitaires	<input type="checkbox"/> VERIF	Effectuer les vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise
<input checked="" type="checkbox"/> A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages		
<input type="checkbox"/> A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes		

2. Introduction

2.1 Objet de l'étude

La société ENGIE ENERGIE SERVICES projette la construction et l'exploitation (pendant 10 ans) d'une chaufferie biomasse pour le compte de BORDEAUX METROPOLE.

Dans le cadre d'un projet d'aménagement du site porté par la Mairie de BORDEAUX (propriétaire des lieux), le terrain d'implantation de la future chaufferie a fait l'objet d'études environnementales entre 2017 et 2019. Les résultats de ces études ont montré la présence de pollutions par des hydrocarbures, des métaux et des solvants chlorés dans les sols, les eaux souterraines et les gaz des sols. Les terrains n'étant pas compatibles avec l'usage résidentiel et de halte-garderie initialement projeté, des mesures de gestion ont été préconisées pour rendre les terrains acceptables d'un point de vue sanitaire vis-à-vis de cet usage sensible.

Depuis, le projet d'aménagement a été modifié. Il est prévu finalement un usage moins sensible, à savoir une chaufferie biomasse, et l'emprise du terrain alloué à la future chaufferie représente moins de la moitié de l'emprise initialement étudiée pour la Mairie de BORDEAUX (**Figure 1**).

Dans ce cadre, ENGIE ENERGIE SERVICES a mandaté GINGER BURGEAP en 2020 pour mettre à jour le plan de gestion des pollutions reconnues sur la zone d'étude intégrant une analyse des risques sanitaires, afin de définir les mesures de gestion à mettre en œuvre et les coûts dédiés (rapport référencé CSSPSO205387 / RSSPSO11276-01, daté du 06/11/2020).

En 2023, suite à une modification du projet de la chaufferie biomasse, ENGIE ENERGIE SERVICES, par l'intermédiaire de SUEZ Consulting, a missionné GINGER BURGEAP pour mettre à jour le plan de gestion réalisé par GINGER BURGEAP en 2020.

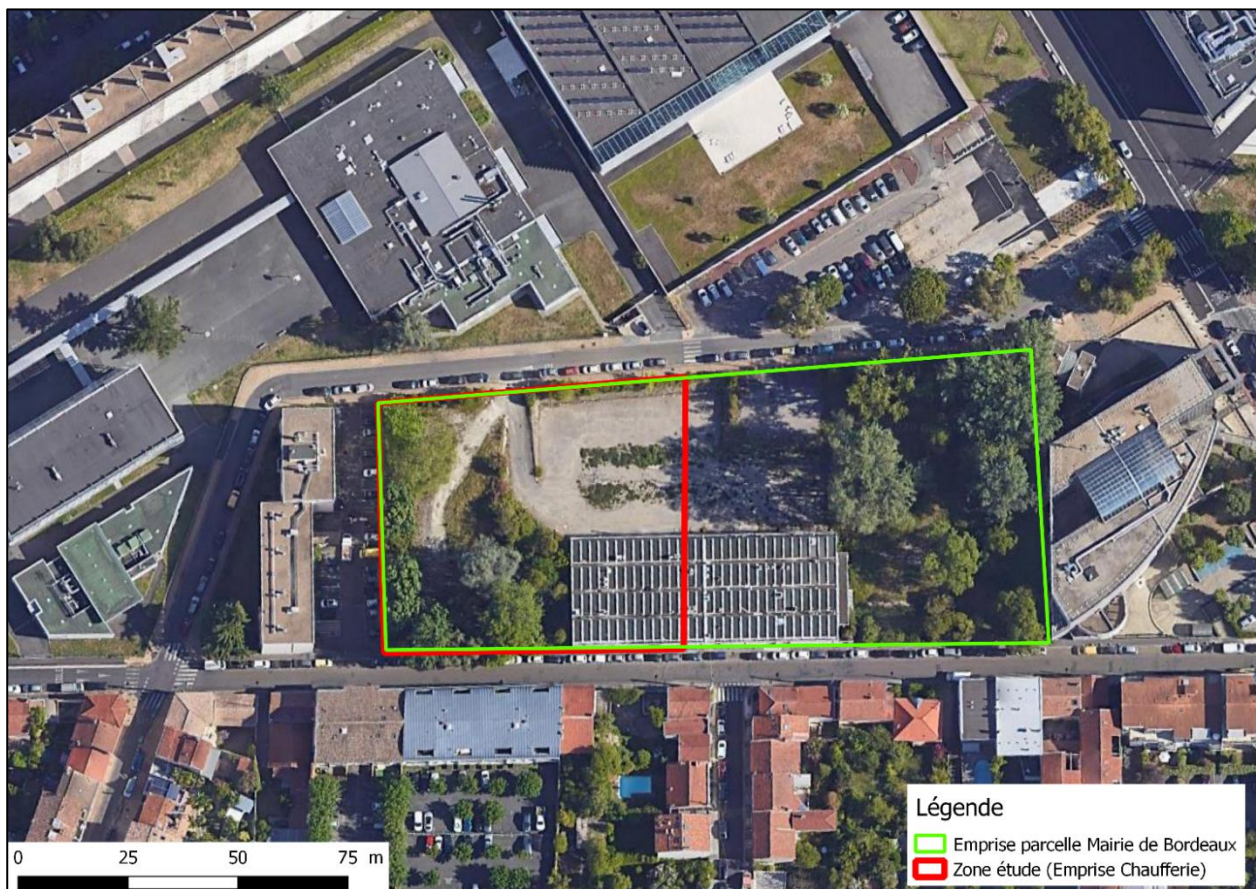


Figure 1 : Localisation du site d'étude

2.2 Documents de référence et ressources documentaires

Les documents suivants nous ont été fournis par ENGIE ENERGIE SERVICES :

- Evaluation environnementale des sols – phases 1 et 2, rapport APAVE, réf. A532136203 du 8/09/2017 ;
- Evaluation environnementale – phase 3, rapport APAVE, réf. A532271978 du 14/04/2018 ;
- Identification des options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages, rapport APAVE, réf. A532271978 du 11/02/2019
- Plan topographique, marie de Bordeaux (juillet 2015) ;
- Plan de repérage parcellaire et dimensionnement du 02/06/2020 (document issu du dossier de consultation) ;
- Plan de repérage des arbres du 27/02/2020 (document issu du dossier de consultation) ;
- Esquisse d'implantation de la chaufferie (ENGIE) Octobre 2020 ;
- Plans de masse du nouveau projet de chaufferie Biomasse (ENGIE) 25/01/2023 ;
- Rapport de plan de gestion et analyse des risques sanitaires – BURGEAP- référencé CSSPSO205387 / RSSPSO11276-01, daté du 06/11/2020.

3. Synthèse des études antérieures

3.1 Synthèse de l'étude historique et documentaire

L'emprise du terrain alloué à la future chaufferie représente moins de la moitié de la parcelle totale, propriété de la Mairie de BORDEAUX. Elle correspond à un ancien marais qui a été asséché puis remblayé pour prévenir les risques d'inondation. Le site d'étude est constitué de parcelles sans activité avant 1931.

Cette emprise a été occupée en partie par les bâtiments suivants :

- en 1931, un premier bâtiment de l'institut municipal de recherches sur l'alimentation humaine et animale a été construit. Le sous-sol du bâtiment correspondait à une laiterie.
- un agrandissement avec la réalisation d'un bâtiment administratif et un laboratoire de chimie au nord de la parcelle et d'une maison de gardien à l'ouest est réalisé en 1961.

Le laboratoire a fermé en 2016 et a été démoli ainsi que le logement de gardien en 2018.

3.2 Contexte environnemental

Selon la carte géologique n°803 de Bordeaux au 1/50 000^{ème}, la zone d'étude repose sur des formations fluviatiles composés d'argiles des « mattes », Tourbes et argiles tourbeuse (FybT). Afin de prévenir des inondations, la ville de Bordeaux a historiquement fait l'objet d'un remblaiement massif de ses berges. Les remblais utilisés pour ce rehaussement provenaient principalement des industries locales.

Les investigations réalisées sur la zone d'étude ont mis en évidence la succession des formations suivantes :

- remblais graveleux sableux et argileux avec parfois des morceaux de tuiles entre 0 et 1,9 m de profondeur ;
- argiles grises entre 1,9 et 2,7 m de profondeur ;
- argiles tourbeuses entre 2,7 et 3 m de profondeur.

Une nappe a été rencontrée dans les remblais superficiels à environ 0,63 m de profondeur (mars 2018) par rapport au sol au droit de Pz5. Compte tenu du fait que la zone centrale du site est inondable, un pompage des eaux souterraines est réalisé au centre du site. Le sens d'écoulement se fait du nord-ouest vers le sud-est mais est très influencé par le pompage en place.

3.3 Synthèse de l'état environnemental des différents milieux

La zone d'étude a fait l'objet de diagnostics réalisés par APAVE en septembre 2017 (rapport APAVE référencé A532136203 du 8/09/2017) et en avril 2018 (rapport APAVE réf. A532271978 du 14/04/2018). Au total, et au regard des données fournies, il a été réalisé sur l'emprise de la parcelle du futur projet de la chaufferie (**Figure 2**) :

- 15 sondages de sol à la tarière mécanique jusqu'à 4 m de profondeur maximum en 2017 et 2018 ;
- 1 sondage à la tarière manuelle (S13) jusqu'à 0,7 m de profondeur en 2017 ;
- 3 piézomètres : Pz1, Pz4 et Pz5 jusqu'à 6 m de profondeur posés en 2018 ;
- 2 prélèvements d'air ambiant : Air intérieur (hors emprise ENGIE) et Air extérieur en mars 2018 ;
- 1 analyse d'air sous-dalle (ASD) (hors emprise ENGIE) en mars 2018.

Les prélèvements d'air sous dalle et d'air intérieur ont été réalisés à l'est immédiat de la zone d'étude lors de la campagne de mars 2018. En juillet et novembre 2018, des prélèvements complémentaires d'air sous dalle (11 points) et d'air ambiant intérieur (6 points) ont été réalisés sur la partie du bâtiment situé dans la zone d'étude.

Il est à noter que dans le cadre des études antérieures, trois (03) piézaires ont été installés respectivement à 2 et 5 m de profondeur, sur la partie est de la parcelle totale. Aucun de ces piézaires n'est installé au droit de la parcelle objet de la présente étude.

A noter également que le projet sera excédentaire en déblais par l'excavation d'une partie du bâtiment. L'ensemble des terres en dehors du bâtiment ne fera pas l'objet d'excavation (hors mise à niveau éventuelle) et de déblais.

Le tableau ci-après présente une synthèse des résultats obtenus dans les différents milieux au droit de la parcelle d'étude.

Les propriétés physico-chimiques des polluants sont présentées en **Annexe 7** et un glossaire est présent en **Annexe 8**.

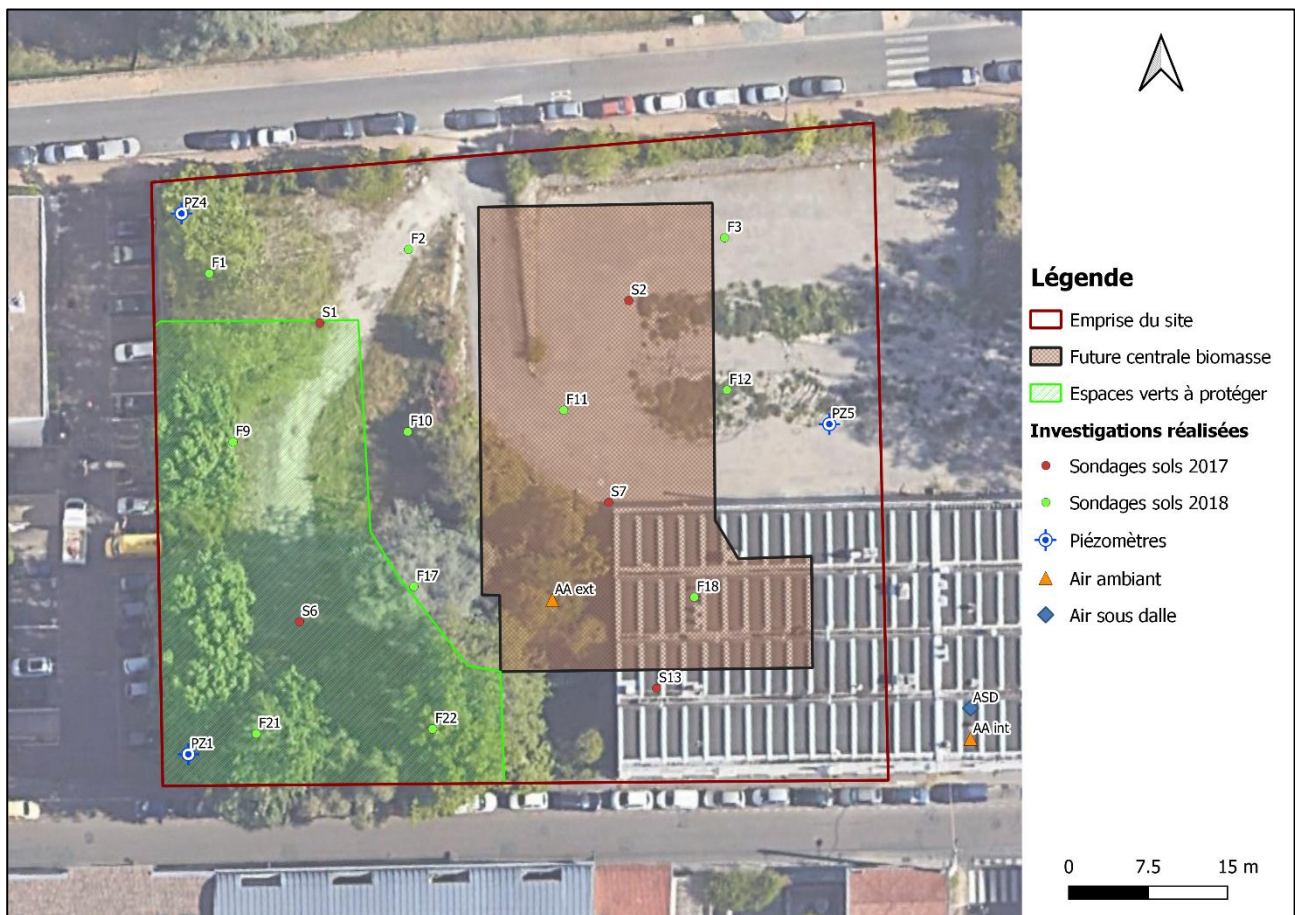


Figure 2 : Localisation des différentes investigations au droit du site d'étude (emprise de la centrale biomasse mise à jour 2023)

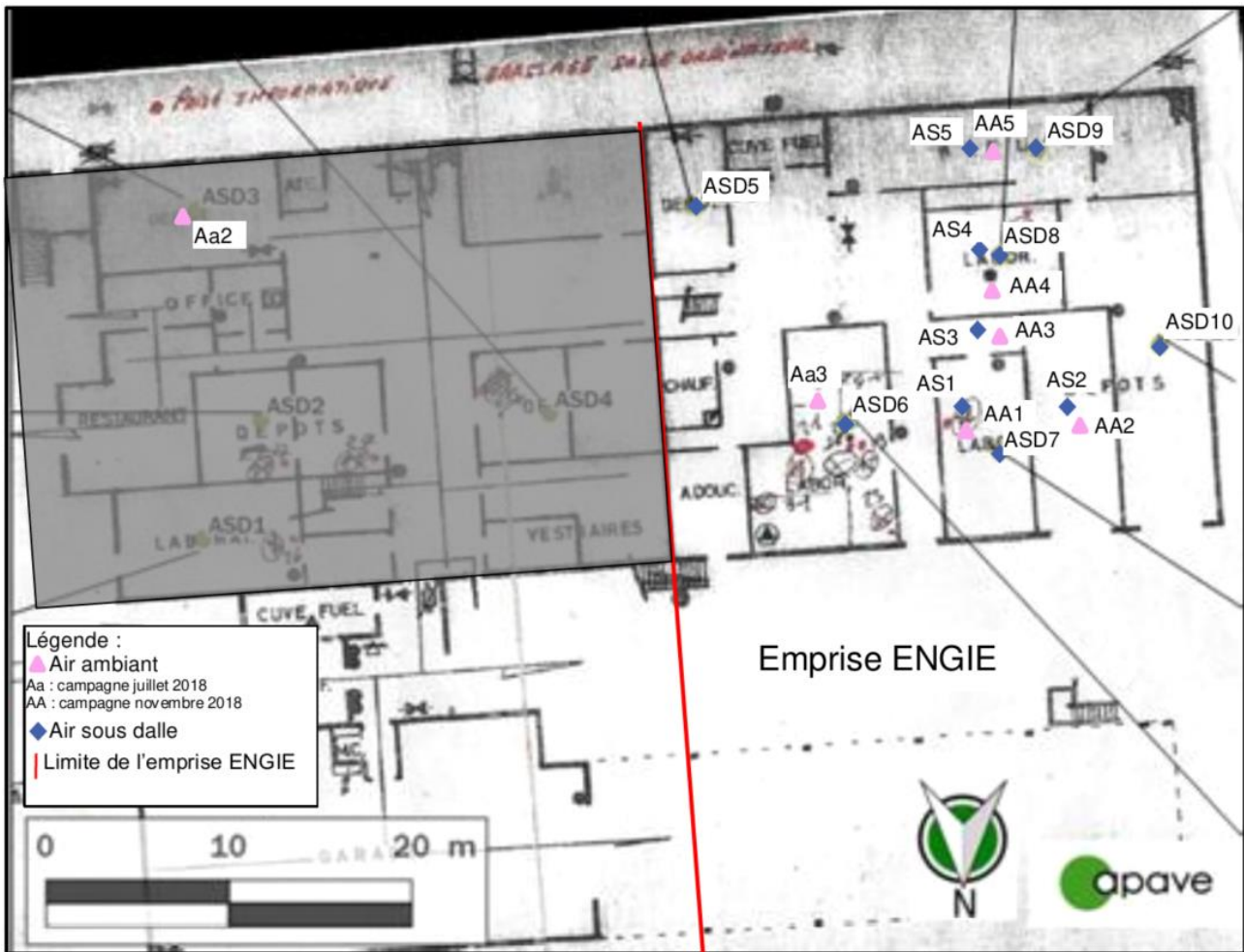


Figure 3 : Localisation des points de prélèvements air sous-dalle et air ambiant des campagnes de juillet et novembre 2018 (Source Plan de gestion APAVE réf. A532271978, avril 2018 – amendé par GINGER BURGEAP)

Tableau 1 : Synthèse des résultats d'investigations d'APAVE

Milieux	Résultat	Cohérence source-impact	Cohérence entre milieux
Sols	<ul style="list-style-type: none"> des anomalies en métaux supérieures au bruit de fond des sols ordinaires dans les sols superficiels. Plusieurs sondages présentent des concentrations supérieures à plusieurs fois le bruit de fond entre 0 et 1 m de profondeur (sondage F1, F2, F3, F9, F21 et F22). Ces anomalies ne seront probablement pas compatibles si elle reste en surface (sans recouvrement) pour un usage industriel. Les concentrations maximales sont observées au droit du sondage F9 (principalement Hg, Cu, Pb et Zn) avec des teneurs supérieures à plusieurs fois le bruit de fond pour certains composés (par exemple : environ 22 fois pour le Hg, 30 fois pour le Pb) ; des anomalies modérées en HCT, principalement non volatil, dans les remblais superficiels jusqu'à 2 m de profondeur. La concentration maximale de 1 090 mg/kg MS est quantifiée au droit de F3 (0-1 m) avec des fractions lourdes et peu volatiles C22-C40 à hauteur de 96% ; un impact ponctuel en HAP au droit de S1 (0-1,2m) avec une concentration de 190 mg/kg MS. Cet impact a été délimité par les sondages F1, F2, F9 et F10 avec une incertitude qui demeure sur son extension dans la direction nord-est. En effet, la concentration maximale en F2 (74 mg/kg MS entre 2 et 3 m/sol) reste supérieure aux valeurs de référence. Un second impact est également enregistré au droit du sondage F21 à une concentration de 87 mg/kg MS entre 0 et 1 m/sol ; des concentrations en naphtalène, HAP le plus volatil, sont également enregistrées à des teneurs supérieures à la valeur de référence. La concentration maximale (7,8 mg/kg MS) est quantifiée au droit de S6 entre 0 et 1,5 m de profondeur et est 52 fois supérieure à la valeur de référence (0,15 mg/kg MS) ; les BTEX n'ont pas été quantifiés sur la majorité des sondages. Seules des traces proches de la limite de quantification du laboratoire ont été quantifiées au droit des sondages F18, F21 et F22 ; une anomalie ponctuelle en COHV (TCE) a été observée au droit de F18 (0-1 m). La concentration quantifiée (0,13 mg/kg MS) est proche de la limite de quantification du laboratoire ; un impact en COHV (TCE) dans les sols sous la dalle béton du bâtiment de l'Institut Municipal en Z2 et Z3. La concentration maximale est de 3,19 mg/kg MS (Z3). Un impact ponctuel en trichlorométhane (chloroforme) à une concentration de 1,94 mg/kg MS a également été observé en Z3 ; absence de quantification des PCB sur tous les échantillons analysés ; des terres non inertes au regard de l'arrêté du 12/12/2014 ont également été mises en évidence sur quelques sondages entre 0 et 3 m de profondeur. 	<p>Les composés attendus dans ce secteur d'un ancien laboratoire de chimie sur des terrains historiquement remblayés sont les métaux, les hydrocarbures et les COHV.</p> <p>Les anomalies constatées sont cohérentes avec les activités passées.</p> <p>Les impacts en hydrocarbures et en HAP dans les sols sont associés à la présence de remblais de mauvaise qualité.</p>	<p>Pas d'impact en COHV n'a pas été mis en évidence dans les sols à proximité du Pz5.</p>
Eaux souterraines (Pz1 : amont, Pz4 : amont et Pz5 : aval)	<p>Pz1 - 5 m de profondeur - (campagne d'août 2017)</p> <ul style="list-style-type: none"> un impact en Pb (975 µg/l) supérieur d'environ 20 fois la valeur de référence pour les eaux brutes ; présence d'une anomalie en As (35 µg/l) supérieure aux critères de potabilité mais inférieure à la valeur de référence pour les eaux brutes ; un impact en HAP avec des concentrations supérieures aux valeurs de référence. Le naphtalène, HAP le plus volatil, a été également quantifié au droit de cet ouvrage ; traces en HCT non significatives ; absence de quantification de BTEX et de COHV. <p>Pz1, Pz4 et Pz5 – piézomètre appartenant à la parcelle d'étude (campagne de mars 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> présence d'anomalies en As au droit de Pz1 et Pz4. L'impact en plomb sur Pz1 n'est pas confirmé lors de la présente campagne ; présence d'impact en HAP sur les trois ouvrages ; présence d'un impact ponctuel en COHV (CV) au droit de Pz5 ; des traces en HCT sur Pz1 et Pz4 (132 et 143 µg/l respectivement) et traces de BTEX (toluène) en Pz5 (34,8 µg/l) avec absence de Benzène. 		
Air ambiant (AA int et AA ext)	<p>Air ambiant (mars 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> absence de quantification de HCT ; traces non significatives en BTEX sur les deux échantillons ; traces en COHV (trichlorométhane et tétrachlorométhane) inférieures aux valeurs de référence et une teneur en mercure (0,04 µg/m³) supérieure à la valeur de référence (0,03 µg/m³) sur l'échantillon d'air intérieur. <p>Air ambiant intérieur (juillet novembre 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> présence d'anomalies en mercure (respectivement 0,24 µg/m³ (Aa2 - hors emprise ENGIE) et 0,124 µg/m³ (AA3)) supérieures à la valeur de référence (0,03 µg/m³). 		

Milieux	Résultat	Cohérence source-impact	Cohérence entre milieux
Gaz du sol	<p>ASD (air sous-dalle – mars 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> anomalies en TCE et en PCE avec des concentrations respectives de 267 et 313 µg/m³. Une saturation de la couche de mesure a été observée pour le trichlorométhane et le tétrachlorométhane ; BTEX, naphthalène, HCT et Hg non détectés. <p>ASD (air sous-dalle – juillet 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> concentrations significatives en COHV (TCE, Cis-1,2-DCE, trichlorométhane...) ; anomalies en mercure. <p>ASD (air sous-dalle – novembre 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> baisse des concentrations en COHV (TCE, Cis-1,2-DCE, trichlorométhane...). Cette baisse peut s'expliquer par les conditions météorologiques non favorables au dégazage des composés volatils ; anomalies en mercure. 	<p>Les composés attendus dans ce secteur d'un ancien laboratoire de chimie sur des terrains historiquement remblayés sont les métaux, les hydrocarbures et les COHV.</p> <p>Les anomalies constatées sont cohérentes avec les activités passées.</p> <p>Les impacts en hydrocarbures et en HAP dans les sols sont associés à la présence de remblais de mauvaise qualité.</p>	<p>Certains COHV (TCE, PCE, Cis-1,2-DCE) quantifiés dans l'air sous dalle ne sont pas retrouvés dans l'air intérieur.</p> <p>Les impacts en COHV et anomalies en mercure relevés dans les prélèvements d'air sous dalle sont cohérents avec les impacts relevés dans les sols prélevés sous la dalle béton au droit de l'ancien bâtiment de l'Institut municipal.</p>
Béton	<ul style="list-style-type: none"> présence d'anomalies en mercure. La concentration maximale est de 0,24 mg/kg MS (Z2-Béton). 	<p>Cohérence entre les anomalies en mercure et l'activité exercée dans ce bâtiment datant de 1931 (Institut municipal de recherches).</p>	<p>Les anomalies en mercure relevées dans le béton sont cohérentes avec les anomalies en mercure dans l'air sous dalle.</p>

4. Présentation du projet d'aménagement

Le projet d'aménagement communiqué par ENGIE ENERGIE SERVICES, prévoit la démolition du bâtiment existant (Institut municipal) et la construction d'une chaufferie biomasse pour le compte de BORDEAUX METROPOLE. Les usagers à prendre en compte sont des travailleurs de la chaufferie.

Le projet d'aménagement du site correspond à la mise en place d'une centrale de biomasse, telle que décrite dans les plans fournis par SUEZ consulting (par l'intermédiaire d'ENGIE), consultables en **Annexe 1**.

Selon les informations communiquées par ENGIE, les déblais de terrassement issus des excavations prévues au droit du bâtiment seront réutilisés sur site et le futur projet ne prévoit pas d'apport de matériaux extérieurs (déblais excédentaires). A noter également le maintien d'une zone verte dite « à protéger » sur la partie sud-ouest du site, incluant des arbres remarquables à maintenir sur site.

La présentation du projet en regard de la qualité des sols et des eaux souterraines au droit du site met en évidence la présence d'une à plusieurs zones d'impact dans le milieu souterrain dont la compatibilité avec les usages futurs doit être vérifiée sur le plan sanitaire et pour laquelle des mesures de gestion doivent être envisagées pour réduire les impacts sur le milieu souterrain.

Selon les informations recueillies auprès du Maître d'Ouvrage, des mouvements de terre sont envisagés sur le site, notamment pour remblayer la zone en contrebas.

Rappelons que quels que soient les usages prévus, un recouvrement pérenne systématique des terrains restant en place avec des matériaux sains d'apport extérieur devra être mis en œuvre en raison de la qualité chimique médiocre des remblais de surface.

La **Figure 2** illustre l'implantation prévisionnelle de chaufferie biomasse.

5. Schéma conceptuel

Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site	Le projet d'aménagement prévoit la construction d'une chaufferie biomasse, et la conservation/protection d'une partie des espaces verts.
Géologie et hydrogéologie	<p>Les investigations réalisées ont mis en évidence la succession des formations géologiques suivantes de haut en bas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • remblais graveleux sableux et argileux avec parfois des morceaux de tuiles entre 0 et 1,9 m de profondeur ; • argiles grises entre 1,9 et 2,7 m de profondeur ; • argiles tourbeuses entre 2,7 et 3 m de profondeur. <p>Une nappe a été rencontrée dans les remblais superficiels à environ 0,63 m de profondeur par rapport au sol au droit de Pz5.</p>
Impacts identifiés	<p>Les impacts identifiés à l'issue des investigations de terrain sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • milieu sol : métaux, HAP et HCT ; • milieu eaux souterraines : HAP et impact ponctuel en chlorure de vinyle en Pz5 ; • milieu air ambiant : COHV et mercure en air intérieur et traces en BTEX dans l'air extérieur ; • milieu air sous dalle : COHV (TCE, PCE, Cis-1,2-DCE, trichlorométhane et tétrachlorométhane) et mercure. <p>Ces impacts sont détaillés dans le paragraphe 3.3.</p>

Enjeux à considérer	Les enjeux à considérer sur site sont les futurs usagers du site (adultes). Aucun enjeu n'est à considérer hors site .
Voies de transfert depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition	Tous les espaces seront recouverts, la seule voie de transfert à considérer est la volatilisation des composés volatils. Un recouvrement pérenne systématique des terrains restant en place (bâtiment, voirie ou 30 cm de terres saines) devra être mis en œuvre en raison de la qualité chimique médiocre des remblais de surface. Il est à noter que la conservation de la couverture végétale autour des arbres identifiés sur la zone d'étude permet également de limiter l'envol des poussières (Annexe 1). La perméation des composés vers les canalisations d'eau potable n'a pas été prise en compte dans la mesure où le plan de gestion prévoit la pose des canalisations avec des matériaux anti-perméation (en fonte par exemple et avec des joints spécifiques).
Voies d'exposition	► Sur site Au droit des zones recouvertes et non recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est l'inhalation de composés volatils issus du milieu souterrain (ZNS et ZS).

Tableau 2 : Synthèse des principaux impacts mis en évidence

Milieu	Sondage	Polluants	Profondeur	Concentrations maximales pour les principaux polluants
Sols	S1	HAP et HCT	0-1,2 m	HAP : 190 mg/kg.MS HCT : 688,9 mg/kg.MS
	F2		2-3 m	HAP : 74 mg/kg.MS
	F3		0-1 m	HCT : 1 090 mg/kg.MS
	F11		1-2 m	HCT : 576 mg/kg.MS
	F12		1-2 m	HCT : 916 mg/kg.MS
	F21		0-1 m	HAP : 87 mg/kg.MS
	F9	Métaux	0-1 m	Hg : 4,97 mg/kg.MS Cu : 2 220 mg/kg.MS Ni : 1 500 mg/kg.MS Se : 2 350 mg/kg.MS
Eau souterraine	Pz5	COHV	-	Cv : 5,9 µg/l
Air sous dalle	ASD5	COHV	Campagne de juillet 2018	Tétrachlorométhane : 712,35 µg/m ³
	ASD7			TCE : 14 084,5 µg/m ³ Cis-1,2-DCE : 2 816,9 µg/m ³ Trichlorométhane : 3 521,1 µg/m ³
	ASD10	Mercure (Hg)		Hg : 0,212 µg/m ³

6. Détermination des zones de pollution concentrée

6.1 Méthodologie nationale

6.1.1 Principes

La méthodologie nationale des sites et sols pollués d'avril 2017 stipule que « Lorsque des pollutions concentrées sont identifiées (flottants sur les eaux souterraines, terres fortement imprégnées de produits, produits purs...), la priorité consiste d'abord à déterminer les modalités de suppression des pollutions concentrées plutôt que d'engager des études pour justifier leur maintien en l'état, en s'appuyant sur la qualité dégradée des milieux ou sur l'absence d'usage de la nappe ».

A l'issue des différentes études réalisées sur le site, il s'avère nécessaire de mettre en œuvre des mesures de gestion concernant les impacts identifiés sur le site. D'une manière générale, ces mesures peuvent consister en :

- des travaux de traitement des sources de pollution concentrée conformément à la méthodologie nationale de 2017 ;
- des mesures organisationnelles (gestion en phase chantier, surveillance) pour veiller à la bonne mise en œuvre de ces prescriptions ;
- la mise en œuvre de paramètres constructifs spécifiques (vide de construction, vide sanitaire, canalisation anti-perméation, membrane étanche, recouvrement des sols...) ;
- la proposition de restrictions d'usage éventuelles.

Ces travaux nécessitent la prise en compte des pollutions chimiques des sols mises en évidence et donc leur remise en état. La remise en état d'un site n'a pas pour objectif d'éliminer toute trace de polluants dans les sols mais de ramener la qualité du sous-sol dans un état sanitaire compatible avec sa reconversion, ce qui suppose la détermination d'objectifs de traitement tant sur le plan technique que sur le plan économique.

En effet, lorsqu'ils ne sont pas techniquement irréalisables, ces objectifs ne doivent pas engendrer des investissements financiers disproportionnés par rapport à la valeur foncière du site.

6.1.2 Notion de sources - transfert - cibles

Pour qu'il y ait un risque sanitaire, il faut qu'existent simultanément une source de pollution, un moyen de transfert de celle-ci et une cible (ou un enjeu).

Généralement, une source de pollution peut être un dépôt de déchets ou de produits liquides, des sols ou un aquifère pollué, des rejets aqueux ou atmosphériques.

Le transfert d'une pollution entre la source et la cible peut se faire par écoulement gravitaire, par percolation des pluies, par ruissellement de surface, par migration suivant l'écoulement des nappes phréatiques, par dispersion du vent, par dégazage de l'air.

Enfin, la cible (ou l'enjeu) d'une pollution sera :

- soit une population, exposée directement au contact de la pollution ou indirectement via un captage d'eau par exemple ;
- soit une ressource naturelle à protéger (nappe phréatique, réserve écologique...).

Pour supprimer le risque sanitaire, il est possible d'agir sur la source et/ou la voie de transfert et/ou la cible :

- agir à la source consiste à réduire ou éliminer le stock de polluants en éliminant des déchets, en traitant les sols ou la nappe phréatique, en contrôlant les rejets ;

- supprimer une voie de transfert, par exemple en confinant une pollution dans un « sarcophage » étanche ou recouvrir un sol pollué par des métaux (hors Hg volatil) avec de la terre saine, un revêtement de bitume ou construire un sous-sol ou un vide sanitaire.

6.1.3 Zone de pollution concentrée

Sur la base des principes édictés dans la méthodologie nationale d'avril 2017 relative à la gestion des sites pollués, la réhabilitation d'un site nécessitera dans tous les cas de procéder à des travaux ayant à minima pour objectif de traiter les « zones de pollution concentrée », à savoir :

- les cuves, canalisations, cavités, dans lesquelles ont pu s'accumuler des produits indésirables ;
- les sols présentant de fortes anomalies de concentration.

La notion de « forte anomalie de concentration » dépend de la qualité générale du site.

Une pollution concentrée est définie comme le 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.

Une « forte anomalie de concentration » peut également définir un seuil à partir duquel les risques sanitaires deviennent inacceptables.

L'interprétation des résultats de diagnostics doit être faite selon :

- les constats de terrain/indices organoleptiques ;
- une méthode d'interprétation cartographique ;
- la réalisation d'un bilan massique.

Dans le cas du site, étant donné que des impacts en HCT et HAP sont présents dans les sols, la définition des zones de pollution concentrée devra reposer sur la notion de « seuils de coupure » (seuils de concentration à partir duquel il est économiquement intéressant de dépolluer).

Ces seuils de coupure, qui délimitent une zone de pollution concentrée, sont déterminés selon a minima deux méthodes concordantes, parmi :

- Méthode 1 : interprétation des constats de terrain ;
- Méthode 2 : interprétation cartographique ;
- Méthode 3 : étude de la distribution des polluants au droit du site ;
- Méthode 4 : bilan massique ;
- Méthode 5 : détermination de la présence d'une phase organique dans les sols (utilisation du logiciel OREOS) ;
- Méthode 6 : approche géostatistique.

Dans le présent plan de gestion, les méthodes 1 et 2 seront appliquées, en association avec la méthode 3.

Ces différentes approches et les seuils de coupure ainsi déterminés sont présentés dans les paragraphes suivants. Le plan de gestion et la détermination des seuils de coupure sera établi et appliqué aux composés ayant été identifiés et quantifiés lors des diagnostics à savoir les HAP, HCT et les métaux.

6.2 Détermination des seuils de coupure en HAP

6.2.1 Interprétation des constats de terrain (méthode 1) et approche cartographique (méthode 2)

Cette approche des constats de terrain est simple à mettre en pratique et consiste à interpréter les constats effectués lors des investigations sur les sols, les gaz des sols et les eaux souterraines.

Ces constats sont par exemple :

- observation visuelle des sols, de l'eau (couleur, texture, sol imbibé de phase organique, présence de déchets...),
- mesures semi-quantitatives de composés volatils (PID, Dräger),
- détection de présence de phase organique flottante (LNAPL) ou coulante (DNAPL) dans un piézomètre et définition de son épaisseur,
- profondeur des observations et mesures citées ci-dessus.

Ces informations permettent notamment d'appréhender l'étendue spatiale des anomalies :

- couches de terrain présentant visuellement des anomalies fortes,
- présence de phase organique dans les sols ou dans les eaux souterraines.

L'approche cartographique croise les constats de terrains aux analyses réalisées en laboratoire sur les différents milieux de façon à obtenir une interprétation cartographique des zones dans lesquelles une pollution concentrée est présente.

Des coupes de terrain ont été établies par profondeur depuis la surface jusqu'à 4 m de profondeur (dernier échantillon contaminé) par intervalle de 1 m. Ces profils ont permis de délimiter des zones sur le site avec les hypothèses suivantes :

- pour l'extension horizontale, on suppose que la limite se situe à équidistance des points de sondages pollués et non pollués ;
- pour l'extension verticale, on remarque d'une manière générale des pics de concentrations au niveau des remblais superficiels, située entre 0 et 2 m de profondeur, et une décroissance des teneurs jusqu'à 3 ou 4 m de profondeur (limite des sondages).

Les emprises des zones de pollution sont représentées sur les **Figures 3 et 4**.

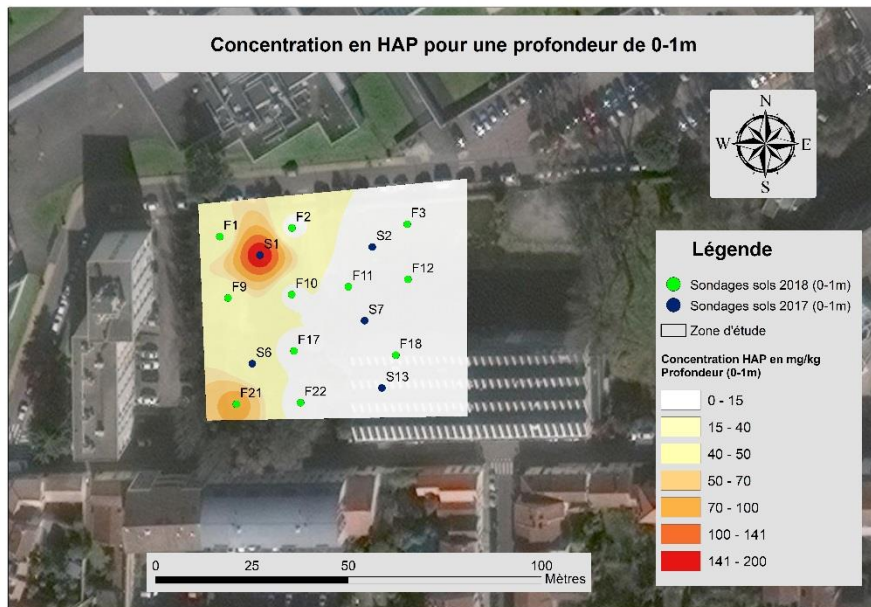


Figure 4 : Cartographie de distribution des courbes d'isoconcentration en HAP dans les sols entre 0 et 1 m de profondeur

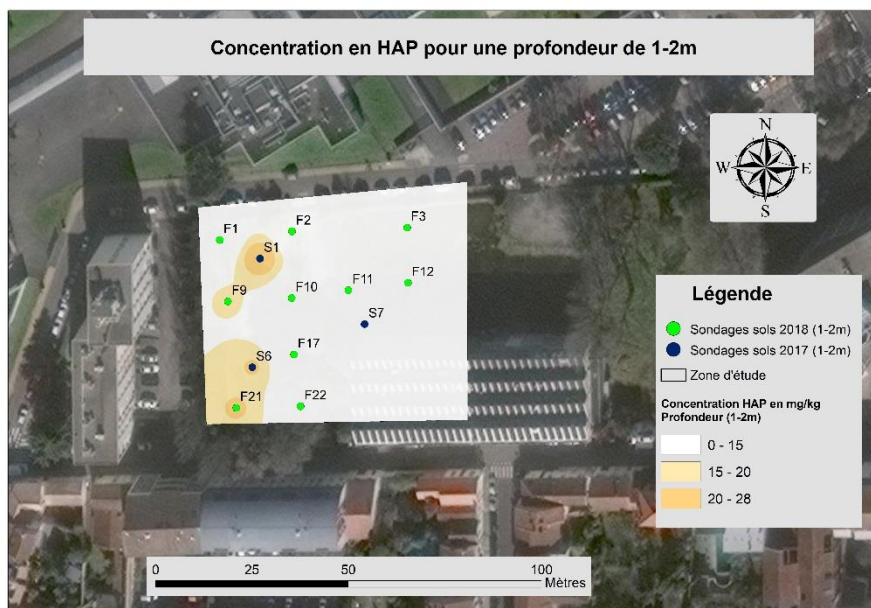


Figure 5 : Cartographie de distribution des courbes d'isoconcentration en HAP dans les sols entre 1 et 2 m de profondeur

6.2.2 Etude de la distribution des polluants au droit du site (Méthode 3)

Cette approche permet de caractériser le bruit de fond et/ou les concentrations anormales, en un polluant ou une famille de polluants, car significativement différentes de la distribution des concentrations de ce polluant ou famille de polluant (nuage de points).

Cette méthode doit permettre de distinguer les différentes populations de valeurs présentes et in fine de proposer un seuil de coupure (matérialisé par une rupture de pente) pour la pollution concentrée.

L'étude de la distribution des polluants s'appuie sur la détermination des concentrations maximales, moyennes, médianes et quelques percentiles.

La démarche a été réalisée sur les HAP et les résultats sont présentés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Critères statistiques des données pour les HAP

	Médiane	Percentile 60	Percentile 70	Percentile 80	Percentile 90	Maximum	Nbre données
Somme des HAP	5,95	7,62	15,1	21	27,4	190	34

D'après ce tableau, il en ressort que :

- 50% des concentrations en HAP sont inférieures à 5,95 mg/kg MS ;
- 20% des concentrations en HAP sont supérieures à 21 mg/kg MS ;
- 8% (3 résultats) des concentrations en HAP sont supérieures à 50 mg/kg MS, seuil d'acceptation des terres en ISDI.

La figure suivante présente la répartition des concentrations mesurées pour la délimitation de la zone de pollution concentrée en HAP. Elle fait apparaître un pool d'échantillons entre 0 et 30 mg/kg qui serait assimilable au bruit de fond du site, des points avec des concentrations comprises entre 60 et 90 mg/kg assimilables à des impacts modérés et un spot à 190 mg/kg assimilable à une pollution concentrée.

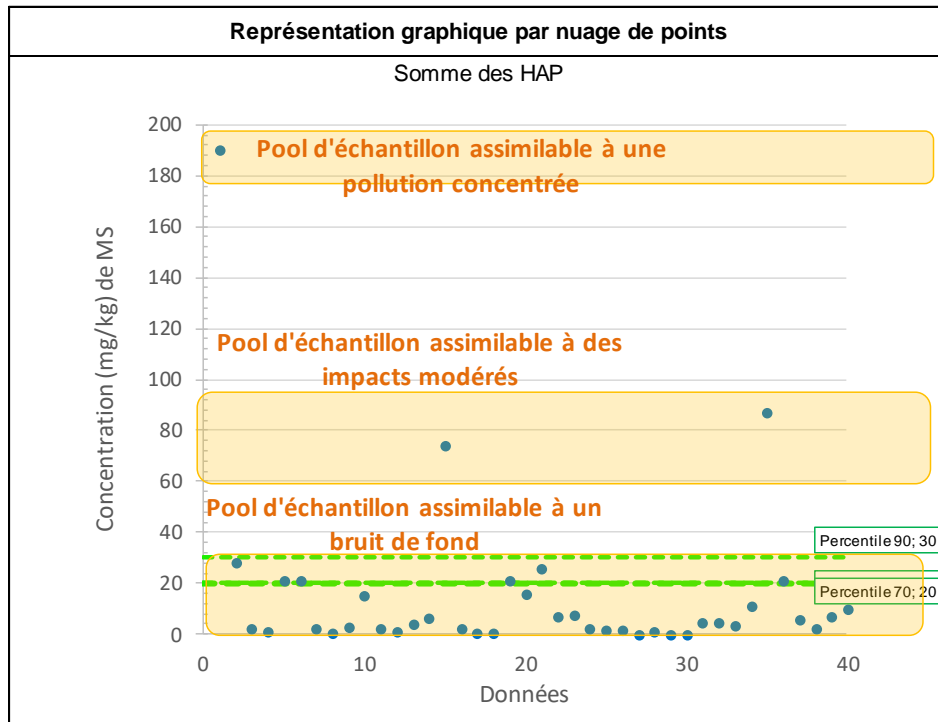


Figure 6 : Répartition des concentrations en HAP

6.2.3 Bilan des approches étudiées pour la détermination des seuils de coupure

Un impact significatif ponctuel en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) a été relevé dans les sols au droit du sondage S1 entre 0 et 1,2 m de profondeur (190 mg/kg). Sur les 34 échantillons analysés, seuls 4 échantillons présentent des concentrations supérieures aux valeurs de comparaison pour les HAP (bruit de fond urbain : 25 mg/kg). Aussi, compte tenu du faible nombre d'échantillons supérieur aux valeurs de référence, une étude de bilan de masse paraît peu pertinente pour déterminer un seuil de coupure pour ces composés. De ce fait, seules une délimitation cartographique d'après les analyses de terrains et une analyse statistique de la distribution des concentrations ont été utilisées pour la gestion de cet impact.

Sur la base des différentes approches appliquées, la concentration maximale (81 mg/kg MS) après purge (si elle est envisagée) du spot en HAP (190 mg/kg) sera assimilée au seuil de réhabilitation de la zone source en HAP. Le volume de terres impactées en HAP est présenté dans le tableau ci-dessous.

La compatibilité sanitaire de ces seuils avec le projet sera vérifiée par réalisation d'une analyse prédictive d'évaluation des risques sanitaires.

Les sondages de dimensionnement réalisés à proximité du sondage S1 (F1, F2, F9 et F10) n'ont pas montré d'impacts significatifs, aussi l'extension des sols impactés au droit du sondage S1 est considérée limitée et estimée à 152 m² sur 1,5 m d'épaisseur soit un volume compris entre 228 m³.

À noter également qu'une teneur en naphthalène (7,8 mg/kg) a été mesurée sur le sondage S6 entre 0 et 1,5 m de profondeur. Cette anomalie est située sur un sondage localisé sur les espaces extérieurs du futur projet d'ENGIE et la compatibilité sanitaire de cette teneur avec le projet sera vérifiée.

Le **Tableau 4** et la Figure 4. illustrent l'emprise de la zone concentrée établie à partir des paragraphes précédents.

Tableau 4 : Synthèse des sources sols concentrées en HAP

Nom	Sondages concernés	Concentration maximale (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)
HAP	S1, F1, F2, F9 et F10	HAP : 190	152	1,5 m (entre 0 et 1,5 m de profondeur)	228
TOTAL					228 m ³

Le volume total des terres impactées à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 228 m³, soit environ 410 tonnes (en considérant une densité théorique de 1,8). Ce volume s’inscrit dans une superficie à traiter de 152 m².

6.3 Détermination des anomalies en hydrocarbures

Les résultats d’analyse sur les sols au droit de la zone d’étude ont mis en évidence des impacts ponctuels en hydrocarbures entre la surface et 2 m de profondeur avec une concentration maximale de 1 090 mg/kg en F3 localisé au niveau des espaces extérieurs. Sur les 40 échantillons analysés, seuls 10 % sont supérieurs à 340 mg/kg (4 échantillons). Aussi, compte tenu du faible nombre d’échantillons supérieurs à ce seuil et la concentration maximale enregistrée, une étude statistique ou une étude de bilan de masse paraît peu pertinente pour déterminer un seuil de coupure.

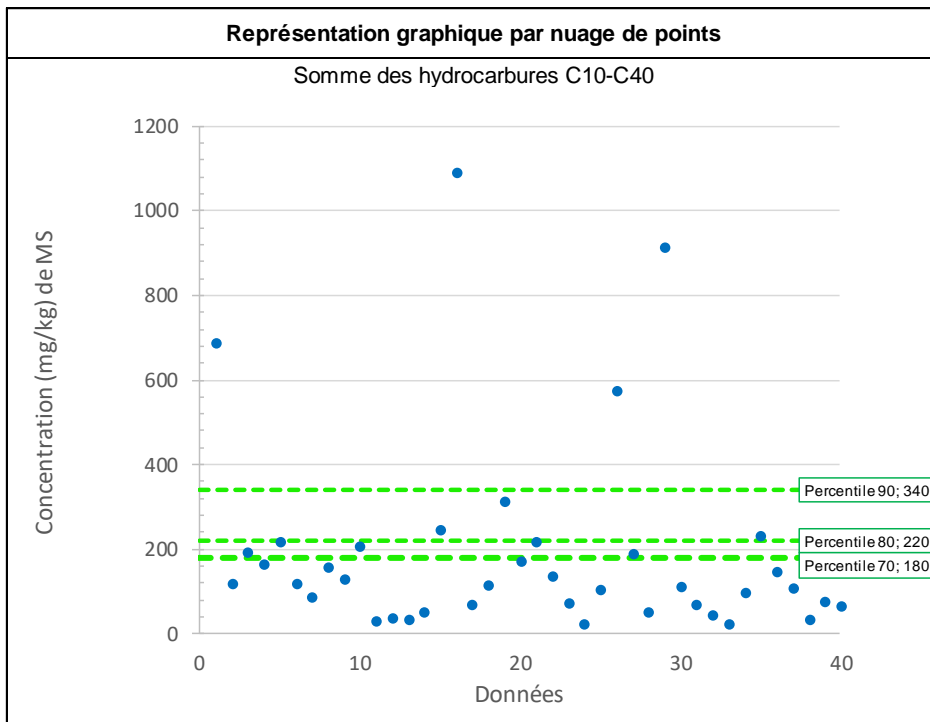


Figure 7 : Répartition des concentrations en HCT

Ces impacts sont diffus et situés au niveau des sondages S1, F3, F11 et F12. Le tableau suivant illustre la surface concernée par ces anomalies. Il est à noter que l’anomalie en S1 est prise en compte dans la gestion de la zone concentrée en HAP.

Tableau 5 : Synthèse des anomalies en HCT

Nom	Sondages concernés	Concentration (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)
HCT	F3	HCT : 1090	287	1 m (entre 0 et 1 m de profondeur)	287
	F11	HCT : 576	188	1 m (entre 1 et 2 m de profondeur)	188
	F12	HCT : 916	246	1 m (entre 1 et 2 m de profondeur)	246
TOTAL					721 m³

À noter que les fractions lourdes (C22-C40) représentent en moyenne environ 80% de la concentration en hydrocarbures. La compatibilité sanitaire de la concentration maximale dans les sols avec le projet sera vérifiée par réalisation d'une analyse prédictive des risques sanitaires.

6.4 Détermination des anomalies en métaux

Des anomalies en métaux supérieures au bruit de fond des sols ordinaires ont été mises en évidence sur la quasi-totalité des sols superficiels de la zone d'étude. Une analyse statistique par métal est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Données statistiques des résultats en métaux dans les sols

	Antimoine (Sb)	Arsenic (As)	Baryum (Ba)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Cuivre (Cu)	Mercuré (Hg)	Molybdène (Mo)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Sélénium (Se)	Zinc (Zn)
Bruit de fond sol ordinaire (mg/kg)	1,50	25,00	3000,00	0,45	90,00	20,00	0,10	-	60,00	50,00	0,70	100,00
Nombre d'échantillon analysé	11	16	11	16	16	16	16	11	16	16	11	16
Nombre d'échantillon > BdF	6	1	0	12	1	15	15		0	16	0	13
Nombre d'échantillon > 2xBdF	4	1	0	4	0	10	14		0	11	0	4
Nombre d'échantillon > 3xBdF	1	0	0	1	0	8	14		0	10	0	4
Moyenne (mg/kg)	8,7	18,9	239,0	0,9	29,3	199,8	1,0	2,4	18,9	263,9	-	304,4
Médiane (mg/kg)	3,5	16,9	121,0	0,7	21,3	62,1	0,8	1,2	15,7	193,0	-	144,0
Centile 75 (mg/kg)	4,4	20,0	268,5	0,9	32,2	78,1	1,0	3,1	25,8	262,5	-	215,3
Cmax (mg/kg)	42,8	67,4	891,0	3,1	129,0	2220,0	3,7	5,0	51,0	1500,0	-	2350,0

D'après le tableau, la totalité des échantillons présente des concentrations supérieures aux bruits de fond national pour au moins un composé. Ces dépassements sont supérieurs à plus de 3 fois le bruit de fond et de plusieurs ordres de grandeur pour certains composés. Aussi, une analyse par bilan de masse pour fixer un objectif de réhabilitation apparaît peu pertinente compte tenu du nombre de données disponibles.

La figure suivante illustre les répartitions des concentrations en principaux métaux. Il en ressort un impact ponctuel et concentré en F9 entre 0 et 1 m de profondeur pour la majorité des composés. Un impact plus diffus en mercure (Hg) est également mis en évidence.

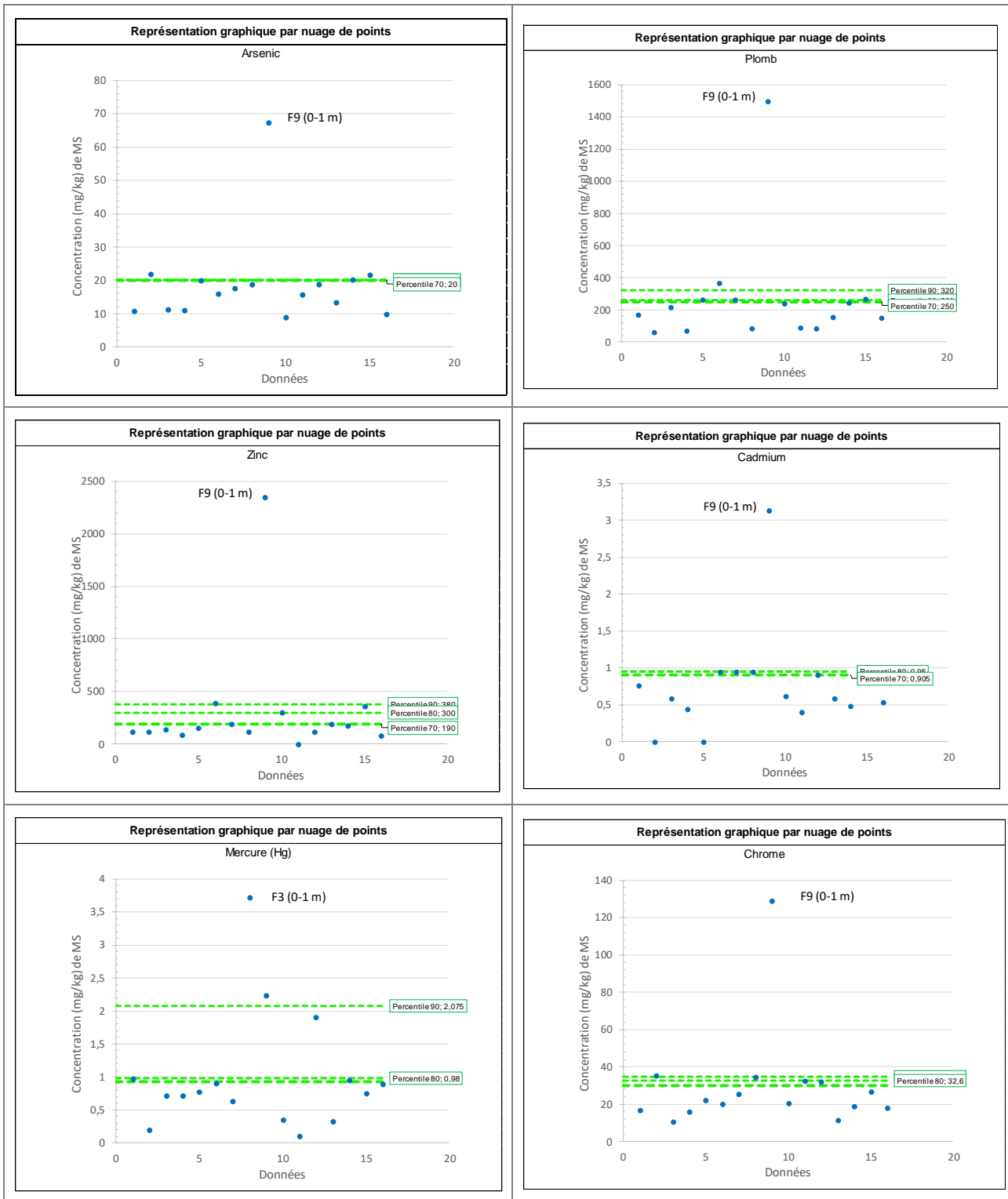


Figure 8 : Répartition des concentrations en métaux dans les sols superficiels

Il est à noter que l'anomalie F3 (0-1 m) est prise en compte dans la gestion des impacts en HCT.
Le tableau suivant illustre la surface de l'impact mis en évidence en F9.

Tableau 7 : Synthèse de l'impact en métaux en F9

Nom	Sondages concernés	Concentration (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)
Impacts en métaux	F9	Pb : 1500 Zn : 2 350 Hg : 2,24 As : 67,4	236	1 m (entre 0 et 1 m de profondeur)	236
TOTAL					236 m ³

7. Plan de gestion du site

7.1 Méthodologie

Les objectifs généraux de la réhabilitation du site ont été déterminés en référence à :

- la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués rédigée par la Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du sol et du sous-sol, en avril 2017 ;
- le guide méthodologique du BRGM « Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices » de juin 2010 ;
- l'expérience de GINGER BURGEAP et les retours d'expérience de la profession sur les techniques de dépollution ;
- le guide ADEME « Taux d'utilisation et coût des différentes techniques et filières de traitement des sols et des eaux souterraines pollués en France » de janvier 2011.

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

Il s'agit donc :

- de traiter autant que techniquement et économiquement possible la (les) zone(s) concentrée(s) mise(s) en évidence, indépendamment de toute notion de risques ;
- pour la pollution résiduelle restant en place après le traitement des zones concentrées :
 - de maîtriser et surveiller sur le long terme la migration de la pollution résiduelle vers l'extérieur du site,
 - de proposer des dispositions constructives, des précautions et/ou des restrictions d'usage garantissant que la pollution résiduelle ne génère pas de risque vis-à-vis des usages et de la nappe.
- de valider, du point de vue sanitaire, les mesures de gestion proposées en fonction des aménagements et des usages pris en compte.

Le plan de gestion est réalisé sur la base des informations recueillies au cours des études précédentes, des reconnaissances complémentaires et de l'aménagement (projet, stade d'avancement et schéma(s) conceptuel(s) associés).

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

7.2 Contraintes liées au projet et aux impacts identifiés

Les caractéristiques des impacts ou les contraintes liées au projet, identifiées à l'issue des diagnostics vont conditionner en partie les scénarios de gestion envisageables sur le site :

- espace disponible : l'espace disponible hors futur bâtiment est très limité ;
- terres impactées : zone non saturée accessible et à faible profondeur ;
- site localisé sur une parcelle inondable. En effet, la zone où le Pz5 devait être implanté était inondée en janvier 2018, le piézomètre a été implanté en mars 2018 après remise en marche du pompage des eaux sur le site ;

- problématique lors de la démolition du bâtiment existant : les analyses de béton ont montré la présence de teneurs de mercure. De plus, les analyses d'air sous dalle ont mis en évidence la présence de concentrations significatives en COHV (TCE) et des anomalies en mercure. Les anomalies en mercure ont également été quantifiées dans les échantillons d'air ambiant en intérieur du bâtiment.

7.3 Sélection des techniques de traitement applicables au site

7.3.1 Présélection des techniques de traitement (hors coût)

Les techniques de traitement sont de trois types :

- in-situ : traitement de la pollution en place dans le milieu où elle se trouve ;
- sur site : traitement sur le site après avoir extrait le matériau pollué (sol) ;
- hors site : traitement dans une filière spécialisée du matériau pollué extrait.

Dans la plupart des cas, il n'existe pas de schéma type de traitement mais diverses techniques éprouvées pourront être associées pour obtenir un résultat quantifiable. Le traitement pourra être adapté en cours de réhabilitation pour optimiser son efficacité. Cependant, une simplicité dans la mise en œuvre du traitement sera recherchée : une technique simple et éprouvée est toujours préférable à une technique sophistiquée qui limiterait le nombre d'entreprises répondant à une consultation et qui complexifierait la maintenance du dispositif.

Dans un premier temps, une présélection des techniques de traitement a été réalisée afin d'identifier celles potentiellement applicables au site, tenant compte des critères sus mentionnés.

Une revue initiale des technologies disponibles est faite conformément aux traitements listés dans la norme AFNOR X31-620-3 et 4. Le tableau suivant liste les solutions de gestion adaptées à la problématique (surlignées en vert dans le **Tableau 8**).

Tableau 8 : Synthèse des techniques de traitement envisageables

Codification AFNOR (NFX31-620-4)	TECHNIQUE	Adapté à la problématique		Raison pour laquelle la technique <u>N'EST PAS ADAPTEE</u> à la problématique												
		Oui	Non	Polluant				Nature du milieu					Autres critères d'exclusion			
				Constante de Henry (H)	Pression de vapeur (Pv)	Réactivité	Phase libre mobile	ZS	ZNS	Perméabilité (K)	Teneur en matière organique	Limitation liée au pH, au redox, O2 dissous, aux donneurs ou accepteurs d'électrons	Absence d'action sur la source	Accessibilité de la source	Impératif de temps	Place disponible
Techniques de traitement in situ (avec traitement sur site des polluants récupérés)																
Méthodes physiques par extraction de la pollution in situ																
C311																
C311a	Ventilation de la zone non saturée in situ (venting)		X		X										X	
C311b	Extraction multiphase in situ		X				X (absence)									
C311c	Barbotage in situ / sparging in situ		X						X							
C311d	Pompage et traitement in situ		X						X							
C311e	Pompage et écrémage in situ		X						X							
Méthodes physiques par piégeage de la pollution in situ																
C312																
C312a	Confinement par couverture et étanchéification in situ	X														
C312b	Confinement vertical in situ		X										X	X		
C312c	Piège hydraulique ou confinement hydraulique in situ		X						X							
C312d	Solidification/stabilisation in situ		X										X			
Méthodes chimiques in situ																
C313																
C313a	Lavage in situ		X			X										
C313b	Oxydation chimique in situ		X											X		
C313c	Réduction chimique in situ		X			X								X		
Méthodes thermiques in situ																
C314																
C314a	Désorption thermique in situ		X											Technique onéreuse à mettre en œuvre pour les volumes en jeu		
Méthodes biologiques in situ																
C315																
C315a	Biodégradation dynamisée (ou atténuation naturelle dynamisée) in situ		X						X							
C315b	Bioventing in situ		X													
C315c	Biosparging in situ		X						X							
C315d	Phytoremédiation in situ		X											X		
Autres techniques in situ																
C316																
C316a	Barrière perméable réactive in situ - système mur		X						X	Absence de transfert vers l'aval						
C316b	Barrière réactive in situ - système porte		X						X	Absence de transfert vers l'aval						
Techniques de traitement sur site (avec traitement sur site des polluants récupérés)																
Méthodes physiques par évacuation de la pollution sur site																
C321																
C321a	Excavation des sols sur site	X				adaptée à tous les polluants										
C321b	Tri granulométrique sur site		X											Faible volume en jeu		
C321c	Lavage à l'eau sur site		X											Faible volume en jeu		
Méthodes physiques par piégeage de la pollution sur site																
C322																
C322a	Encapsulation sur site		X										X			
C322b	Solidification/ stabilisation sur site		X										X			
Méthodes thermiques sur site																
C324																
C324b	Désorption thermique sur site		X											Technique onéreuse à mettre en œuvre pour les volumes en jeu		
Méthodes biologiques sur site																
C325																
C325a	Bioréacteur sur site		X													
C325b	Bioterre sur site		X			Peut être envisagée pour les HAP								Faible volume en jeu		
C325d	Landfarming sur site		X											X	X	

Suite à cette étape de tri, les techniques qui semblent le mieux convenir pour le traitement de la zone de pollution concentrée sur le site sont :

- confinement par couverture ;
- excavation des sols et gestion hors site.

7.3.2 Description des techniques retenues

7.3.2.1 Solution n°1 : Confinement - Code AFNOR C321a



Confinement par couverture et étanchéification de surface (C312 a) et confinement vertical in situ (C312 b)

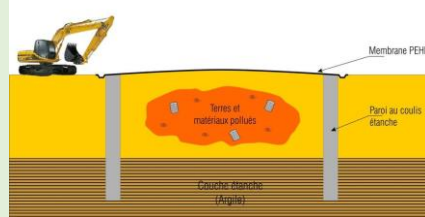
Principe



Les confinements physiques ont pour but d'empêcher la migration des polluants sous forme de poussière, dissoute organique ou gazeuse en dehors du lieu contaminé

Comment ça marche?

Schéma de principe du confinement in situ

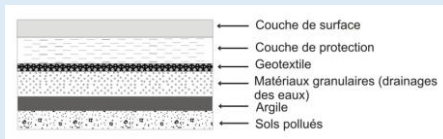


Le confinement est une méthode physique par piégeage de pollution. Le confinement physique consiste à isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation. On distingue

- le confinement par simple couverture de surface
- le confinement vertical (parois moulées, palpeuilles,...)
- le confinement hydraulique

Comment on fait?

Confinement par couverture et étanchéification de surface



Le but de l'isolation de surface est un confinement des sols souillés afin d'empêcher ou limiter la percolation des eaux de pluie à travers la zone non saturée, puis l'infiltration des eaux souillées vers les eaux souterraines et superficielles.

Le confinement de la pollution permet de prévenir la contamination vers les cibles identifiées (humain, faune, flore). En fonction des enjeux identifiés, l'isolation de surface pourra mettre en jeu différents types de couverture (simple ou multicouche)

Confinement vertical




Le but du confinement vertical consiste à mettre en place une barrière étanche (palplanche en PEHD, soil mixing, injection de coulis,...) entre la source de pollution et les eaux souterraines et superficielles. Le confinement vertical permet également le renforcement de la stabilité mécanique du stockage. En fonction des conditions environnementales et des enjeux à protéger, les confinements verticaux peuvent être implantés au pourtour, en aval ou en amont de la source de pollution.


Avec quels moyens?

- Engins d'excavation : pelle mécanique, tractopelle, camion, benne preneuse
- Engins d'étanchéification : vibrofonçage, engins de malaxage, pieux sécants ou disjoints, dispositif de levage et de déroulage de géomembrane...
- Couverture avec une couche de sable-bentonite, d'argile naturelle
- Couverture avec du géotextile
- Couverture avec de la géomembrane en PEHD
- Dispositif de drainage des gaz (dispositif de traitement des gaz si besoin)


7.3.2.2 Solution n°2 : Excavation et traitement hors site - Code AFNOR C321a



Excavation et traitement hors site (C321 a)



Principe




Cette technique consiste à excaver une source de pollution délimitée accompagnée d'actions complémentaires afin de traiter et/ou stocker les terres excavées. Il s'agit de la méthode la plus radicale, la plus simple et souvent la plus rapide pour supprimer une source de pollution.

Comment ça marche?

Sur la base des investigations réalisées, un plan du maillage de terrassement est effectué en fonction de la qualité des terres inertes ou polluées suivant la nature du polluant et le degré de pollution.

Un tri est réalisé sur terrain et suivant un maillage prédéfini, sous contrôle d'un ingénieur environnementaliste. Les terres excavées sont ensuite orientées vers un stockage temporaire avant transfert vers les installations de stockage/traitement ou évacuées directement vers ces filières.



Comment on fait?

Travaux préparatoires / Excavation

Au démarrage du chantier, des aires de stockage temporaires étanches peuvent être aménagées pour une meilleure gestion des flux. Durant les travaux de terrassement, un tri des terres est réalisé en fonction de leur degré de pollution avec une orientation vers les zones stockages spécifiques (observations organoleptiques, mesures PID ou analyses de laboratoire).

Dans certains cas, un tri granulométrique (concassage / criblage) permet d'optimiser les quantités de terres à traiter. Dans certains cas, les travaux d'excavation devront être réalisés avec blindage des fouilles et/ou talutage. Si les eaux souterraines sont interceptées par les excavations, une gestion spécifique de ces eaux est à prévoir.

Evacuation

Un certificat d'acceptation préalable (CAP) doit être établi préalablement à l'évacuation des terres vers la filière choisie.

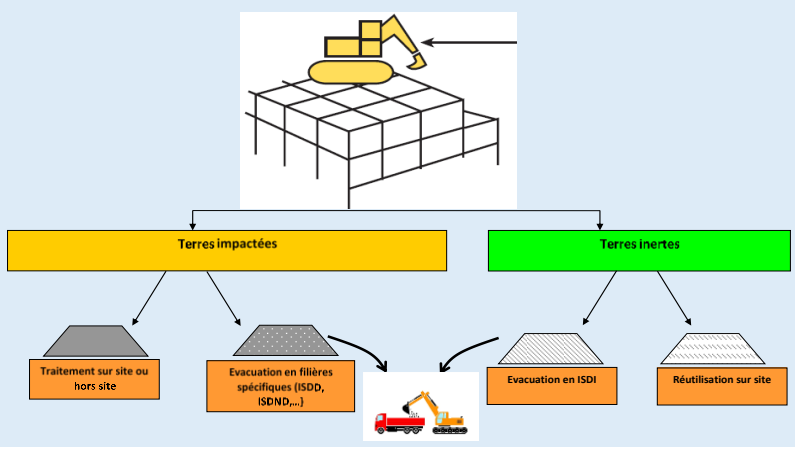
L'évacuation des déblais devra être accompagnée de l'établissement des bordereaux de suivi de déchets (BSD) pour chaque camion, confirmant la traçabilité de l'évacuation des déchets issus du site.

En fin de chantier, des échantillons en fonds et en flancs de fouille sont prélevés et analysés afin de valider que les seuils de dépollution sont bien atteints.


Remblaiement

Après contrôle et réception des bords et fond de fouille, les excavations seront remblayées par des terres d'apport saines.

Orientation des terres excavées en fonction de leur nature



Possibilité de valorisation des terres excavées



Avec quels moyens?

- Engins de travaux publics : pelle mécanique, tractopelle, camions bâchés (dans certains cas habilités à contenir des déchets ou à respecter la réglementation du Transport de Matières Dangereuses (TMD)) ;
- Blindage/ pompage de nappe si besoin
- Unité de tri granulométrique (cribleur / concasseur)
- Aménagement d'aire de stockage temporaire (géotextile, géomembrane,...)
- Tente ventilée en cas de fortes odeurs (COV)
- Système de brumisation pour limiter l'envol de poussières

7.4 Mesures constructives en lien avec la validation sanitaire des seuils de coupure

7.4.1 Enjeux à prendre en compte

Les techniques de traitement décrites ci-avant laisseront subsister dans les sols et la nappe, des impacts résiduels qui ne pourront pas être gérés par d'autres opérations de traitement.

Des mesures constructives sont donc nécessaires pour s'assurer que la qualité des milieux d'exposition sera compatible avec les usages projetés.

Les enjeux à prendre en compte pour le site de la chaufferie sont les suivants :

- Impact résiduel en HAP au droit de la zone source, pouvant conduire à une dégradation de la qualité de l'air intérieur des futurs bâtiments ;
- Impact résiduel en métaux et HAP au droit des futurs espaces extérieurs, pouvant conduire à une exposition des usagers par inhalation de poussières ou ingestion de sol ;
- Impact résiduel en HCT et HAP dans les sols pouvant par perméation au travers des canalisations altérer la qualité de l'eau distribuée par le réseau AEP du site.

7.4.2 Protection des usagers en extérieur

Les sols de surface sur la majeure partie du site présenteront après traitement des concentrations résiduelles en métaux qui doivent faire l'objet de mesures de gestion particulières pour limiter les risques sanitaires associés au contact direct avec ces sols (inhalation et ingestion de ces polluants).

Pour cela, un recouvrement de surface adapté aux usages devra être mis en œuvre.

7.4.3 Protection des réseaux AEP

Certains polluants peuvent pénétrer dans les réseaux de distribution d'eau potable si le matériau constitutif des canalisations n'est pas adapté.

Dans le cas du site de la chaufferie, les polluants résiduels (HCT et HAP) sont susceptibles d'altérer la qualité de l'eau potable distribuée sur le site.

Pour limiter ce phénomène, les canalisations AEP devront être installées en dehors des zones de pollution résiduelles et devront être constituées d'un matériau multicouche anti-perméation.

7.5 Mesures de gestion générales considérées

Compte tenu de la présence de sols impactés ou non inertes au droit de la zone étudiée, il a été considéré les hypothèses suivantes :

- aucune cote de terrassement au droit des pollutions concentrées n'a été considérée à ce stade ;
- les extensions verticales des contaminations ont été définies sur la base des résultats d'analyses et des indices macroscopiques fournies dans le cadre de cette étude ;
- concernant les volumes, il a été considéré des m³ de matériaux en place (donc **non foisonnés**) ;
- la masse volumique retenue pour les matériaux est de 1,8 t/m³ ;
- quand il n'y a pas d'information sur le caractère inerte des matériaux et que la lithologie diverge des horizons sus-jacents et sous-jacents, il est considéré que les remblais sont non inertes et que le terrain naturel est inerte (hors zones pollués) ;

- aucune contrainte technique de terrassement telle que des blindages, confortement, talutages plus contraignants que 1H/1V ou rampes d'accès n'est prise en compte.

7.6 Elaboration des scénarios de gestion envisageables pour le site

Compte tenu des impacts sur site et des contraintes liées à l'aménagement, nous proposons pour la gestion du site trois scénarios qui découlent d'objectifs différents :

- **Scénario 1** : purge de la pollution concentrée en HAP, des impacts en hydrocarbures et en métaux identifiées et recouvrement de surface des espaces extérieurs ;
- **Scénario 2** : purge de la pollution concentrée en HAP située à l'ouest du futur bâtiment et confinement de surface des autres impacts en HAP, HCT en métaux ;
- **Scénario 3** : confinement de l'ensemble des zones impactées (confinement de surface), et mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines.

7.7 Chiffrage des scénarios de gestion

Les scénarios envisagés pour la gestion du site sont décrits ci-après. Les estimations financières restent sommaires et ont vocation à constituer un des critères pour permettre le choix ultérieur du Maître d'Ouvrage.

Ces chiffrages ne prennent pas en compte les coûts de la maîtrise d'œuvre et du plan de conception des travaux (mission PCT).

À noter que les critères et procédures d'admission des déchets dans les centres de stockage ou de traitement sont définis par la réglementation en vigueur et par les conditions d'acceptation propres à chaque installation (établies par arrêté préfectoral). Aussi, les coûts considérés pour les évacuations hors site sont susceptibles de varier. En effet, chaque centre dispose de ses propres seuils d'acceptation qui sont fixés en considérant notamment le potentiel de lixiviation des matériaux. Une demande d'acceptation préalable des terres ou des déchets doit être faite auprès de ces installations avant toute évacuation.

7.7.1 Scénario 1

Ce scénario consiste à purger et évacuer hors site les différents impacts mis en évidence en HAP, HCT et en métaux et en absence de plan de conception du futur projet, le recouvrement des espaces extérieurs par 30 cm de terres d'apport saines. Ces terres d'apport seront séparées des sols en place par un géotextile.

Tableau 9 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°1

		Hypothèse Volume : HAP, HCT, métaux (1 185 m ³)			
		U	Q	PU € HT	Total € HT
1	Prix généraux				
1.1	Préparation, études d'exécution, installation de chantier, constat d'huissier, piquetage, levés topographiques, remise en état, DOE	F	1	8 000	8 000
2	Excavation et tri des matériaux				
2.1	Préparation, entretien et repli des plateformes de stockage	F	1	10 000	10 000
2.2	Excavation et tri des sources concentrées, transfert sur site	m ³	1 185	11	13 035
2.3	Caractérisation des déblais (1 analyse pour 50 m ³)	U	24	130	3 120
2.4	Echantillonnage et analyses en laboratoire accrédité de fond et flancs de fouille :				
2.4.1	HAP	U	8	25	200
2.4.2	HCT	U	24	16	384
2.4.3	8 métaux et métalloïdes	U	8	18	144
2.5	Remblaiement et compactage				
2.5.1	Remblaiement par des terres d'apport saines	m ³	1 185	60	71 100
2.5.2	Compactage de remblais (yc contrôle de compactage)	F	1	7 500	7 500
2.6	Gestion des eaux de fouille	F	pm	10 000	pm
3	Mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines				
3.1	Reprise et élimination des matériaux pollués en HCT et HAP (biotraitement)	t	1 708	90*	153 720
3.2	Reprise et élimination des matériaux pollués en métaux (ISDI Aménagée)	t	425	25*	10 625
4	Recouvrement des espaces extérieurs				
4.1	Apport de terres saines pour recouvrement de surface sur 30 cm et mise en forme avec mise en place d'un géotextile (surface extérieure 3 000 m ²)	m ³	900	50*	45 000
5	Aléa				
5.1	Aléa = 20%	F	1		64 566
TOTAL estimé					387 394

La filière retenue pour l'évacuation des terres impactées en métaux en F9 (0-1 m) a été choisie sur la base des résultats d'analyses conformément à l'arrêté du 12/12/2014 disponibles dans le plan de gestion réalisé par l'APAVE.

7.7.2 Scénario 2

Ce scénario consiste à purger et évacuer hors site la pollution concentrée en HAP située au droit de la zone d'étude (ouest du bâtiment) permettant d'améliorer la qualité du milieu souterrain et en absence de plan de conception du futur projet, le recouvrement de tous les espaces extérieurs par 30 cm de terres d'apport saines. Ces terres d'apport seront séparées des sols en place par un géotextile.

Tableau 10 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°2

		Hypothèse Volume : HAP (228 m ³)			
		U	Q	PU € HT	Total € HT
1	Prix généraux				
1.1	Préparation, études d'exécution, installation de chantier, constat d'huissier, piquetage, levés topographiques, remise en état, DOE	F	1	7 000	7 000
2	Excavation et tri des matériaux				
2.1	Préparation, entretien et repli des plateformes de stockage	F	1	8 000	8 000
2.2	Excavation et tri des sources concentrées, transfert sur site	m ³	228	11	2 508
2.3	Caractérisation des déblais (1 analyse pour 50 m ³)	U	5	130	650
2.4	Echantillonnage et analyses en laboratoire accrédité de fond et flancs de fouille :				
2.4.1	HAP	U	8	25	200
2.5	Remblaiement et compactage				
2.5.1	Remblaiement par des terres d'apport saines	m ³	228	60	13 680
2.5.2	Compactage de remblais (yc contrôle de compactage)	F	1	2 500	2 500
2.6	Gestion des eaux de fouille	F	pm	10 000	pm
3	Mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines				
3.1	Reprise et élimination des matériaux pollués	t	410	90*	36 900
4	Recouvrement des espaces extérieurs				
4.1	Apport de terres saines pour recouvrement de surface sur 30 cm et mise en forme avec mise en place d'un géotextile (surface extérieure 3 000 m ²)	m ³	900	50*	45 000
5	Aléa				
5.1	Aléa = 20%	F	1		23 288
TOTAL estimé					139 726

* : tarif à confirmer dans le cadre de la conception des travaux

7.7.3 Scénario 3

Ce scénario consiste à mettre en place un recouvrement des espaces extérieurs par 30 cm de terres d'apport saines au droit des espaces verts envisagés : ces terres d'apport seront séparées des sols en place par un géotextile. Sur le reste du site (hors emprise du bâtiment), le recouvrement des sols sera conservé par de l'enrobé. Ces mesures consisteront à maintenir les pollutions confinées sur site.

Afin de confirmer la maîtrise des pollutions identifiées, il conviendra de mettre en place un programme de surveillance des eaux souterraines, dans les ouvrages piézométriques présents sur site (PZ1, PZ4 et PZ5 a minima). Cette surveillance devra être effectuée de manière semestrielle (périodes de basses eaux et de hautes eaux), sur une durée minimale de 4 années, qui pourra être reconductible selon les recommandations à l'issue du bilan quadriennal.

A noter que les piézomètres doivent rester des ouvrages pérennes. Il incombera à l'exploitant de les conserver en bon état et de permettre l'accès aux piézomètres pour réaliser les prélèvements dans les règles de l'art.

Tableau 11 : Estimation des coûts du scénario de gestion n°3

		Hypothèse Surface de recouvrement des extérieurs : 3 000 m ²			
		U	Q	PU € HT	Total € HT
1	Prix généraux				
1.1	Préparation, études d'exécution, piquetage, levés topographiques, DOE	F	1	5 000	5 000
2	Recouvrement des espaces extérieurs - confinement des terres				
2.1	Apport de terres saines pour recouvrement de surface sur 30 cm et mise en forme avec mise en place de géotextile (surface estimée à 3 000 m ²)	m ³	900	50*	45 000
3	Mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines				
3.1	Réalisation de 2 campagnes semestrielles par an pour prélèvement des 3 ouvrages présents sur site par un technicien spécialisé. Mesures de terrain, prises d'échantillons. Analyses des HCT C5-C40, HAP, BTEX, COHV, 8 métaux. Rédaction d'un rapport de suivi des eaux avec comparaisons des données avec les campagnes précédentes, et cartographies associées (dont carte piézométrique).	Année	4	8 000	32 000
3.2	Réalisation d'un bilan quadriennal à l'issue des 4 années de suivi, conclusions et recommandations	U	1	3 500	3 500
3.3	Entretien et pérennisation des piézomètres présents sur site (hors réfection, régénération ou remplacement d'ouvrage)	U/an	4	500	2 000
4	Aléa				
4.1	Aléa = 20%	F	1		17 500
TOTAL estimé					105 000

* : tarif à confirmer dans le cadre de la conception des travaux

7.8 Sélection des critères et sous-critères pour la cotation des scénarios de gestion

Compte-tenu des données d'entrée, les critères retenus et les enjeux identifiés sont les suivants :

Tableau 12 : Critères et pondération retenus pour le bilan coûts / avantages des scénarios de gestion

Famille de critères	Pondération	Critères	Descriptif du critère
Critères économiques	5	Coût de traitement	Spécifique au traitement retenu
		Surveillance	Suivi lors des travaux ou post travaux
		Travaux annexes	Travaux nécessaires pour la mise en œuvre du traitement (blindage, création d'ouvrages pour du traitement in-situ ou d'aires dédiées pour du traitement sur site)
		Etudes complémentaires	Acquisition de données pour conforter le traitement, réalisation de dossier de demande de servitude
Durée	2	Durée du traitement	Durée de traitement hors surveillance
Critères techniques	3	Fiabilité	Robustesse de la technique, antériorité de son utilisation
		Atteinte des objectifs	Efficacité du traitement
Critères socio-politiques	2	Acceptabilité sociale	Incidence des travaux sur la qualité des milieux (eaux souterraines, superficielles, sols, gaz du sol et air atmosphérique) Incidence des travaux sur la qualité de vie des riverains et sur leurs activités
Critères environnementaux	3	Emissions des gaz à effet de serre	Trafic routier, consommation énergétique du traitement
Critères juridiques et réglementaires	1	Impact sur le projet : Contraintes résiduelles (restrictions d'usage, surveillance)	Selon le traitement qui sera mis en place, des impacts résiduels pourront être présents dans les sols et les eaux souterraines. La responsabilité à long terme du MOA concernant cette pollution résiduelle est-elle compatible avec le devenir du site (propriété, usage, réalisation de suivis).

7.9 Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion

Le bilan coûts / avantages s'attache à comparer les différentes solutions envisagées par rapport au gain environnemental et économique.

Le tableau ci-dessous présente une évaluation des techniques proposées en fonction de 5 critères pondérés. Le détail de chaque critère est présenté en **Annexe 2**.

Tableau 13 : Bilan coûts/avantages

	Critère économique	Délai	Critère technique	Critère socio-politique	Critère environnemental	Critère juridique	TOTAL
Pondération	5	2	3	2	3	1	
Scénario 1 : Excavation des impacts en HAP, HCT et métaux avec recouvrement des espaces extérieurs	5	8	12	8	3	3	39
Scénario 2 : Excavation des impacts en HAP et recouvrement des espaces extérieurs	15	8	9	6	6	3	47
Scénario 3 : confinement de l'ensemble des zones impactées, et mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines.	20	6	9	2	6	1	44

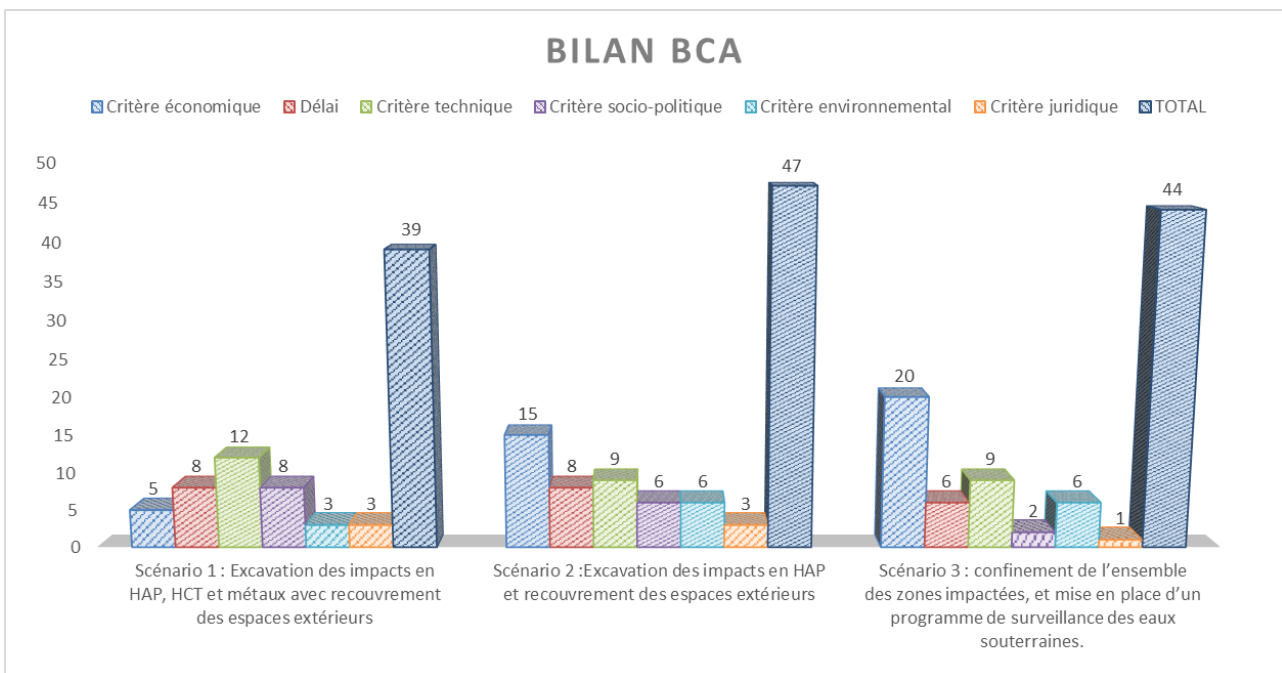


Figure 9 : Graphique de synthèse du bilan coûts/avantages

Selon le bilan coûts-avantages, il ressort que les scénarii 2 et 3 avec l'excavation de l'impact en HAP (traitement hors site et le recouvrement des espaces extérieurs), ainsi que le confinement avec mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines apparaissent les plus avantageux.

7.10 Plan d'actions proposé

La méthodologie des travaux proposée vise à supprimer ou confiner la zone concentrée en HAP.

7.10.1 Description des travaux prévus

7.10.1.1 Opérations préalables

Les opérations préalables comprendront :

- la gestion administrative des travaux ;
- l'installation et la préparation du chantier ;

avec pour le traitement hors site :

- la création d'aires de stockage temporaire ;
- le levé géomètre (piquetage) avant et après excavation ;
- l'implantation du maillage de terrassement ;
- la réalisation d'un plan de terrassement pour affiner les volumes et les filières d'évacuation.

7.10.1.2 Contenu des travaux

En ce qui concerne les travaux d'élimination hors site (HAP), l'ensemble des travaux suivra la même méthodologie et comprendra après implantation du maillage :

- une phase de terrassement pleine masse sans talutage ni blindage, la profondeur maximale d'excavation étant de 1,5 m d'après les sondages réalisés. Les surfaces et volumes considérés sont détaillés dans les tableaux présentés ci-avant. Le tonnage de terres associé a été calculé en considérant une densité apparente de 1,8 ;
- la réalisation de contrôle de fond et bords de fouille. Deux (02) échantillons par bord et fond de fouille sont recommandés au vu de l'usage ;
- le remblaiement des terres à la cote du terrain naturel. La pose d'un grillage avertisseur est recommandée préalablement au remblaiement pour distinguer les terres en place des remblais rapportés.

7.10.1.3 Récolement

A l'issue des travaux de traitement, un dossier de récolement devra être rédigé.

Il comprendra, à minima, les éléments suivants :

- le détail des opérations réalisées ;
- le bilan des déchets éliminés hors site ;
- les types d'analyses effectuées sur les différents milieux, ainsi que la localisation précise des prélèvements de contrôle ;
- les résultats du suivi environnemental.

7.10.1.4 Gestion des déchets de démolition

Seules des traces en mercure ont été quantifiées dans les bétons du bâtiment. Lors de la démolition, les matériaux devront être triés selon leur nature et évacués en centre de valorisation spécifique. Un concassage sur site peut être envisagé pour compléter les besoins en remblais inertes.

Toutefois, des concentrations en composés volatils (COHV) ont été mesurées dans l'air sous-dalle. Nous recommandons la protection spécifique des travailleurs par le port de masques à cartouche à ventilation assistée vu la présence de polluants volatils (COHV : TCE,) et en tenant compte des valeurs limites d'exposition professionnelle (par exemple : VME1 (TCE) = 75 ppmV et VLCT2 (TCE) = 200 ppmV).

7.10.2 Préconisations spécifiques aux travaux de traitement

Les préconisations spécifiques décrites ci-après sont valables pour l'ensemble des techniques de traitement retenues.

7.10.2.1 Contrôle des travaux

Conformément aux prescriptions de la méthodologie nationale, les travaux de traitement des sols impactés pourront être contrôlés par un organisme extérieur (assistant à maître d'ouvrage ou maître d'œuvre par exemple).

Un suivi de la qualité des sols, des eaux souterraines et des gaz du sol sera mis en place au cours des travaux de traitement afin de vérifier le bon déroulement des techniques de traitement employées.

7.10.2.2 Mesures de protection des travailleurs

Lors des excavations, des mesures de protection des travailleurs devront être assurées afin d'éviter le contact direct des travailleurs avec les terres impactées.

Le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et sécurité du domaine du BTP devra être assuré, afin de réduire, autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air.

L'entreprise devra intégrer dans le PPSPS les mesures spécifiques liées aux travaux de terrassement.

Les recommandations en termes d'équipements de protection individuelle en présence de sols impactés sont les suivantes :

- port des chaussures ou bottes de sécurité ;
- port de gants ;
- si besoin, port de masque respiratoire filtrant pour limiter l'inhalation de poussières ou port de masques à cartouche à ventilation assistée vu la présence de polluants volatils et en tenant compte des valeurs limites d'exposition professionnelle (par exemple : VME¹ (TCE) = 75 ppmV et VLCT² (TCE) = 200 ppmV).

Les équipements de protection individuelle seront mis à la disposition des différents intervenants. Leurs modalités d'utilisation feront l'objet d'une séance d'information spécifique donnée à chaque intervenant sur site.

En cas de découverte inopinée de polluants volatils (terres présentant des indices organoleptiques de pollution (odeurs, couleurs, irisation...), le port de masques respiratoires filtrant adaptés au produit identifié, filtrant les gaz et les particules sera prescrit.

Enfin, la société devra prendre en compte le contexte d'hygiène et de santé lié au COVID19 et mettre en œuvre les dispositions nécessaires décrites dans le guide de l'OPPBTP³.

¹ VME : Valeur Moyenne d'Exposition

² VLCT : Valeur Limite de Courte Durée

³ Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics

7.10.2.3 Limitation des nuisances

L'entreprise devra porter une attention particulière afin de limiter au maximum les nuisances que pourraient occasionner les travaux de terrassement envers les riverains.

Ainsi, les mesures suivantes seront mises en place lors de la réalisation des travaux de terrassement :

- nettoyage régulier des éventuelles salissures sur la voirie afin d'éviter la dispersion des polluants ;
- limitation des nuisances au voisinage concernant les poussières et les odeurs :
 - bâchage des camions après chargement des terres ;
 - arrosage des pistes de circulation afin d'éviter l'envol de poussières par temps sec.

8. Schéma conceptuel d'usage futur après travaux

Le schéma conceptuel (cf. **Figure 9** ci-après), établi sur la base de nouvel usage prévu (cf. **paragraphe 4**) est présenté de façon à visualiser :

- la ou les sources de pollution ;
- les voies de transfert possibles et les milieux d'exposition ;
- les cibles potentielles ;
- les milieux d'exposition.

Il est détaillé dans les paragraphes suivants.

Rappelons que le risque est la combinaison de trois paramètres : une source, une voie de transfert et d'une cible. Dans la mesure où l'un de ces trois paramètres n'existe pas, le risque est supprimé.

► Usage pris en compte/environnement du site

Le projet de réaménagement n'est pas encore précisément défini, mais les principales orientations sont déjà largement précisées et indiquées dans le **paragraphe 4**.

En particulier, il est retenu pour le schéma conceptuel les usages suivants :

- bâtiment : chaufferie biomasse ;
- espaces verts, voirie et parking.

► Géologie et hydrogéologie

La succession lithologique au droit du site est la suivante :

- remblais graveleux sableux et argileux avec parfois des morceaux de tuiles entre 0 et 1,9 m de profondeur ;
- argiles grises entre 1,9 et 2,7 m de profondeur ;
- argiles tourbeuses entre 2,7 et 3 m de profondeur.

Une nappe a été rencontrée dans les remblais superficiels à environ 0,63 m de profondeur par rapport au sol au droit de Pz5. Aucun usage sensible des eaux souterraines n'a été recensé en aval proche de la zone d'étude.

► Sources de pollution

Au terme des travaux, subsisteront dans les sols :

- une pollution diffuse en métaux dans les remblais ;
- des impacts résiduels en polluants organiques, mais non concentrés : HCT, HAP si l'une des solutions 1 ou 2 est choisie.
- des impacts résiduels avec des spots ponctuels de zones sources concentrées mais confinées et maîtrisées par la surveillance des eaux souterraines si la solution 3 est choisie.

► Enjeux à considérer

Les enjeux à considérer **sur site** sont les futurs usagers du site (travailleurs de la chaufferie, utilisateurs des espaces verts).

Aucun enjeu hors site n'a été retenu.

► Voies de transfert depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition

Une fois le site réaménagé, l'ensemble du site sera recouvert d'un revêtement spécifique (dalle béton, enrobé, terre végétale saine).

Aussi, les seules voies de transfert à considérer sur le site dans son usage futur sont ;

- la volatilisation des composés volatils ;
- la perméation des composés vers les canalisations d'eau potable. Cette voie est toutefois considérée comme négligeable puisque les nouvelles canalisations seront posées dans les règles de l'art, avec des matériaux anti-perméation.

► Voies d'exposition

La seule voie d'exposition à considérer est par conséquent l'inhalation de composés volatils issus du milieu souterrain.

Tableau 14 : Voies d'exposition retenues

VOIES D'EXPOSITION	Chaufferie biomasse	RAISON DE LA SELECTION
	Usagers travailleurs Adultes	
Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Du fait de la présence de composés volatils dans les sols et les eaux souterraines.
Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	En raison de la couverture des sols (dallage, bâtiment et terre végétale), l'inhalation de poussières ne peut plus se produire
Inhalation de vapeur d'eau polluée*	Non	Les personnes travaillant sur site peuvent être exposées via les conduites d'amenée d'eau potable. Les conduites AEP seront mises en place dans des sablons propres et seront en matériaux anti-perméation.
Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	En raison de la couverture des sols (dallage, bâtiment et terre végétale), l'ingestion directe de sol et/ou de poussières ne peut plus se produire
Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur ou à proximité du site	Non	Absence de culture actuellement et dans le futur sur site ou dans le voisinage
Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés ou pêchés à proximité du site	Non	Absence d'élevages actuellement et dans le futur sur site ou dans le voisinage
Ingestion d'eau contaminée	Non	Les personnes travaillant sur site peuvent être exposées via les conduites d'amenée d'eau potable. Les conduites AEP seront mises en place dans des sablons propres et seront en matériaux anti-perméation.
Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**
Absorption cutanée d'eau contaminée (bain, douche, baignade en gravière)	Non	Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**
Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Voie d'exposition négligeable devant la voie inhalation de vapeur. Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique

* voie d'exposition considérée par la comparaison entre les concentrations dans les eaux utilisées et les concentrations maximales admissibles dans les eaux potables (voir paragraphe des investigations sur les eaux souterraines).

** Les expositions par contact cutané avec les sols ne sont pas considérées dans la présente étude compte tenu de l'absence de valeur toxicologique de référence pour cette voie d'exposition. En effet, comme cela est préconisé dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, en l'absence de connaissance des effets potentiels des substances étudiées par voie cutanée, la transposition de la valeur toxicologique établie par voie orale n'est pas effectuée

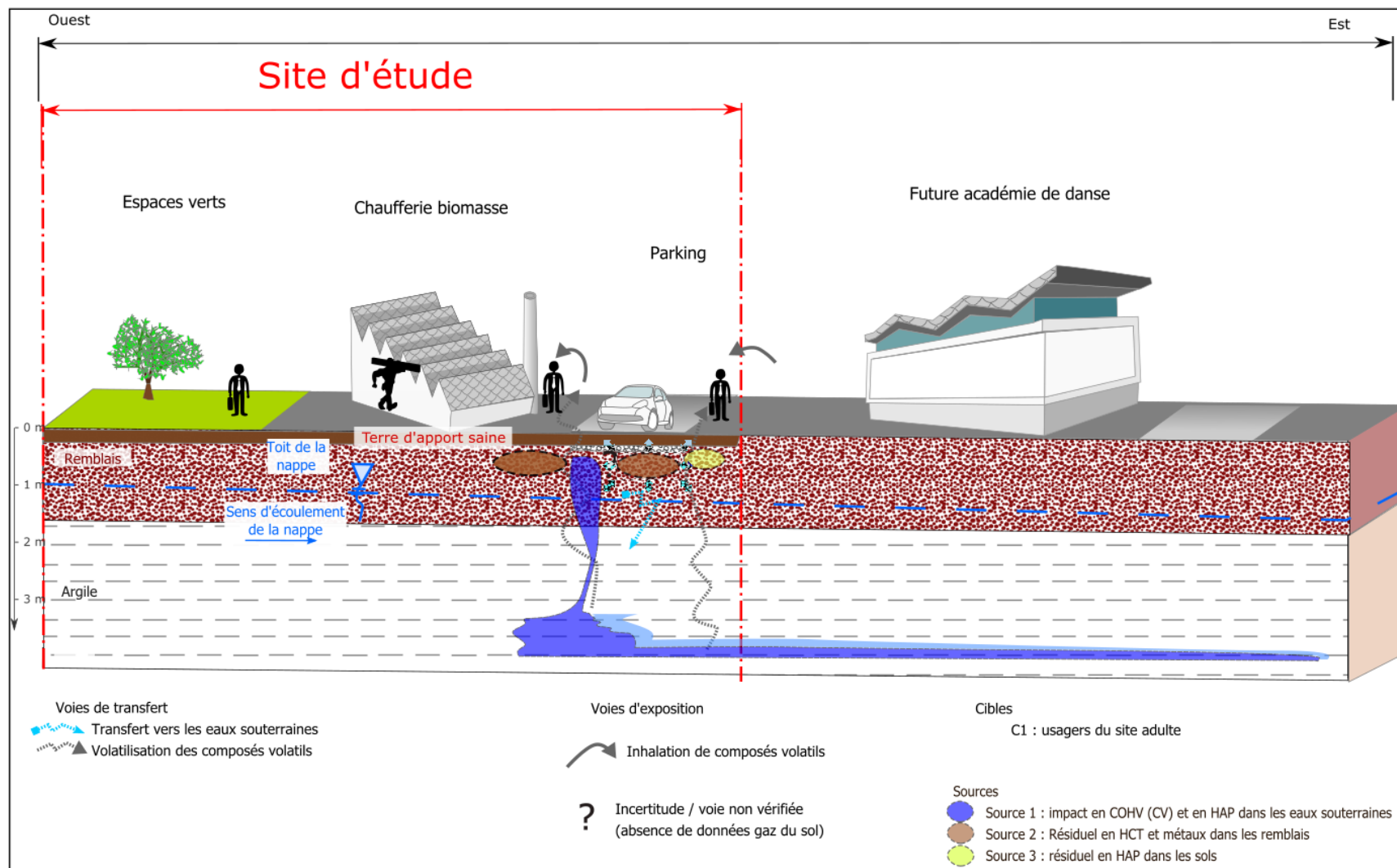


Figure 10 : Schéma conceptuel d'usage futur (à l'issue des mesures de gestion des scénarios 1 ou 2)

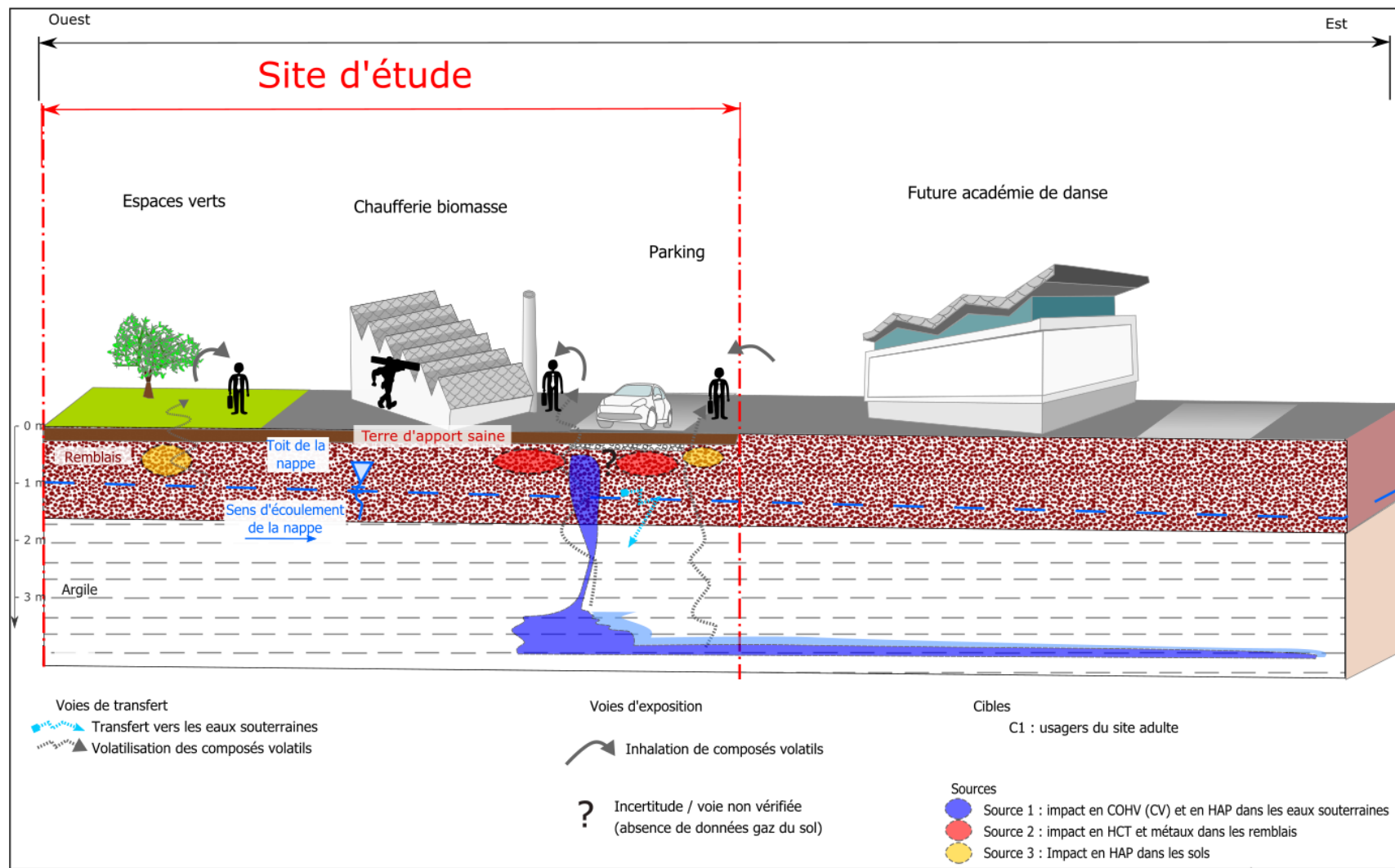


Figure 11 : Schéma conceptuel d'usage futur (à l'issue des mesures de gestion du scénario 3)

9. Analyse des Risques Résiduels (ARR)

9.1 Contexte et méthodologie

L'analyse des enjeux sanitaires consiste à vérifier que l'état des milieux est compatible avec les usages futurs envisagés.

Cette ARR qui repose sur le schéma conceptuel final est réalisée *a priori* (avant la réalisation des travaux de réhabilitation). En absence de données sur les gaz du sol sur la zone d'étude (absence de piézair), les calculs de risque sont menés sur des concentrations dans les sols qui resteront en place et dans les eaux souterraines.

La méthodologie appliquée est conduite en 4 étapes :

- Etape 1 : Identification des dangers ;
- Etape 2 : Caractérisation des Relation dose-réponse ;
- Etape 3 : Estimation des expositions ;
- Etape 4 : Caractérisation des risques.

Cette méthodologie nécessite l'étape préalable de choix justifié et raisonné des composés et concentrations à prendre en compte.

9.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux

La synthèse des investigations sur le site, combinée aux scénarios d'expositions retenus, permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés.

La seule voie d'exposition retenue est l'inhalation de composés volatils, les sols étant en tout point recouverts, par le bâtiment, des espaces minéralisés ou par a minima 30 cm de terre végétale saine rapportée.

En absence de données sur la qualité des gaz du sol au droit de l'implantation prévisionnelle de la chaufferie en partie ouest de la parcelle, les concentrations dans les sols restants en place et dans les eaux souterraines sont retenues pour les calculs.

Seuls les composés quantifiés dans le cadre des différents diagnostics (concentrations supérieures à la limite de quantification du laboratoire) sont pris en compte.

Dans une approche sécuritaire, les concentrations maximales à ce stade des études connues après purge de la source concentrée en HAP sont retenues dans le cas des scénarii 1 et 2. Dans le cas du scénario 3, les valeurs maximales des concentrations relevées seront retenues pour les usages extérieurs.

Concernant le mercure et en absence des données sur les gaz des sols, nous avons considéré que le dixième de la concentration maximale en mercure mesurée dans les sols va pouvoir se volatiliser.

Concernant les COHV, sur les 40 échantillons au droit de la zone d'étude, seul le TCE a été quantifié sur un seul échantillon à une concentration proche de la limite de quantification du laboratoire (0,13 mg/kg MS). Cette concentration n'a pas été prise en compte dans les calculs dans la mesure où les modèles de transfert utilisés pour l'estimation des concentrations dans l'air intérieur depuis les concentrations dans les sols sont fortement majorants et donc pénalisants dans le contexte présent, et il est plus réaliste de partir de données relatives aux gaz du sol quand elles existent. Par conséquent, les concentrations maximales en COHV quantifiées dans les échantillons d'air sous dalle seront étudiées dans l'analyse des incertitudes.

Les concentrations retenues sont présentées dans le **Tableau 15**.

A noter qu'une modélisation des concentrations sols dans le cadre du scénario 3 (comprenant l'ensemble des concentrations maximales de polluants volatils en extérieur) a été effectuée pour un usage extérieur suite au changement de projet.

Tableau 15 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR (scénario 1 ou 2)

Substances	Concentrations retenues pour l'estimation des transferts de gaz vers l'air intérieur		Investigations correspondantes	Concentrations retenues pour l'estimation des transferts de gaz vers l'air extérieur -		Investigations correspondantes
	Sols (mg/kg)	Eaux souterraines (mg/L)		Sols (mg/kg)	Eaux souterraines (mg/L)	
METAUX ET METALLOIDES						
Mercuré (Hg)	0,59	2,00E-04	F2(1-2 m) / LQ	0,497	2,00E-04	F9 (0-1 m) / LQ
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES						
Naphtalène	0,23	1,20E-04	S7(0-1 m) / Pz1	7,80	1,20E-04	S6(0-1,5 m) / Pz1
Acenaphthylène	1,50	1,30E-04	F2(2-3 m) / Pz1	2,00	1,30E-04	F21(0-1 m) / Pz1
Acenaphthène	0,30	2,30E-04	F10(0-1 m) / Pz4	0,54	2,30E-04	F21(0-1 m) / Pz4
Fluorène	1,00	1,40E-04	F10(0-1 m) / Pz4	1,90	1,40E-04	F21(0-1 m) / Pz4
Phénanthrène	6,70	1,40E-03	F2(2-3 m) / Pz4	17,00	1,40E-03	F21(0-1 m) / Pz4
Anthracène	3,20	2,50E-04	F2(2-3 m) / Pz4	6,50	2,50E-04	F21(0-1 m) / Pz4
Fluoranthène	15,00	1,70E-03	F2(2-3 m) / Pz4	15,00	1,70E-03	F21(0-1 m) / Pz4
Pyrène	10,00	1,30E-03	F2(2-3 m) / Pz4	10,00	1,30E-03	F21(0-1 m) / Pz4
Benzo(a)anthracène	6,00	9,80E-04	F2(2-3 m) / Pz1	5,70	9,80E-04	F21(0-1 m) / Pz1
Chrysène	8,00	9,70E-04	F2(2-3 m) / Pz1	7,20	9,70E-04	F21(0-1 m) / Pz1
benzo(b)fluoranthène	8,00	1,20E-03	F2(2-3 m) / Pz1	6,90	1,20E-03	F21(0-1 m) / Pz1
benzo(k)fluoranthène	2,60	3,90E-04	F2(2-3 m) / Pz1	1,90	3,90E-04	F21(0-1 m) / Pz1
Benzo(a)pyrène	5,90	8,94E-04	F2(2-3 m) / Pz1	5,40	8,94E-04	F21(0-1 m) / Pz1
Dibenzo(a,h)anthracène	7,80	1,60E-04	F10(1-2 m) / Pz1	1,00	1,60E-04	F21(0-1 m) / Pz1
benzo(g,h,i) pérylène	2,40	4,30E-04	F2(2-3 m) / Pz1	2,00	4,30E-04	F21(0-1 m) / Pz1
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	3,00	4,80E-04	F2(2-3 m) / Pz1	4,10	4,80E-04	F21(0-1 m) / Pz1
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS						
VC (chlorure de vinyle)	-	5,07E-03	Pz5	-	5,07E-03	Pz5
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES						
toluène	-	3,48E-02	Pz5	-	3,48E-02	Pz5
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH						
Aromatic nC>7-nC8 toluène	-	3,89E-02	Pz4	-	3,89E-02	Pz4
Aromatic nC>8-nC10	-	3,00E-02	Pz4	-	3,00E-02	Pz4
Aromatic nC>12-nC16	11,50	1,60E-02	F11(1-2 m) / Pz4	21,30	1,60E-02	F21(0-1 m) / Pz4
Aromatic nC>16-nC21	69,90	4,50E-02	F2(2-3 m) / Pz4	69,70	4,50E-02	F21(0-1 m) / Pz4
Aromatic nC>21-nC35	903,00	8,80E-02	F12(1-2 m) / Pz1	1052,00	8,80E-02	F3(0-1 m) / Pz1

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Tableau 16 : Concentrations retenues dans les différents milieux pour l'ARR (scénario 3)

Substances	Concentrations à la source retenues vers l'air extérieur	
	Sols (mg/kg)	Investigations correspondantes et critères de sélection
METAUX ET METALLOIDES		
Mercuré (Hg)	0.497	F9 (0-1 m)
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES		
Naphtalène	7.8	S6 (0-1.5)
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH		
Aromatic nC>10-nC12	22.45	S1 (0-1.2)
Aromatic nC>12-nC16	22.45	S1 (0-1.2)
Aromatic nC>16-nC21	172	S1 (0-1.2)

Concernant les hydrocarbures : la différenciation entre les composés aromatiques et aliphatiques quantifiée sur l'échantillon F9 (0-1 m) a été appliquée sur les concentrations maximales quantifiées.

9.3 Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain. Différents effets toxiques peuvent être considérés.

Pour les substances prises en compte dans le cadre de cette évaluation, les effets toxiques ont été collectés et notamment les effets cancérigènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) ainsi que les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En ce qui concerne le potentiel cancérigène, différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) distinguent différentes catégories ou classes. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

L'ensemble des voies d'exposition a été traité en effets chroniques, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

L'ensemble des informations concernant le potentiel toxique des substances retenues est reporté en **Annexe 3**.

9.4 Caractérisation des Relation dose-réponse

L'évaluation quantitative de la relation entre la dose (ou la concentration) et l'incidence de l'effet néfaste permet d'élaborer la **Valeur Toxicologique de Référence (VTR)**. Des VTR sont établies par diverses instances internationales ou nationales⁴ à partir de l'analyse des données toxicologiques expérimentales chez l'animal et/ou des données épidémiologiques. Ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu, deux grands types d'effets toxiques peuvent être distingués :

- les effets à seuil pour lesquels il existe un seuil d'exposition en dessous duquel l'effet néfaste n'est pas susceptible de se manifester ;
- les effets sans seuil pour lesquels la probabilité de survenue de l'effet néfaste croît avec l'augmentation de la dose.

La note d'information **N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014** relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués est prise en compte pour la sélection des VTR.

⁴ IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)

ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

Santé Canada (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),

RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement, du Travail) peut également produire des VTR.

Les valeurs toxicologiques de référence sont synthétisées dans le tableau suivant. Les relations dose-réponse des composés retenus sont détaillées en **Annexe 4** et discutées dans les incertitudes au paragraphe **9.7**.

Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

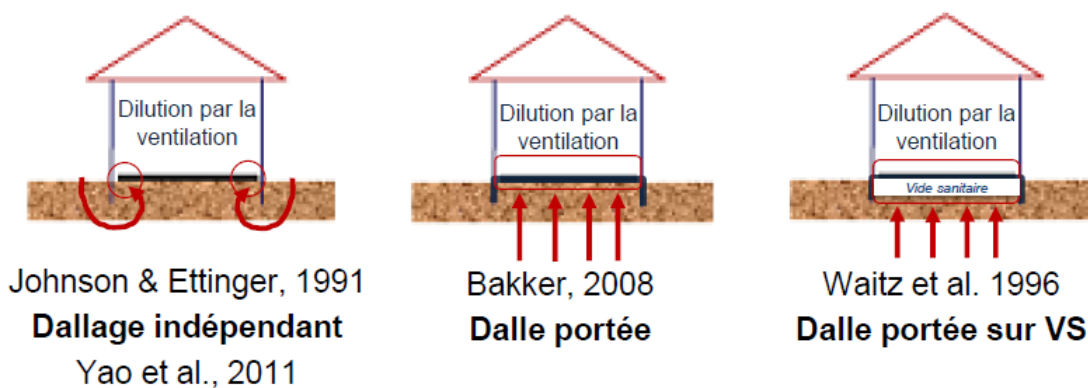
Substance	CAS N°	Effets sans seuil			Effets à seuil			
		ERUi	TYPE CANCER	SOURCE	VTRi	ORGANE	SOURCE	SF
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
METAUX ET METALLOIDES								
Mercure (Hg)	multiple	-	-	-	0,2	SNC	OMS-CICAD 2003	30
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES								
Naphtalène	91-20-3	5,6E-06	neuroblastome de l'épité, olfactif	Anses, 2013	37	sys. Resp.	Anses, 2013	250
Acenaphthylène	208-96-8	6,0E-07	application TEF	-	-	-	-	-
Acenaphthène	83-29-9	6,0E-07	"	-	-	-	-	-
Fluorène	86-73-7	6,0E-07	"	-	-	-	-	-
Phénanthrène	85-01-8	6,0E-07	"	-	-	-	-	-
Anthracène	120-12-7	6,0E-06	"	-	-	-	-	-
Fluoranthène	206-44-0	6,0E-07	"	-	-	-	-	-
Pyrène	129-00-0	6,0E-07	"	-	-	-	-	-
Benzo(a)anthracène	56-55-3	6,0E-05	"	-	-	-	-	-
Chrysène	218-01-9	6,0E-06	"	-	-	-	-	-
benzo(b)fluoranthène	205-99-2	6,0E-05	"	-	-	-	-	-
benzo(k)fluoranthène	207-08-9	6,0E-05	"	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrène	50-32-8	6,0E-04	tractus respiratoire	US-EPA 2017	0,002	developpement	US-EPA 2017	3000
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	6,0E-04	"	-	-	-	-	-
benzo(g,h,i) pérylène	191-24-2	6,0E-06	"	-	-	-	-	-
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	6,0E-05	"	-	-	-	-	-
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES								
toluène	108-88-3	-	-	-	19 000	sys. Nerveux	Anses, 2017	5
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH								
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non adéquat	-	-	-	-	voir toluène	voir toluène	voir toluène
Aromatic nC>8-nC10	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC>12-nC16	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC>16-nC21	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-
Aromatic nC>21-nC35	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS								
chlorure de vinyle (VC)	75-01-4	3,8E-06	Tumeurs hépatiques	Anses, 2012	100	hépatique	US-EPA, 2000	30

9.5 Estimation des expositions

9.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition

La modélisation des transferts des gaz des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils datant du début des années 1990. Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL ^[3] (Waitz et al, 1996) adapté aux situations avec vide sanitaire, le modèle dit de « Johnson and Ettinger »^[4] (Johnson and Ettinger, 1991) adapté aux constructions en dallage indépendant (avec fissuration périphérique de la dalle liée au séchage) et le modèle développé par Bakker et al (2008)^[5] pour les constructions en dalle portée ou radier (fondation et dalle d'un seul tenant, sans fissuration périphérique).

Figure 12 : Représentation schématique des différents modèles de calcul des transferts des sols vers l'air intérieur



A ce stade du projet, le maître d'ouvrage ne dispose pas de données sur le mode constructif du futur bâtiment.

Pour notre étude, nous avons pris en compte les modèles de transfert type Johnson et Ettinger et Bakker permettant de modéliser les transferts à partir des sols et des eaux souterraines. Les concentrations dans l'air intérieur ainsi obtenues sont présentées dans le Tableau 20 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

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

Les équations sont détaillées en **Annexe 5**.

9.5.1.1 Hypothèses retenues – paramètres liés au sol et aux aménagements

Les concentrations dans l'air intérieur sont estimées à partir des concentrations mentionnées dans le **Tableau 15**. Les hypothèses retenues pour la réalisation des calculs de transferts des sols/gaz des sols/nappe vers l'air intérieur et l'air extérieur, sont rappelées dans les tableaux ci-après.

^[3] Waitz *et al.*, 1996. The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds. M.F.W. Waitz; J.I. Freijer; F.A. Swartjes. May 1996. RIVM. Report n° 7581001.

^[4] Johnson PC and Ettinger RA, 1991. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. *Env. Sci. Technol.* 25, p 1445-1452

^[5] Bakker et al. 2008 RIVM Report 711701049/2008 : Site-specific human risk assessment of soil contamination with volatile compounds

Tableau 18 : Paramètres retenus liés au sol

PARAMETRES LIES AU SOL			
Paramètres	Valeur prise en compte	Unités	Source
Sols sous le dallage en extérieur de type :			Hypothèse sécuritaire et majorante (présence de remblais graveleux sableux à sableux argileux graveleux d'après les coupes des sondages)
Sables			
Densité du sol	1,8	g/cm ³	Valeur par défaut
Distance de la source sol au dallage	0,1	m	Valeur sécuritaire : source considérée sous le dallage
Fraction de carbone organique dans le sol	0,002	Kg(CO ₂)/Kg(MS)	RISC 4.0 (valeur par défaut)
Teneur en eau dans le sol	12	%	RISC 4.0 (valeur par défaut)
Teneur en air dans le sol	18	%	RISC 4.0 (valeur par défaut)
Porosité totale	30	%	RISC 4.0 (valeur par défaut)

Tableau 19 : Paramètres retenus liés aux scénarii d'aménagements

Paramètres	Valeur prise en compte	Unités	Source
Paramètres liés au transfert des gaz du milieu souterrain vers l'air intérieur			
Porosité totale du béton et des fondations	12 %, constituée de 5 % d'air et de 7% d'eau		Données bibliographiques
Épaisseur de la dalle	0,15	m	Hypothèse
Surface des fissures du béton	2,00E-04		Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM
Différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol	40	(g/cm/s ²)	Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM
Surface retenue en intérieur	15	m ²	Valeur sécuritaire : surface de la plus petite pièce pour des bureaux de la
Périmètre associé à l'espace retenue en intérieur	16	m	chaufferie et périmètre associé
Hauteur sous plafond	2,5	m	Valeur classique
Perméabilité apparente de la dalle	2,00E-13	m ²	Valeur par défaut de Bakker et al., 2008 pour une dalle de bonne qualité
Perméabilité à l'air de la dalle entre le vide sanitaire et l'intérieur	9,85E-04	m ² /Pa/j	Valeur déduite de Bakker et al pour une dalle de qualité normale
Taux de ventilation dans les bureaux de la chaufferie	24	fois/jour	Pour les bureaux et locaux sans travail physique, débit minimum de 25 m ³ /h/personne
Surface de contact entre la dalle et le RDC	15	m ²	Référence : R232-5-3 du décret n°84-1093 (code du travail) Surface de la plus petite pièce prise en considération
Paramètres liés au transfert du milieu souterrain vers l'air extérieur			
Hauteur de la zone de mélange	1,5 m pour les adultes		Hauteur de respiration
Longueur de la zone polluée	50	m	Valeur retenue comme la longueur maximale de l'étendu de la zone de pollution
Vitesse du vent dans la zone de mélange	2	m/s	valeur la plus contraignante retenue
Couverture en extérieur			
enrobé			
Épaisseur	0,1	m	Valeur standard
Porosité efficace	3%		
Teneur en eau	0%		Données de la littérature pour l'enrobé
Teneur en air	3%		

9.5.1.1 Concentrations dans l'air intérieur et extérieur

Le tableau ci-après présente les concentrations estimées en air intérieur et extérieur.

Les concentrations mesurées sont comparées :

- aux valeurs réglementaires françaises et européennes définies pour l'air ambiant : décret 2002-213 de février 2002, directives 2002/3/CE et 2004/107/CE ;
- aux valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) ;
- aux valeurs repères établies par le HCSP (Haut conseil de la santé publique) ;
- aux valeurs guides proposées par l'OMS (Air Quality Guidelines for Europe, 2000) et par le projet INDEX (Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU, 2005) ;
- aux valeurs de bruit de fond : percentiles 90 issus de la campagne de mesures de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) dans l'air extérieur en milieu urbain.

Les concentrations calculées pour l'ensemble des composés à partir des sols et des eaux souterraines sont inférieures aux valeurs fournies par le HCSP et aux valeurs guides de l'OMS dans l'air intérieur du futur bâtiment. Seuls des dépassements des valeurs bruit de fond en air extérieur pour quelques HAP (naphtalène, acénaphthène et fluorène) ont été calculés. Il est à noter que sur l'échantillon d'air ambiant extérieur prélevé au droit de la zone d'étude en mars 2018, l'absence de quantification du naphtalène a été observée.

Tableau 20 : Concentrations en air intérieur et extérieur (scénario 1 et 2)

Substances	Concentrations calculées dans l'air intérieur						Concentrations calculées dans l'air extérieur	
	AIR EXTERIEUR			AIR INTERIEUR			Avec recouvrement	
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	J&E	Bakker	Adultes
	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Valeur réglementaire Décret n° 2011-1727	VGA ANSES, VRAI HCSP, INDEX, VG OMS	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)
METAUX ET METALLOIDES								
Mercuré (Hg)	-	-	1	-	-	1,99E-01	5,42E-02	6,74E-04
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES								
Naphtalène	0,009	-	-	-	10	1,72E+00	3,44E-01	2,81E-01
Acenaphthylène	-	-	-	-	-	8,09E-01	1,70E-01	4,51E-03
Acenaphthène	0,0002	-	-	-	-	1,85E-01	3,90E-02	1,59E-03
Fluorène	0,0013	-	-	-	-	2,14E-01	4,74E-02	2,48E-03
Phénanthrène	0,0082	-	-	-	-	2,78E-01	6,15E-02	3,23E-03
Anthracène	0,0007	-	-	-	-	1,19E-01	2,83E-02	4,35E-04
Fluoranthène	0,003	-	-	-	-	1,06E-01	3,22E-02	3,62E-04
Pyréne	0,0025	-	-	-	-	3,73E-02	1,15E-02	1,23E-04
Benzo(a)anthracène	0,0032	-	-	-	-	6,99E-03	2,07E-03	3,12E-05
Chrysène	0,004	-	-	-	-	3,98E-03	1,55E-03	1,09E-05
benzo(b)fluoranthène	0,0043	-	-	-	-	7,04E-05	6,47E-05	1,79E-07
benzo(k)fluoranthène	0,0019	-	-	-	-	3,87E-05	3,62E-05	8,54E-08
Benzo(a)pyréne	0,00452	0,001	1,20E-04	-	0,00012	8,14E-05	1,13E-04	2,66E-07
Dibenzo(a,h)anthracène	0,00062	-	-	-	-	8,43E-06	1,97E-05	1,15E-08
benzo(g,h,i) pérylène	0,0049	-	-	-	-	8,49E-06	1,20E-05	1,50E-08
indéno(1,2,3-c,d)pyréne	0,0027	-	-	-	-	2,10E-05	2,56E-05	4,71E-08
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES								
toluène	9	-	-	-	20 000	4,89E-03	2,79E-03	4,43E-05
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH								
Aromatic nC>8-nC10	-	-	-	-	-	8,64E+00	4,78E+00	8,04E-02
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	-	-	1,15E+02	2,51E+01	1,39E+00
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	-	-	1,64E+01	3,71E+00	1,08E-01
Aromatic nC>21-nC35	-	-	-	-	-	1,12E-02	4,09E-03	8,05E-05
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS								
chlorure de vinyle (VC)	-	-	10	-	-	2,94E+00	1,61E+00	2,77E-02

Tableau 21 : Concentrations en air extérieur (scénario 3)

Substances	AIR EXTERIEUR			Concentrations calculées dans l'air extérieur
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	Avec recouvrement
	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Air extérieur (µg/m³)
METAUX ET METALLOIDES				
Mercuré (Hg)	-	-	1,00E+00	9,46E-05
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES				
Naphtalène	9,00E-03	-	-	2,14E-01
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	5,77
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	1,11
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	0,08

9.5.2 Estimation des expositions

9.5.2.1 Exposition par inhalation

Le calcul de la concentration moyenne inhalée est réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR du Ministère en charge de l'environnement/BRGM/INERIS, version 2000) :

$$CI_j = [C_j \times t_j \times T \times F / T_m]$$

avec :

- CI_j : concentration moyenne inhalée du composé j (en mg/m^3).
- C_j : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m^3).
- T : durée d'exposition (années).
- F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an).
- t_j : fraction du temps d'exposition à la concentration C_j pendant une journée (-)
- T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations de gaz dans l'air présentées dans **Tableau 20**.

Le détail des calculs est donné en **Annexe 6**.

9.5.2.2 Budget espace-temps (BET)

Les cibles étudiées sont les adultes qui travailleront sur site. Le budget espace-temps des cibles considérées est présenté ci-après.

Tableau 22 : Budgets espace/temps retenus

Scénario	Cibles	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée
	Adultes	
Expositions / Conférences	T = 42 ans 220 jours par an 8h/jour en intérieur 0,4h/jour en extérieur	- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérogènes quelle que soit la cible considérée - T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérogènes quelle que soit la cible considérée

Les données utilisées sont issues de la synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition⁵ d'une part, de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997 et 2001) d'autre part, et enfin de la réglementation du travail en France.

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 42 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail) ; cependant la variabilité de cette durée d'exposition est importante. Les durées de 220 jours/an et 8 h/jour correspondent aux durées « classiques » du travail en France.

⁵ Demeureaux C, Zeghnoun A. Synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 28p.

9.6 Quantification des risques sanitaires

9.6.1 Méthodologie

9.6.1.1 Estimation du risque pour les effets toxiques sans seuil

Pour les effets toxiques sans seuil, et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

$$\text{ERI (inhalation)} = \text{CI} \times \text{ERUi}$$

Les ERI s'expriment sous la forme mathématique 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque de 10^{-5} présente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées durant la vie entière.

Pour chaque scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- pour chaque composé, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition ;
- la somme des risques liés à chacun des composés cancérigènes.

Il n'existe pas de niveau d'excès de risque individuel universellement acceptable. Les documents du ministère en charge de l'environnement de février 2007, confirmés par ceux de 2017, relatifs aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, considèrent que le niveau de risque « usuellement [retenue] au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé », de 10^{-5} est acceptable.

En cas d'exposition conjointe à plusieurs agents dangereux, l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) recommande de sommer l'ensemble des excès de risque individuels (ERI), quels que soient le type de cancer et l'organe touché, de manière à apprécier le risque cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

9.6.1.2 Estimation du risque pour les effets toxiques à seuil

Pour les effets toxiques à seuil, un quotient de danger (QD) est défini pour chaque voie d'exposition de la manière suivante :

$$QD_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$$

Un QD inférieur ou égal à 1 signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. A l'inverse, un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

En l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous procéderons à l'additivité des quotients de danger en premier **niveau d'approche**.

9.6.2 Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site

Les quotients de danger et excès de risques individuels liés aux différentes expositions ont été calculés à partir des valeurs toxicologiques (Tableau 17) et des niveaux d'exposition estimés au paragraphe précédent. Le détail du calcul est donné en Annexe 6.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par les circulaires ministérielles de février reprise dans les textes d'avril 2017. L'évaluation du risque nécessite la prise en compte simultanée d'expositions par différentes voies et concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

Tableau 23 : Synthèse des QD et ERI

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte 1	Composés tirant le risque	Adulte 1	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie J&E	2,78E-06	chlorure de vinyle (VC)	0,35	Mercure (Hg)
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Bakker	1,04E-06	chlorure de vinyle (VC)	0,10	Mercure (Hg)
INHALATION air extérieur avec recouvrement	1,02E-08	Naphtalène	0,0002	Naphtalène
TOTAL (J&E)	2,8E-06		0,35	
TOTAL (Bakker)	1,1E-06		0,10	
Risques non significatifs				
Risques significatifs				

Synthèse des QD et ERI pour les concentrations sols scénario 3	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur avec recouvrement	3.61E-09	Naphtalène	0.00000	non calculé	0.0002	Aromatic nC>10-nC12
TOTAL	3.6E-09		0.00000		0.0002	

Risques non significatifs

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par ENGIE ENERGIE SERVICES, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site est compatible avec l'usage prévu.

9.7 Analyse des incertitudes

L'analyse des incertitudes d'une évaluation des risques et la sensibilité des paramètres retenus pour cette évaluation est une partie intégrante d'un calcul de risque sanitaire. Afin de ne pas alourdir cette analyse les paramètres clés de l'évaluation réalisée sont ici discutés ainsi que leurs incidences sur les résultats de l'évaluation. Ces paramètres clés sont dépendants des scénarios d'exposition et des substances retenues.

Tableau 24 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																
Choix et caractéristiques des composés																			
Nature des composés et concentrations retenues	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	Sécuritaire : prise en compte des composés quantifiés ainsi que des limites de quantifications analytiques en l'absence de valeur de référence pour les composés non quantifiés.																
Cas des hydrocarbures	Inhalation intérieur et extérieur	Faible	Réaliste : prise en compte de la répartition entre les composés aromatiques et aliphatiques (C ₁₀ -C ₄₀) enregistrée sur l'analyse TPH réalisée sur l'échantillon F9 (0-1 m) et S1.																
Valeurs Toxicologiques de référence	Inhalation et Ingestion	Faible	<p>Les VTR ont été retenues conformément à la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.</p> <ul style="list-style-type: none"> concernant les hydrocarbures de type TPH : nous retenons les caractéristiques physico-chimiques des classes définies par le TPHCWG et les valeurs toxicologiques établies par l'ANSES (juillet 2014), notamment celle de N-hexane pour les effets chronique par inhalation, <i>id.</i> 3 000 µg/m³ avec un niveau de confiance moyen/fort ; concernant le mercure : pour les effets à seuil, nous retiendrons une VTRi établie par OMS en 2003 ; concernant le trichloroéthylène (TCE) : nous retenons les VTR mises à jour par l'ANSES en 2020 ; concernant le Cis-1,2-DCE : pour les effets à seuil de dose, nous retiendrons une VTRi établie par RIVM en 2009. <p>Malgré l'existence d'incertitudes sur les VTR (concernant le degré de confiance accordées aux études, les facteurs de sécurité, les désaccords entre experts toxicologues), l'approche que nous avons retenue rend compte des connaissances scientifiques et techniques du moment et n'engendre pas d'incertitude majeure sur les conclusions formulées quant à l'acceptabilité des risques.</p>																
Cas du mercure	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	<p>Sécuritaire : En considérant que 10% de la concentration maximale mesurée dans les sols va pouvoir se volatiliser. La concentration maximale quantifiée dans les sols a été considérée en première approche.</p> <p>Réaliste : En considérant la concentration maximale mesurée dans l'air sous dalle, une baisse des risques pour l'effet à seuil est observée. En effet, la concentration calculée dans les gaz du sol à la source à partir de la concentration dans les sols (0,18 mg/m³) est supérieur de plusieurs ordres de grandeur à la concentration maximale en mercure volatil quantifiée dans l'air sous dalle (0,212 10⁻³ mg/m³).</p>																
Cumul des QD et des ERI	Toutes	Fort	<p>Il convient de rappeler la limite méthodologique des évaluations de risques sanitaires lorsque plusieurs substances peuvent avoir entre elles des effets synergiques ou antagonistes. A l'heure actuelle, les éléments qui permettraient de déterminer si les effets se cumulent ou non ne sont pas disponibles et il n'y a pas de consensus sur une méthode pour prendre en compte les effets de mélanges.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Somme</th> <th>Justification</th> <th>Consensus</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ERI</td> <td>Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition</td> <td>On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme</td> <td>Oui, internationaux</td> </tr> <tr> <td>QD</td> <td>Discutable</td> <td>Approche par organe cible</td> <td>Proche des consensus nationaux et internationaux</td> </tr> <tr> <td>Si SQD>1</td> <td>Faire la somme par organe cible</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Somme	Justification	Consensus	ERI	Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition	On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme	Oui, internationaux	QD	Discutable	Approche par organe cible	Proche des consensus nationaux et internationaux	Si SQD>1	Faire la somme par organe cible		
	Somme	Justification	Consensus																
ERI	Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition	On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme	Oui, internationaux																
QD	Discutable	Approche par organe cible	Proche des consensus nationaux et internationaux																
Si SQD>1	Faire la somme par organe cible																		
Caractéristiques des sources de pollution et concentrations dans les différents milieux																			
Source gaz du sol	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	<p>Sécuritaire : En absence de données sur les gaz du sol, les concentrations quantifiées dans les sols et dans les eaux souterraines ont été prise en compte. En effet, sur la base des données disponibles, notamment celles acquises en novembre 2018 par l'APAVE, aucun piézair n'a pas été mis en place au droit de la zone d'étude. Trois piézairs ont été installés sur la moitié est de la parcelle totale et non concernés par la zone d'étude de la chaufferie.</p> <p><i>Concernant les COHV, sur les 40 échantillons au droit de la zone d'étude, seul de TCE a été quantifié sur un seul échantillon à une concentration proche de la limite de quantification du laboratoire (0,13 mg/kg). Cette concentration n'a pas été prise en compte dans les calculs dans la mesure où les modèles de transfert utilisés pour l'estimation des concentrations dans l'air intérieur depuis les concentrations dans les sols sont fortement majorant et donc pénalisant dans le contexte présent, et il est plus réaliste de partir de données relatives aux gaz du sol quand elles existent. Par conséquent, les concentrations maximales en COHV quantifiées dans les échantillons d'air sous dalle ont été étudiées ici.</i></p> <p>Les résultats du test en considérant les teneurs maximales en air sous dalle mesurées sont fournis ci-après :</p>																

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																																																																																																																																																																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Substances</th> <th>Concentrations retenues pour l'estimation des transferts de gaz vers l'air intérieur et extérieur Gaz du sol à la source (mg/m3)</th> <th>Investigations correspondantes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">METAUX ET METALLOIDES</td> </tr> <tr> <td>Mercurie (Hg)</td> <td>2,12E-04</td> <td>ASD10</td> </tr> <tr> <td colspan="3">HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</td> </tr> <tr> <td>Naphtalène</td> <td>0,002</td> <td>Lq</td> </tr> <tr> <td colspan="3">COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS</td> </tr> <tr> <td>PCE (tétrachloroéthylène)</td> <td>0,027</td> <td>ASD9</td> </tr> <tr> <td>TCE (trichloroéthylène)</td> <td>14,820</td> <td>ASD7</td> </tr> <tr> <td>cis 1,2DCE (dichloroéthylène)</td> <td>3,755</td> <td>ASD7</td> </tr> <tr> <td>trans 1,2DCE (dichloroéthylène)</td> <td>0,063</td> <td>ASD7</td> </tr> <tr> <td>1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène)</td> <td>0,003</td> <td>ASD7</td> </tr> <tr> <td>1,1,2 trichloroéthane</td> <td>0,001</td> <td>Lq</td> </tr> <tr> <td>1,1,1 trichloroéthane</td> <td>0,001</td> <td>Lq</td> </tr> <tr> <td>1,1 dichloroéthane</td> <td>0,001</td> <td>Lq</td> </tr> <tr> <td>tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)</td> <td>0,065</td> <td>ASD7</td> </tr> <tr> <td>TCmA (trichlorométhane ou chloroforme)</td> <td>5,164</td> <td>ASD7</td> </tr> </tbody> </table> <p>Des niveaux de risques plus faibles et acceptables ont été enregistrés :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Selon Modèle Johnson et Ettinger (1991)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Scénario :</th> <th colspan="2">Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)</th> <th colspan="2">Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)</th> <th colspan="2">Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)</th> </tr> <tr> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Voies d'exposition</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi</td> <td>4,3E-02</td> <td>trichlorométhane et Cis-1,2-DCE</td> <td>3,1E-02</td> <td>trichlorométhane</td> <td>3,0E-06</td> <td>Trichloroéthylène</td> </tr> <tr> <td>INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage</td> <td>2,6E-05</td> <td>trichlorométhane et Cis-1,2-DCE</td> <td>2,1E-05</td> <td>trichlorométhane</td> <td>1,8E-09</td> <td>Trichloroéthylène</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>0,04</td> <td></td> <td>0,03</td> <td></td> <td>3,0E-06</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Risques acceptables</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Risques non acceptables</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Selon Modèle Bakker et al. (2008)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Scénario :</th> <th colspan="2">Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)</th> <th colspan="2">Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)</th> <th colspan="2">Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)</th> </tr> <tr> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> <th>Adulte</th> <th>Composés tirant le risque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Voies d'exposition</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi</td> <td>1,0E-02</td> <td>trichlorométhane et Cis-1,2-DCE</td> <td>7,3E-03</td> <td>trichlorométhane</td> <td>7,0E-07</td> <td>Trichloroéthylène</td> </tr> <tr> <td>INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage</td> <td>2,6E-05</td> <td>trichlorométhane et Cis-1,2-DCE</td> <td>2,1E-05</td> <td>trichlorométhane</td> <td>1,8E-09</td> <td>Trichloroéthylène</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>0,01</td> <td></td> <td>0,01</td> <td></td> <td>7,1E-07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Risques acceptables</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Risques non acceptables</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Substances	Concentrations retenues pour l'estimation des transferts de gaz vers l'air intérieur et extérieur Gaz du sol à la source (mg/m3)	Investigations correspondantes	METAUX ET METALLOIDES			Mercurie (Hg)	2,12E-04	ASD10	HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES			Naphtalène	0,002	Lq	COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS			PCE (tétrachloroéthylène)	0,027	ASD9	TCE (trichloroéthylène)	14,820	ASD7	cis 1,2DCE (dichloroéthylène)	3,755	ASD7	trans 1,2DCE (dichloroéthylène)	0,063	ASD7	1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène)	0,003	ASD7	1,1,2 trichloroéthane	0,001	Lq	1,1,1 trichloroéthane	0,001	Lq	1,1 dichloroéthane	0,001	Lq	tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)	0,065	ASD7	TCmA (trichlorométhane ou chloroforme)	5,164	ASD7	Selon Modèle Johnson et Ettinger (1991)							Scénario :	Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Voies d'exposition							INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	4,3E-02	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	3,1E-02	trichlorométhane	3,0E-06	Trichloroéthylène	INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage	2,6E-05	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	2,1E-05	trichlorométhane	1,8E-09	Trichloroéthylène	TOTAL	0,04		0,03		3,0E-06		Risques acceptables							Risques non acceptables							Selon Modèle Bakker et al. (2008)							Scénario :	Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Voies d'exposition							INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	1,0E-02	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	7,3E-03	trichlorométhane	7,0E-07	Trichloroéthylène	INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage	2,6E-05	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	2,1E-05	trichlorométhane	1,8E-09	Trichloroéthylène	TOTAL	0,01		0,01		7,1E-07		Risques acceptables							Risques non acceptables						
Substances	Concentrations retenues pour l'estimation des transferts de gaz vers l'air intérieur et extérieur Gaz du sol à la source (mg/m3)	Investigations correspondantes																																																																																																																																																																													
METAUX ET METALLOIDES																																																																																																																																																																															
Mercurie (Hg)	2,12E-04	ASD10																																																																																																																																																																													
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES																																																																																																																																																																															
Naphtalène	0,002	Lq																																																																																																																																																																													
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS																																																																																																																																																																															
PCE (tétrachloroéthylène)	0,027	ASD9																																																																																																																																																																													
TCE (trichloroéthylène)	14,820	ASD7																																																																																																																																																																													
cis 1,2DCE (dichloroéthylène)	3,755	ASD7																																																																																																																																																																													
trans 1,2DCE (dichloroéthylène)	0,063	ASD7																																																																																																																																																																													
1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène)	0,003	ASD7																																																																																																																																																																													
1,1,2 trichloroéthane	0,001	Lq																																																																																																																																																																													
1,1,1 trichloroéthane	0,001	Lq																																																																																																																																																																													
1,1 dichloroéthane	0,001	Lq																																																																																																																																																																													
tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)	0,065	ASD7																																																																																																																																																																													
TCmA (trichlorométhane ou chloroforme)	5,164	ASD7																																																																																																																																																																													
Selon Modèle Johnson et Ettinger (1991)																																																																																																																																																																															
Scénario :	Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)																																																																																																																																																																										
	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque																																																																																																																																																																									
Voies d'exposition																																																																																																																																																																															
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	4,3E-02	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	3,1E-02	trichlorométhane	3,0E-06	Trichloroéthylène																																																																																																																																																																									
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage	2,6E-05	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	2,1E-05	trichlorométhane	1,8E-09	Trichloroéthylène																																																																																																																																																																									
TOTAL	0,04		0,03		3,0E-06																																																																																																																																																																										
Risques acceptables																																																																																																																																																																															
Risques non acceptables																																																																																																																																																																															
Selon Modèle Bakker et al. (2008)																																																																																																																																																																															
Scénario :	Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques à seuil cancérogènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)																																																																																																																																																																										
	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque	Adulte	Composés tirant le risque																																																																																																																																																																									
Voies d'exposition																																																																																																																																																																															
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	1,0E-02	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	7,3E-03	trichlorométhane	7,0E-07	Trichloroéthylène																																																																																																																																																																									
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR avec dallage	2,6E-05	trichlorométhane et Cis-1,2-DCE	2,1E-05	trichlorométhane	1,8E-09	Trichloroéthylène																																																																																																																																																																									
TOTAL	0,01		0,01		7,1E-07																																																																																																																																																																										
Risques acceptables																																																																																																																																																																															
Risques non acceptables																																																																																																																																																																															
Source « sol »	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	Sécuritaire : teneurs maximales retenues en supposant que ces teneurs sont identiques sous l'ensemble du bâti.																																																																																																																																																																												
Source « nappe »	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	Sécuritaire : teneurs maximales retenues en supposant que ces teneurs sont identiques sous l'ensemble du site																																																																																																																																																																												
Profondeur de la source	Toutes	Fort	Sécuritaire : le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie). Ainsi, compte tenu de la volatilité élevée des substances considérées, afin de ne pas majorer de manière irréaliste le risque sanitaire, nous retiendrons la profondeur de 10 cm par défaut. En considérant une source placée à 1 cm par rapport à la dalle, une augmentation des niveaux de risque de 100% pour les effets à seuil et de 83% pour les effets sans seuil est enregistrée avec le modèle J&E, sans remettre en cause les conclusions de l'étude. Avec le modèle Bakker, aucune modification notable n'est observée.																																																																																																																																																																												
Caractéristiques des sols																																																																																																																																																																															
Lithologie	Toutes	Fort	Sécuritaire : remblais graveleux sableux à argileux assimilés à des sables																																																																																																																																																																												
Perméabilité, porosité, teneur en gaz des sols	Toutes	Fort	Sécuritaire : En l'absence de mesures sur site, les paramètres issus de la littérature ont été utilisés.																																																																																																																																																																												
Fraction de carbone organique	Toutes	Moyen	Sécuritaire : La fraction de carbone organique dans les sols (sous recouvrement) est de 0,2%. Elle correspond aux remblais graveleux sableux à argileux, identifiés sur les coupes de sondages. Cette valeur est issue de la base de données du logiciel RISC 4.0.																																																																																																																																																																												

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue								
Paramètres d'aménagement											
Couverture de sol extérieur	Inhalation extérieur	Fort	<p>Sécuritaire/Réaliste : recouvrement de surface sur les espaces extérieurs.</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>enrobé (pour mémoire)</td> </tr> <tr> <td>porosité</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>teneur en gaz</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>teneur en eau</td> <td>0%</td> </tr> </table>		enrobé (pour mémoire)	porosité	3%	teneur en gaz	3%	teneur en eau	0%
	enrobé (pour mémoire)										
porosité	3%										
teneur en gaz	3%										
teneur en eau	0%										
Mode constructif	Inhalation dans l'air intérieur	Fort	<p>Les calculs de transfert des pollutions du sol et des eaux souterraines vers l'air intérieur (et les risques induits) ont été calculés en considérant le modèle de Johnson et Ettinger (1991) qui prend en compte un transfert des pollutions à travers les fissures périphériques associées à la rétractation du dallage indépendant lors de son séchage et le modèle Baker (2008) qui prend en compte un transfert des pollutions à travers la dalle considérée comme un milieu poreux équivalent. En l'absence de caractéristiques particulières de la dalle, la valeur de la perméabilité retenue par défaut est de 2.10^{-13} m² pour le modèle de Bakker et al. (2008). En considérant une perméabilité de 2.10^{-11} m² pour simuler le vieillissement de la dalle, les niveaux de risques à seuil seraient non acceptables.</p> <p>Si un autre mode constructif était retenu, les calculs de transfert seraient différents et intégreraient dans les calculs la perméabilité de la dalle. Par conséquent, les concentrations dans l'air intérieur seraient modifiées.</p> <p>La réduction des incertitudes ne pourra être réalisée que lorsque le mode constructif sera connu. Il pourra alors être nécessaire de réviser l'ARR.</p>								
Taille et caractéristique du bâtiment et du dallage	Inhalation dans l'air intérieur	Faible	<p>Moyen : La prise en compte de pièce de vie de taille inférieure en rez-de-chaussée ne modifie pas les conclusions de l'étude</p> <p>Sécuritaire : en l'absence de projet bien défini, il a été supposé la construction de bâtiment de plain-pied sans sous-sol ni vide sanitaire</p>								
Taux de ventilation des bâtiments	Inhalation dans les bâtiments	Fort	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lieu</th> <th>Renouvellement d'air (h⁻¹)</th> <th>Source de la valeur retenue</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bureaux</td> <td>1 h⁻¹</td> <td>Pour les bureaux et locaux sans travail physique, débit minimum de 25 m³/h/personne Référence : R232-5-3 du décret n°84-1093 (code du travail)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ces taux influencent de manière inversement linéaire les concentrations dans les bâtiments et donc les risques induits.</p> <p>Une diminution de ces taux de ventilation est susceptible de remettre en cause les conclusions de l'étude. Par conséquent, au vu de cette analyse des incertitudes, il est recommandé de garantir cette ventilation minimale dans les bureaux. Lors de la conception du bâtiment, le maître d'ouvrage devra en s'appuyant sur le bureau d'étude fluide, confirmer les débits et in fine en fonction de la géométrie et de la fréquentation, ce taux de renouvellement d'air.</p>	Lieu	Renouvellement d'air (h ⁻¹)	Source de la valeur retenue	Bureaux	1 h ⁻¹	Pour les bureaux et locaux sans travail physique, débit minimum de 25 m ³ /h/personne Référence : R232-5-3 du décret n°84-1093 (code du travail)		
Lieu	Renouvellement d'air (h ⁻¹)	Source de la valeur retenue									
Bureaux	1 h ⁻¹	Pour les bureaux et locaux sans travail physique, débit minimum de 25 m ³ /h/personne Référence : R232-5-3 du décret n°84-1093 (code du travail)									
Vieillessement du bâtiment, des systèmes et équipements	Inhalation dans les bâtiments	Fort	<p>Le vieillissement du bâtiment ne peut être anticipé dans la présente étude. La défaillance de la ventilation (réduction des débits) en lien avec des défauts d'entretien et de maintenance pourrait conduire à augmenter les concentrations dans l'air intérieur. Ainsi il est recommandé d'inscrire dans les documents supports de l'exploitation (carnet de vie, carnet d'entretien) cet enjeu afin que les futurs exploitants mettent en œuvre l'entretien et la maintenance nécessaire.</p> <p>Le vieillissement de la dalle interface entre le sol et l'air intérieur devra être limité (fissuration) et les points singuliers de passage de la dalle (réseaux par exemple) devront être étanchés. Ainsi, lors de la conception et lors de la construction, cet enjeu devra avoir été considéré.</p>								
Durée d'exposition des cibles	Inhalation intérieur et extérieur	Faible	<p>Réaliste : Des variations raisonnables du temps d'exposition en intérieur ou en extérieur (+/- 2 h/j) engendrent une faible augmentation des niveaux de risques à seuil d'environ 23% et les niveaux de risques sans seuil d'environ 33% mais sans remettre en cause les conclusions de l'étude.</p>								

Les recommandations principales à l'issue de l'analyse des données récoltées lors de cette étude sont rappelées ci-après :

Compte tenu des incertitudes liées à la modélisation des transferts à partir des milieux sols et eaux souterraines, nous recommandons la mise en place de deux piézajirs au niveau de la zone d'étude et une mise à jour de l'EQRS sera réalisée une fois que les données sur les gaz du sol seront complétées.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Dans tous les cas, l'ARR devra être mise à jour une fois le projet d'aménagement défini.

10. Conservation de la mémoire

10.1 Plan de surveillance

Suite au retrait de la source concentrée, il est possible que certains polluants soient remobilisés. Aussi, afin de s'assurer de l'absence de dégradation de la qualité de la nappe liée aux travaux, le marché de travaux intégrera le contrôle des eaux souterraines avant et après travaux.

10.2 Servitudes et information des tiers

La restriction d'usage en matière de sols pollués est une limitation du droit de disposer de la propriété d'un terrain. Cette limitation attachée à une parcelle consiste en un ensemble de recommandations, de précautions, voire d'interdictions sur la manière d'utiliser, d'entretenir, de construire ou d'aménager, compte tenu de la présence de substances polluantes dans les sols. Pour informer durablement les propriétaires successifs d'un terrain pollué, ces règles ont vocation à être transcrites dans les documents habituellement consultés au moment de l'acquisition ou de l'aménagement des terrains : la conservation des Hypothèques et les documents d'urbanisme tels que le plan local d'urbanisme (PLU) notamment.

En lien avec les mesures de gestion, des servitudes devront être instituées afin de garantir dans le temps le respect des règles et recommandations dans le cas d'un changement d'exploitant ou d'une cessation d'activité. Les objectifs de telles servitudes sont les suivants :

- l'assurance de la protection de la santé humaine et de l'environnement au cours du temps (dont les éventuelles précautions pour la réalisation de travaux d'affouillement, passage de canalisations d'eau, etc.) ;
- l'assurance qu'une éventuelle modification de l'usage ne sera possible que si elle est conforme aux définitions des servitudes ou si elle s'accompagne de nouvelles études et/ou de travaux garantissant la compatibilité avec cet usage ;
- la protection du propriétaire du site lors d'éventuels changements d'usage des sols qui ne seraient pas de son fait. Ces éventuels changements d'usage de site pourraient résulter par exemple de modifications de la politique locale d'urbanisme ou de décisions de propriétaires successifs du site ;
- la pérennité de la maintenance des dispositions constructives ou d'aménagement prévues et/ou de la surveillance environnementale du site le cas échéant.

Les restrictions d'usage concernent :

- l'utilisation des sols sur site en définissant les autorisations et interdictions concernant le type d'activité et de construction ;
- l'utilisation du sous-sol en définissant les procédures à respecter en cas d'affouillement, de pose de canalisation ;
- l'utilisation des eaux souterraines sur site.

Conformément au « Guide de mise en œuvre des restrictions d'usage applicables aux sites et sols pollués », l'outil à privilégier pour instaurer les restrictions d'usage est la servitude d'utilité publique.

10.3 Restriction des usages

Afin de garantir l'adéquation entre les usages et l'état des milieux, la nécessité de la conservation de la mémoire des pollutions résiduelles et la restriction des usages est nécessaire. Les restrictions d'usage à mettre en œuvre sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Tableau 25 : Les restrictions d'usage à mettre en œuvre

Prescriptions générales	Prescriptions particulières (sols)	Prescriptions particulières (eaux)
<p><u>Usage autorisé</u> :</p> <p>Limité au scénario étudié dans le cadre de l'analyse de compatibilité : usage industriel avec la construction d'une chaufferie biomasse</p> <p><u>Usages non autorisés sans étude complémentaire</u> :</p> <p>Ceux qui ne sont pas mentionnés ci-dessus.</p> <p>D'une manière générale, tout changement d'usage nécessitera la réactualisation de l'étude des risques sanitaires et le cas échéant la rédaction d'un nouveau plan de gestion notamment pour un usage autre que l'usage industriel,</p> <p>L'interdiction de plantations d'arbres fruitiers,</p> <p>L'interdiction de remettre en surface les terres présentes en profondeur.</p>	<p>Pose de nouvelles canalisations enterrées d'eau potable au sein d'une fouille remblayées par des matériaux propres d'1 m² de section ou en matériau anti-perméation.</p> <p>Recouvrement pérenne des espaces avec au moins 30 cm de terres d'apport saine, voirie ou enrobé.</p> <p>Gestion appropriée des déblais en cas de terrassement et traçabilité du devenir des déblais</p>	<p>Absence d'usage des eaux considéré. Tout usage des eaux nécessite une étude préalable de compatibilité sanitaire</p>

En cas de cessation d'activité ou de changement d'exploitant, il sera nécessaire de garder en mémoire la qualité environnementale du site (inscription aux documents d'urbanisme, à l'acte de vente et/ou auprès du service de la publicité foncière) par le biais de dossier de restriction d'usage ou de servitude si nécessaire.

11. Conclusion et synthèse non technique

Dans le cadre de la construction et l'exploitation (pendant 10 ans) d'une chaufferie biomasse pour le compte de BORDEAUX METROPOLE, la société ENGIE ENERGIE SERVICES a missionné BURGEAP pour la réalisation d'un plan de gestion des pollutions reconnues et une analyse des risques résiduels au droit de l'emprise de la future chaufferie, objet de ce rapport

La zone d'étude s'étend sur environ 4 004 m² dans la moitié ouest du site qui accueillait autrefois l'Institut municipal de recherches sur l'alimentation humaine et animale et un laboratoire de chimie. Le laboratoire a fermé en 2016 et a été démoli en 2018.

Les investigations réalisées sur la zone d'étude ont mis en évidence :

- milieu sol :
 - impact diffus en métaux dans les remblais de surface ;
 - impacts ponctuels en HAP et HCT dans les sols entre la surface et jusqu'à 3 m de profondeur ;
- milieu eau souterraine :
 - Impact en HAP et impact ponctuel en chlorure de vinyle en Pz5 ;
- milieu air sous-dalle :
 - impact en COHV (TCE, PCE, Cis-1,2-DCE, trichlorométhane et tétrachlorométhane) et traces en mercure (Hg).

Sur la base des données actualisées relatives au projet et des scénarios étudiés, une purge ou un confinement de la source en HAP située à l'ouest du futur bâtiment et le recouvrement pérenne des espaces extérieurs ont été retenus. La concentration maximale résiduelle en HAP après purge (si elle est envisagée) est de 83 mg/kg MS.

Le dimensionnement de la zone de pollution concentrée en HAP a révélé les quantités suivantes à traiter.

Nom	Sondages concernés	Concentration maximale (mg/kg MS)	Surface (m ²)	Profondeur maximale reconnue impactée	Volume (m ³)
HAP	S1, F1, F2, F9 et F10	HAP : 190	152	1,5 m (entre 0 et 1,5 m de profondeur)	228
TOTAL					228 m ³

Au regard de l'analyse multicritères réalisée, deux solutions de réhabilitation apparaissant comme les plus pertinentes sont :

- le scénario 2 : le traitement par excavation des terres / Elimination hors-site de la source concentrée en HAP en filière adaptée et le recouvrement des espaces extérieurs. Son coût de mise en œuvre a été estimé à environ 140 k€ HT ;
- le scénario 3 : le confinement des zones polluées, avec mise en place d'un programme de suivi de la qualité des eaux souterraines. Son coût de mise en œuvre est estimé à environ 105 k€ HT.

Une Analyse des Risques Résiduelles (ARR) prédictive a été menée pour l'usage futur considéré de la zone d'étude. La méthodologie adoptée pour cette étude a été majorante et sécuritaire. Les calculs de risques ont conduit à des niveaux de risque inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, dans les conditions d'études retenues et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués. Rappelons que les calculs ont été réalisés avec les concentrations maximales observées dans les sols et les eaux souterraines après purge de la zone de pollution concentrée en HAP ou en considérant un confinement des sols de surface.

Cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec l'usage futur n'est valable que dans le cadre du respect des mesures de gestion préconisées et notamment :

- l'atteinte des objectifs de réhabilitation fixés au plan de gestion ;
- le recouvrement des sols de surface extérieur par des voiries, dalle béton ou 30 cm de terre saine ;
- par mesure de précaution, l'enfouissement des nouvelles canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) en dehors de sols présentant une pollution résiduelle, voire l'emploi de canalisations renforcées (en fonte par exemple et avec des joints spécifiques), posées dans des tranchées comblées de sablons.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. L'ARR devra être remise à jour une fois les travaux réalisés. En cas de changement d'usage, une nouvelle étude de la compatibilité sanitaire devra être réalisée.

11.1 Recommandations

Compte tenu des incertitudes liées à la modélisation des transferts à partir des milieux sols et eaux souterraines, nous recommandons la mise en place de deux piézaires au niveau de la zone d'étude et une mise à jour de l'ARR sera réalisée une fois que les données sur les gaz du sol seront complétées.

Par ailleurs, le présent plan de gestion ne traite que la gestion des sources concentrées selon la méthodologie nationale.

A l'issue de ces travaux, des matériaux non inertes subsisteront. Le plan d'orientation des déblais au regard des plans d'aménagement de la future chaufferie (fondations, VRD), n'étant pas à ce jour disponible, le sujet de la gestion de terres non inertes n'est ici pas traité. Il est donc recommandé d'appréhender la gestion des déblais non inertes sur le site avant le début des travaux.

12. Limites d'utilisation d'une étude de pollution

1- Une étude de la pollution du milieu souterrain a pour seule fonction de renseigner sur la qualité des sols, des eaux ou des déchets contenus dans le milieu souterrain. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité de notre société.

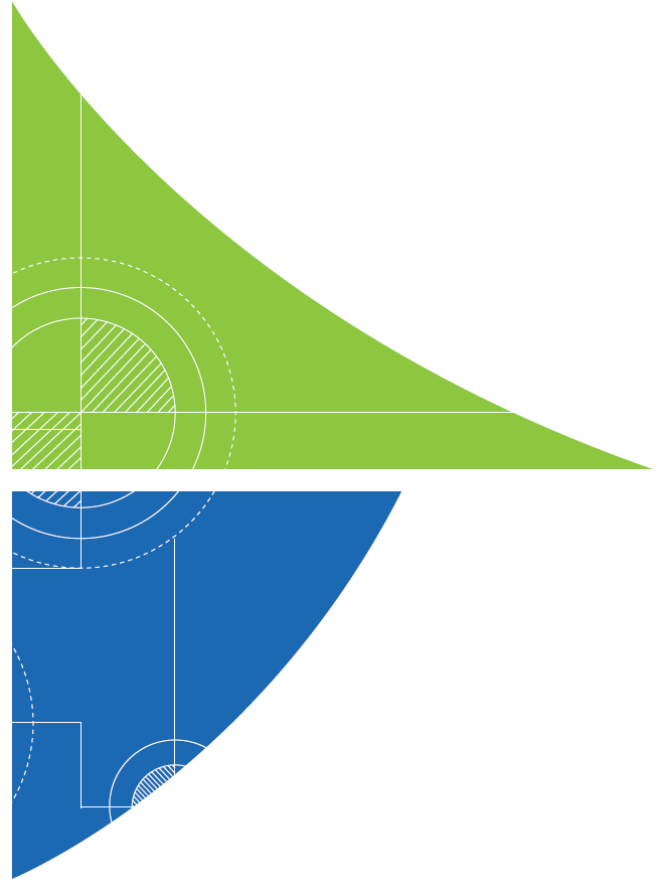
2- Il est précisé que le diagnostic repose sur une reconnaissance du sous-sol réalisée au moyen de sondages répartis sur le site, soit selon un maillage régulier, soit de façon orientée en fonction des informations historiques ou bien encore en fonction de la localisation des installations qui ont été indiquées par l'exploitant comme pouvant être à l'origine d'une pollution. Ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas, dont l'extension possible est en relation inverse de la densité du maillage de sondages, et qui sont liés à des hétérogénéités toujours possibles en milieu naturel ou artificiel. Par ailleurs, l'inaccessibilité de certaines zones peut entraîner un défaut d'observation non imputable à notre société.

3- Le diagnostic rend compte d'un état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs au diagnostic (interventions humaines, traitement des terres pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

4- La responsabilité de BURGEAP ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes et/ou erronées et en cas d'omission, de défaillance et/ou erreur dans les informations communiquées.

La responsabilité de BURGEAP ne pourra être engagée si les préconisations ne sont pas mises en œuvre

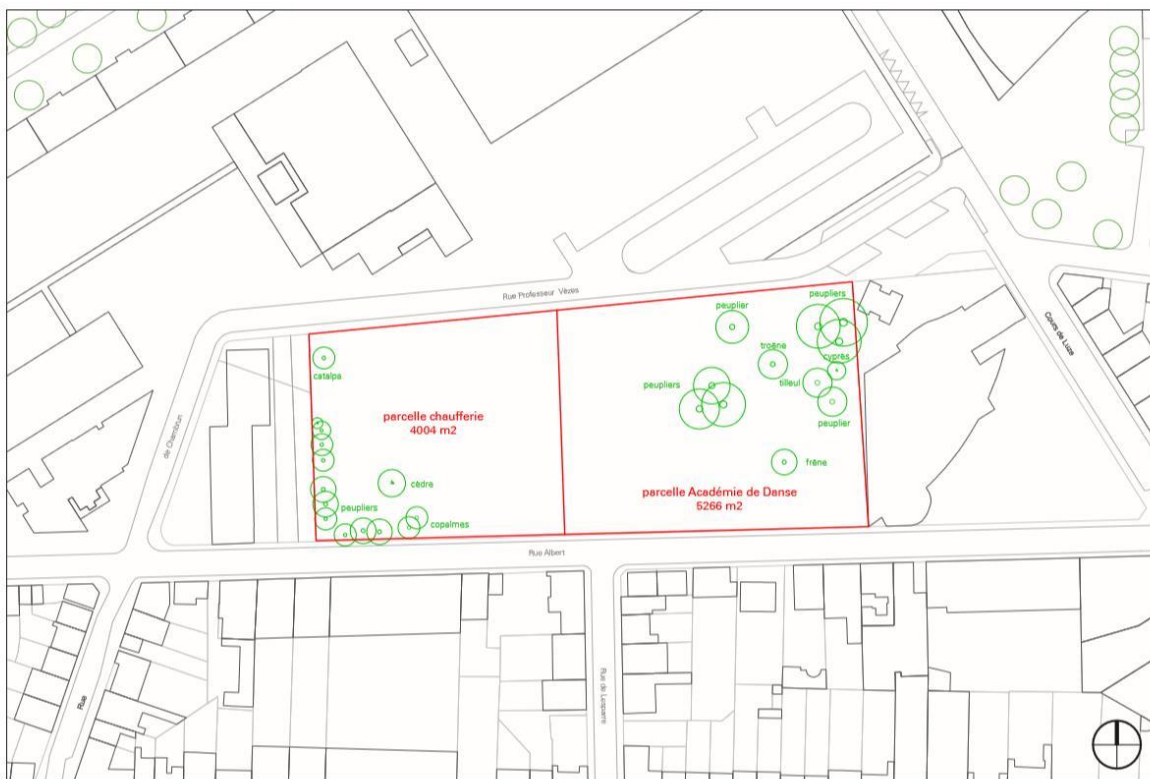
ANNEXES

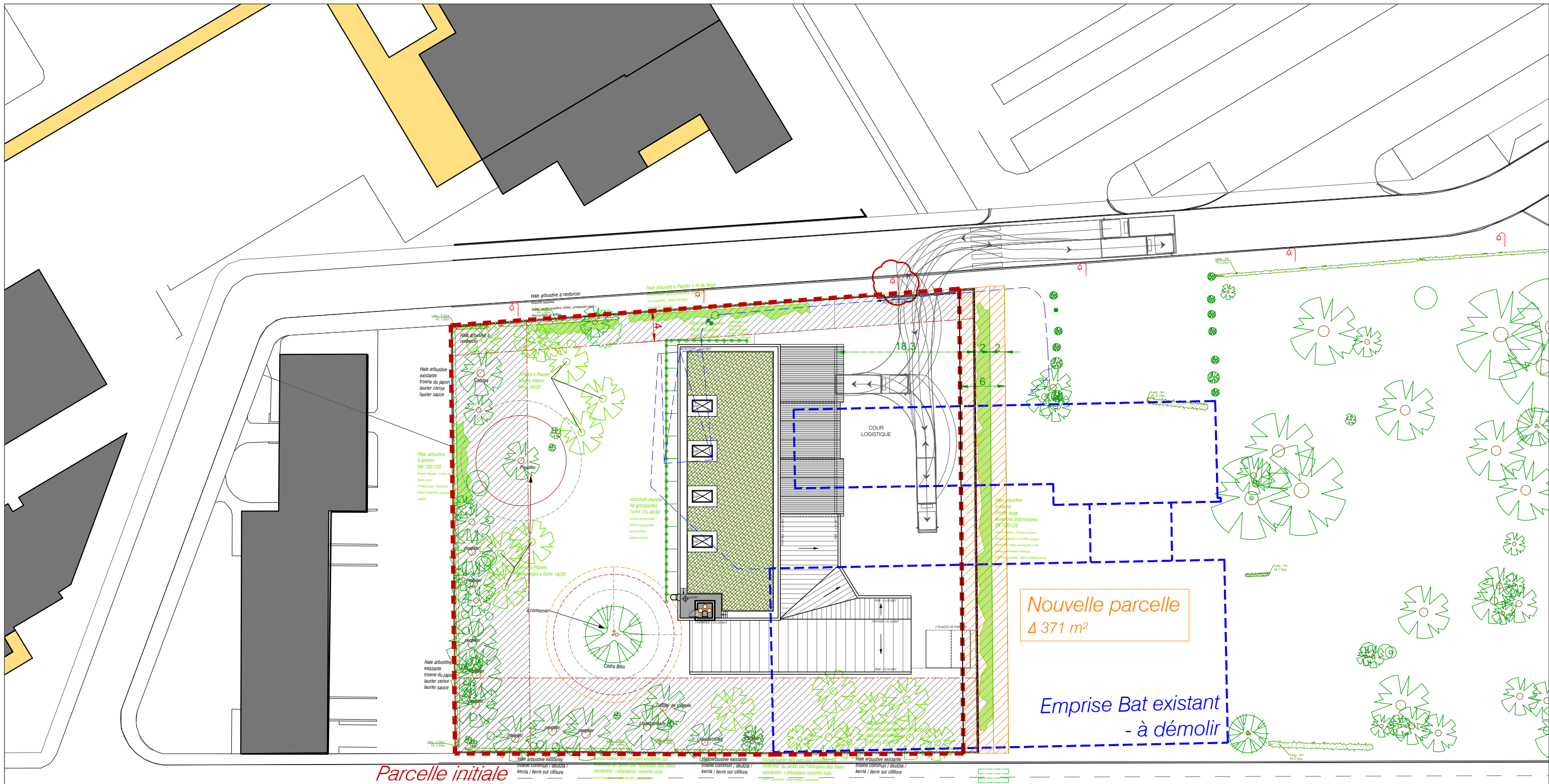


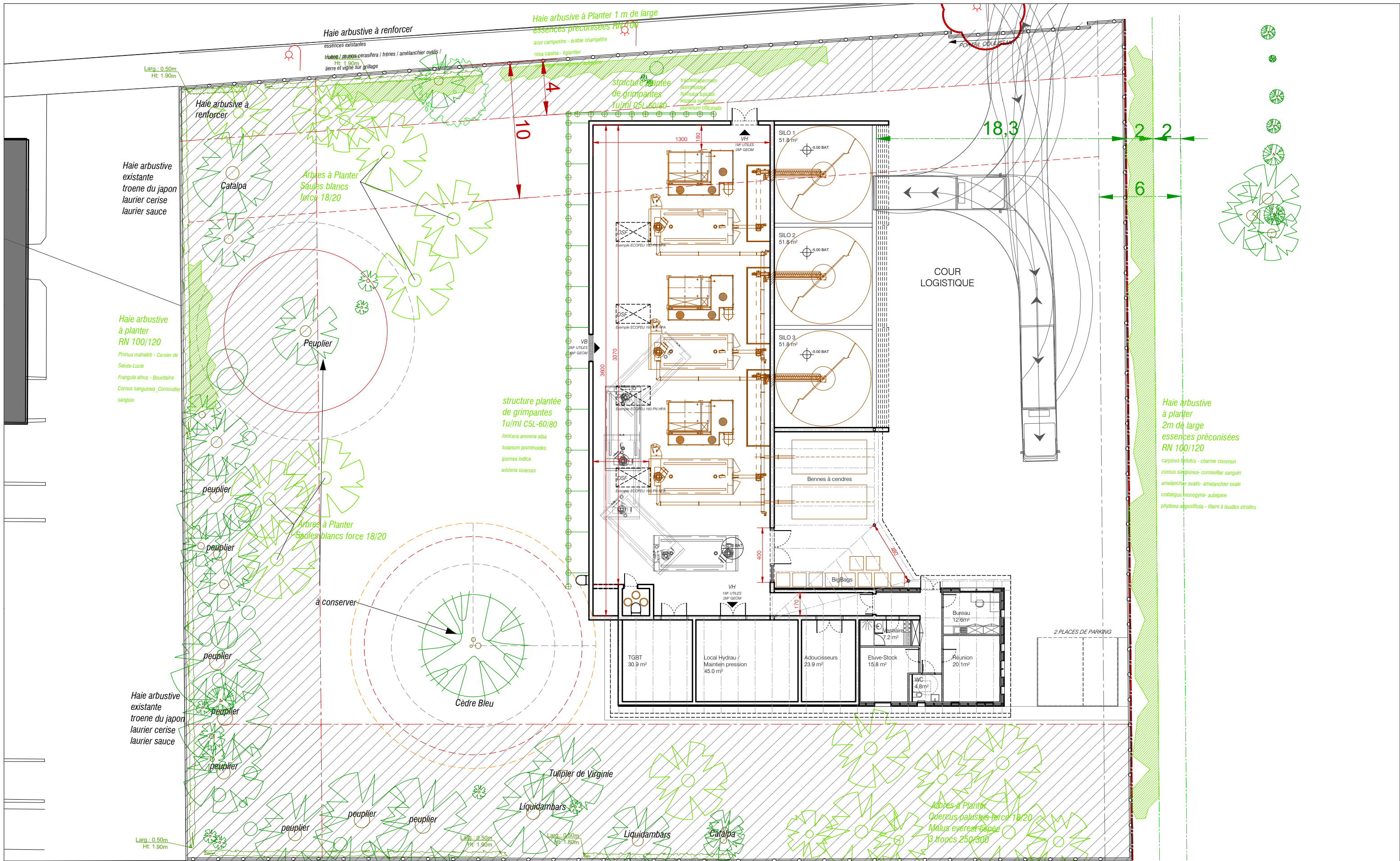
Annexe 1.

Plans emprise terrain pour chaufferie – Cartes des arbres identifiés – Esquisse d'implantation

REPÉRAGE PARCELLAIRE ET DIMENSIONNEMENT







Haie arbustive à renforcer
 essences existantes
 troène / troène cerasifera / frênes / amélanchier ovales /
 lierre et vigne sur grillage
 Larg.: 0.50m
 Ht: 1.90m

Haie arbustive à planter
 RN 100/120
 Prunus mahaleb - Cersier de
 Sainte-Lucie
 Frangula alnus - Bourdaine
 Cornus sanguinea - Cornouiller
 sanguin

Haie arbustive existante
 troène du japon
 laurier cerise
 laurier sauce

Haie arbustive à planter
 RN 100/120
 essences préconisées
 RN 100/120
 Carpinus betulus - charme commun
 cornus sanguinea - cornouiller sanguin
 amélanchier ovales - amélanchier ovale
 crataegus monogyna - aubépine
 phyllirea angustifolia - filaire à feuilles étroites

structure plantée
 de grimpantes
 1u/ml C5L-60/80
 trachelium
 asperifolius
 hystrix
 wisteria
 japonica
 pasitumum
 officinalis

structure plantée
 de grimpantes
 1u/ml C5L-60/80
 lonicera amoena alba
 solanum jasminoides
 pomea indica
 wisteria sinensis

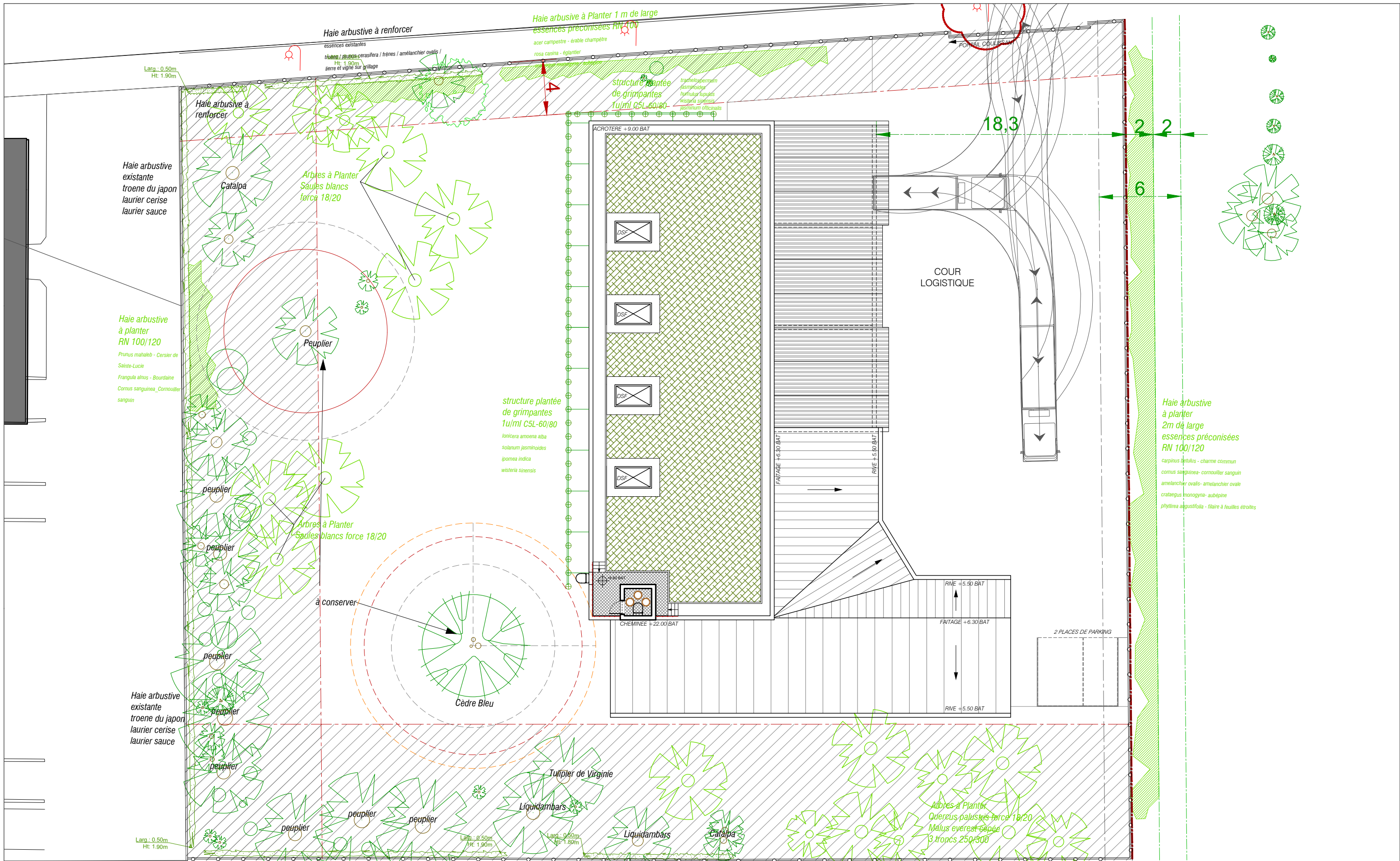
Haie arbustive existante
 troène du japon
 laurier cerise
 laurier sauce

Haie arbustive existante
 troène commun / deutzia /
 kerria / lierre sur clôture
 conservation des percées visuelles sur
 l'intérieur du jardin par l'entretien des haies
 existantes + plantation couvre-sols
 cornus canadensis - prairie angulata / hederia helix

Haie arbustive existante
 troène commun / deutzia /
 kerria / lierre sur clôture
 conservation des percées visuelles sur
 l'intérieur du jardin par l'entretien des haies
 existantes + plantation couvre-sols
 cornus canadensis / prairie angulata / hederia helix

Haie arbustive existante
 troène commun / deutzia /
 kerria / lierre sur clôture
 conservation des percées visuelles sur
 l'intérieur du jardin par l'entretien des haies
 existantes + plantation couvre-sols
 cornus canadensis / prairie angulata / hederia helix

Haie arbustive existante
 troène commun / deutzia /
 kerria / lierre sur clôture



Annexe 2. Evaluation multicritères du bilan/cout avantage

		Scénario 1 : Excavation des impacts en HAP, HCT et métaux avec recouvrement des espaces extérieurs	Scénario 2 : Excavation des impacts en HAP et recouvrement des espaces extérieurs	Scénario 3 : confinement de l'ensemble des zones impactées, et mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines.	Pondération
Critère économique : coût traitement + surveillance + investigations complémentaires + travaux annexes					
0	2800-3500 K€				
1	2100-2800 K€	1			
2	1400-2100 K€				
3	900-1400 K€		3	4	
4	<900 K€				
	Note	5	15	20	5
Critère technique : Fiabilité / atteinte des objectifs					
Durée hors surveillance		Scénario 1 : Excavation des impacts en HAP, HCT et métaux avec recouvrement des espaces extérieurs	Scénario 2 : Excavation des impacts en HAP et recouvrement des espaces extérieurs	Scénario 3 : confinement de l'ensemble des zones impactées, et mise en place d'un programme de surveillance des eaux souterraines.	Pondération
0	36 mois				
1	22-29 mois				
2	14-22 mois				
3	7-14 mois			3	
4	<7 mois	4	4		
	Note	8	8	6	2
Critère socio-politique : acceptabilité sociale					
0	Technique incertaine				
1	Technique moyennement expérimentée - efficacité à déterminer				
2	Technique expérimentée - efficacité à déterminer				
3	Technique éprouvée - efficacité élevée, à déterminer		3	3	
4	Technique éprouvée - efficacité élevée garantie	4			
	Note	12	9	9	3
Critère environnemental : Impact environnemental					
0	Zone source résiduelle présente distribuant panaches en aval et au droit du site				
1	Zone source résiduelle présente distribuant panaches au droit du site			1	
2	Zone source résiduelle sans risque sanitaire résiduel (pas de vecteur/ pas de transfert)				
3	Impacts résiduels, suppression de la zone source concentrée		3		
4	Plus de zone source	4			
	Note	8	6	2	2
Critère juridique/réglementaire : Impact sur le projet					
0	Contraint fortement le projet (modification programmatique)				
1	Contraintes apportant des modifications dans le projet et une surveillance			1	
2	Contraintes associées de type surveillance				
3	Aucun impact	3	3		
4	Apporte un plus, par exemple en termes de tout aménagement possible				
	Note	3	3	1	1
	Note totale	39	47	44	2

Annexe 3.

Données toxicologiques

Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain.

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

Types d'effets distingués

Par chaque substance, différents effets toxiques peuvent être considérés. On distinguera dans le présent document les effets cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (ou tératogènes consistant à la modification de l'ADN en particulier), les effets sur la reproduction (reprotoxicité) des autres effets toxiques.

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) ont classé les effets suscités en catégories ou classes. Celles-ci sont présentées en page suivante. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant-à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Les mentions de danger des substances sont présentées en préambule ainsi que les symboles (SGH01 à SGH09) qui les représentent. Ces mentions de danger sont liées au classement établi par l'Union Européenne.

Classification en termes de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
C1 (H350 ou H350i) : cancérogène avéré ou présumé l'être : C1A : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré C1B : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	A : Preuves suffisantes chez l'homme	1 : Agent ou mélange cancérogène pour l'homme
C2 : Substance suspectée d'être cancérogène pour l'homme	B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	2A : Agent ou mélange probablement cancérogène pour l'homme
Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	2B : Agent ou mélange peut-être cancérogène pour l'homme
	D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	3 : Agent ou mélange inclassables quant-à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent ou mélange probablement non cancérogène chez l'homme -

Classification en termes de mutagénicité

UE	
M1 (H340) : Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée.	M1A : Classification fondée sur des résultats positifs d'études épidémiologiques humaines. Substance considérée comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.
	M1B : Classification fondée sur des essais in vivo de mutagénicité sur des cellules germinales et somatiques et qui ont donné un ou des résultats positifs et sur des essais qui ont montré que la substance a des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans que la transmission de ces mutations à la descendance n'ait été établie.
M2 (H341) : Substance préoccupantes du fait qu'elle pourrait induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.	

Classification en termes d'effets reprotoxiques

UE	
R1 (H360 ou H360F ou H360D ou H360FD ou H360Fd ou H360fD) : Reprotoxique avéré ou présumé	R1A : Substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines.
	R1B : Substance présumée toxique pour la reproduction humaine. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des données provenant d'études animales.
R2 (H361 ou H361f ou H361d ou H361fd) : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine. Les substances sont classées dans cette catégorie lorsque les résultats des études ne sont pas suffisamment probants pour justifier une classification dans la catégorie 1 mais qui font apparaître un effet indésirable sur la fonction sexuelle et la fertilité ou sur le développement.	

La toxicité pour la reproduction comprend l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes non héréditaires sur la descendance.

Les effets sur la fertilité masculine ou féminine recouvrent les effets néfastes sur :

- sur la libido,
- le comportement sexuel,
- les différents aspects de la spermatogenèse ou de l'oogénèse,
- l'activité hormonale ou la réponse physiologique qui perturberaient la fécondation
- la fécondation elle-même ou le développement de l'ovule fécondé.

La toxicité pour le développement est considérée dans son sens le plus large, perturbant le développement normal aussi bien avant qu'après la naissance.

Les produits chimiques les plus préoccupants sont ceux qui sont toxiques pour la reproduction à des niveaux d'exposition qui ne donnent pas d'autres signes de toxicité.

Symboles et phrases de risques

Le SGH ou Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques est un ensemble de recommandations élaborées au niveau international. Il vise à harmoniser les règles de classification des produits chimiques et de communication des dangers (étiquettes, fiches de données de sécurité). En Europe, dans les secteurs du travail et de la consommation, le SGH est mis en application via le règlement CLP. Le nouveau règlement européen CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) 1272/2008 du 16 décembre 2008 relatif à la classification à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et modifiant les directives 67/548/CEE, 1999/45/CE et le règlement 1907/2006 a été publié le 31 décembre 2008 au Journal officiel de l'Union européenne.

Le règlement CLP est entré en vigueur le **20 janvier 2009**. Il prévoit néanmoins une période de transition durant laquelle l'ancien et le nouveau système de classification et d'étiquetage coexisteront. Sauf dispositions particulières prévues par le texte, la mise en application du nouveau règlement devient obligatoire à partir du **1er décembre 2010** pour les **substances** et du **1er juin 2015** pour les **mélanges**. Il est à souligner que, pour éviter toute confusion, les produits ne peuvent porter de double étiquetage. Au 1er juin 2015, le système préexistant sera définitivement abrogé et la nouvelle réglementation sera la seule en vigueur.

Les principales nouveautés pour l'étiquette de sécurité sont l'apparition de nouveaux pictogrammes de danger, de forme losange et composés d'un symbole noir sur un fond blanc bordé de rouge, et l'ajout de mention d'avertissement indiquant la gravité du danger ("DANGER", pour les produits les plus dangereux, et "ATTENTION"). Les étiquettes comporteront également des mentions de danger (ex: "Mortel par inhalation") en remplacement des phrases de risque (phrases R) et des nouveaux conseils de prudence (ex: "Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements").

MENTIONS DE DANGER
► 28 mentions de danger physique

- H200 : Explosif instable
- H201 : Explosif ; danger d'explosion en masse
- H202 : Explosif ; danger sérieux de projection
- H203 : Explosif ; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection
- H204 : Danger d'incendie ou de projection
- H205 : Danger d'explosion en masse en cas d'incendie
- H220 : Gaz extrêmement inflammable
- H221 : Gaz inflammable
- H222 : Aérosol extrêmement inflammable
- H223 : Aérosol inflammable
- H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables
- H225 : Liquide et vapeurs très inflammables
- H226 : Liquide et vapeurs inflammables
- H228 : Matière solide inflammable
- H240 : Peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H241 : Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur
- H242 : Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur
- H250 : S'enflamme spontanément au contact de l'air
- H251 : Matière auto-échauffante ; peut s'enflammer
- H252 : Matière auto-échauffante en grandes quantités ; peut s'enflammer
- H260 : Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément
- H261 : Dégage au contact de l'eau des gaz
- H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant
- H272 : Peut aggraver un incendie ; comburant
- H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 : Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H290 : Peut être corrosif pour les métaux

► 38 mentions de danger pour la santé

- H300 : Mortel en cas d'ingestion
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H302 : Nocif en cas d'ingestion
- H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H310 : Mortel par contact cutané
- H311 : Toxique par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H340 : Peut induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H350 : Peut provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H351 : Susceptible de provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet spécifique s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H318 : Provoque des lésions oculaires graves
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : Peut irriter les voies respiratoires
- H336 : Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H371 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>

► Pour certaines mentions de danger pour la santé des lettres sont ajoutées au code à 3 chiffres :



- H350i : Peut provoquer le cancer par inhalation
- H360F : Peut nuire à la fertilité
- H360D : Peut nuire au fœtus
- H361f : Susceptible de nuire à la fertilité
- H361d : Susceptible de nuire au fœtus
- H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus
- H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Fd : Peut nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

► 5 mentions de danger pour l'environnement

- H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques
- H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H413 : Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

► Symboles de danger

- **SHG01 : Explosif** (ce produit peut exploser au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottements).
- **SGH02 : Inflammable** (Le produit peut s'enflammer au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, de frottements, au contact de l'air ou au contact de l'eau en dégageant des gaz inflammables).
- **SGH03 : Comburant** (peut provoquer ou aggraver un incendie – peut provoquer une explosion en présence de produit inflammable).
- **SGH04 : Gaz sous pression** (peut exploser sous l'effet de la chaleur (gaz comprimé, liquéfié et dissous) – peut causer des brûlures ou blessures liées au froid (gaz liquéfiés réfrigérés).
- **SGH05 : Corrosif** (produit qui ronge et peut attaquer ou détruire des métaux – peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions aux yeux en cas de contact ou de projection).
- **SGH06 : Toxique ou mortel** (le produit peut tuer rapidement – empoisonne rapidement même à faible dose).
- **SGH07 : Dangereux pour la santé** (peut empoisonner à forte dose – peut irriter la peau, les yeux, les voies respiratoires – peut provoquer des allergies cutanées – peut provoquer somnolence ou vertige – produit qui détruit la couche d'ozone).
- **SGH08 : Nuit gravement pour la santé** (peut provoquer le cancer, modifier l'ADN, nuire à la fertilité ou au fœtus, altérer le fonctionnement de certains organes – peut être mortelle en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – peut provoquer des difficultés respiratoires ou des allergies respiratoires).
- **SGH09 : Dangereux pour l'environnement** (produit polluant – provoque des effets néfastes à court et/ou long terme sur les organismes des milieux aquatiques).

SGH01	SGH02	SGH03
		
SGH04	SGH05	SGH06
		
SGH07	SGH08	SGH09
		

Le tableau ci-après reprend l'ensemble des informations propres à chaque substance considérée dans la présente étude.

	CAS n°R	Volatilité	solubilité	Classement symboles	Mention de danger	classement cancérogénéicité			EFFETS TOXIQUES A SEUIL	
		Pv	S			UE	CIRC (IARC)	EPA	Organe cible (oral)	Organe cible (inh°)
METAUX ET METALLOIDES										
Mercure (Hg)	7439-97-6	non adequat	non adequat	SGH06, SGH08, SGH09	H360D, H330, H372, H400, H410	R1B	3	C à D	rein	SNC
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES										
Naphtalène	91-20-3	+	+	SGH07, SGH08, SGH09	H351, H302, H400, H410	C2	2B	C	poids	sys. Resp.
Acenaphtylène	208-96-8	-	+	-	-	-	-	D	-	-
Acenaphtène	83-29-9	-	+	-	-	-	-	-	syst.hepatique	-
Fluorène	86-73-7	-	+	-	-	-	3	D	syst.hepatique	-
Phénanthrène	85-01-8	-	+	-	-	-	3	D	syst.hepatique	-
Anthracène	120-12-7	--	-	-	-	-	3	D	-	-
Fluoranthène	206-44-0	--	-	-	-	-	3	D	syst.hepatique	-
Pyrène	129-00-0	--	-	-	-	-	3	D	rein	-
Benzo(a)anthracène	56-55-3	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2	-	-
Chrysene	218-01-9	--	-	SGH08, SGH09	H350, H341, H400, H410	C1B M2	3	B2	-	-
benzo(b)fluoranthène	205-99-2	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2	-	-
benzo(k)fluoranthène	207-08-9	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2	-	-
Benzo(a)pyrène	50-32-8	--	--	SGH07, SGH08, SGH09	H340, H360FD, H317, H400, H410	C1B M1B R1B	1	A	developpement	developpement
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2A	B2	-	-
benzo(g,h,i) pérylène	191-24-2	--	--	-	-	-	3	D	-	-
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	--	-	-	-	-	2B	B2	-	-
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES										
toluène	108-88-3	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H304, H315, H361d, H373, H336	R2	3	D	hepatique, rein	sys. Nerveux
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS										

	CAS n°R	Volatilité	solubilité	Classement symboles	Mention de danger	classement cancérogénéicité			EFFETS TOXIQUES A SEUIL	
		Pv	S			UE	CIRC (IARC)	EPA	Organe cible (oral)	Organe cible (inh°)
PCE (tétrachloroéthylène)	127-18-4	++	++	SGH08, SGH09	H351, H411	C2	2A	B1	hépatique	neurotoxicité
TCE (trichloroéthylène)	79-01-6	++	++	SGH07, SGH08	H350, H319, H336, H341, H315, H412	C1B M2	1	A	multiples	rein
cis 1,2DCE (dichloroéthylène)	156-59-2	++	++	SGH02, SGH07	H225, H335, H412	-	-	D	rein	hépatique
trans 1,2DCE (dichloroéthylène)	156-60-5		++	++	SGH02, SGH07	H225, H335, H412	-	-	D	immunitaire
1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène)	75-35-4	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H224, H351, H332	C2	3	C	hépatique	hépatique
VC (chlorure de vinyle)	75-01-4	++	++	SGH02, SGH08	H220, H350	C1A	1	A	hépatique	hépatique
Tétrachlorométhane	56-23-5	++	++	SGH06, SGH08	H351, H311, H372, EUH059, H331, H301, H412,	C2	2B	B2	hépatique	hépatique
TCmA (trichlorométhane ou chloroforme)	67-66-3	++	++	SGH07, SGH08	H351, H373, H315, H302,	C2	2B	B2	hépatique	hépatique
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH										
Aromatic nC>7-nC8 toluène	"	++	++						-	-
Aromatic nC>8-nC10	"	+	+						poids	poids
Aromatic nC>10-nC12	"	+	+						poids	poids
Aromatic nC>12-nC16	"	-	+						poids	poids
Aromatic nC>16-nC21	"	-	-						néphrotoxique	-
Aromatic nC>21-nC35	"	--	--						non adapté	-
		LEGENDE Volatilité : ++ : Pv > 1000 Pa (COV) + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) - : 10 > Pv > 10-2 Pa (non COV) -- : 10-2 > Pv > 10-5 Pa (non COV)		LEGENDE Solubilité : ++ : S > 100 mg/l + : 100 > S > 1 mg/l - : 1 > S > 0.01 mg/l -- : S < 0.01 mg/l						

Annexe 4. Relations dose-réponse

Relations dose-effet/dose-réponse

La dose est la quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour (mg/kg/j).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Etablies par diverses instances internationales ou nationales⁶ (Cf § H) sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : **les effets à seuil** de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil⁷) et **les effets sans seuil** de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour les **effets à seuil de dose**, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level),
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level),
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level),
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

Ces seuils sont issus d'expérimentations animales, d'études épidémiologiques ou d'essais de toxicologie clinique. A partir de ces seuils, des DJT (dose journalière tolérable) ou des CA (concentration admissible) applicables à l'homme sont définies en divisant les seuils précédents par des facteurs de sécurité liés aux types d'expérimentations ayant permis d'obtenir ces données. Les DJT et CA sont habituellement qualifiées de « valeur toxicologiques de références » (VTR).

Les **effets sans seuil de dose** sont exprimés au travers d'un indice représentant un excès de risque unitaire (ERU) qui traduit la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. Les ERU sont définis à partir d'études épidémiologiques ou animales. Les niveaux d'exposition appliqués à l'animal sont convertis en niveaux d'exposition équivalents pour l'homme.

Pour les effets à seuil de dose, les VTR sont exprimées en mg/kg/j pour l'ingestion et en µg/m³ pour l'inhalation, avec des dénominations variables selon les pays et les organismes, les principales dénominations sont reprises ci-dessous :

- DJT (dose journalière tolérable - France)
- RfD (Reference Dose – US-EPA)
- RfC (Reference Concentration – US-EPA)
- ADI (Acceptable Daily Intake – US-EPA)
- MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)
- REL (Reference Exposure Level – OEHHA)

⁶ ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)

OMS. Guidelines for drinking-water quality.

INCHEM-IPCS (International Program on Chemical Safety, OMS)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) peut également produire des VTR

⁷ Cancérogènes épigénétiques ou non génotoxiques

- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)
- CAA (Concentration dans l’Air Admissible – OMS);

En France, la dénomination retenue par l’ANSES⁸ pour l’ensemble de ses valeurs est la dénomination générique « VTR » (Valeur Toxicologique de Référence)

Pour les effets sans seuil de dose, les VTR seront présentées sous formes d’excès de risque unitaire (ERU). Cet ERU représente la probabilité de survenue d’un effet cancérigène pour une exposition à une unité de dose donnée. Les dénominations proposées les plus classiques sont les suivantes :

- l’excès de risque unitaire lié à la voie d’exposition orale : ERUo en (mg/kg/j)⁻¹,
- l’excès de risque unitaire par inhalation : ERUi en (µg/m³)⁻¹.

Critères de choix des VTR

La note d’information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d’impact et de la gestion des sites et sols pollués est prise en compte pour la sélection des VTR.

En l’absence de VTR établie par l’ANSES, en application de la note DGS/DGPR précitée, pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront recherchées de façon à discuter le choix réalisé sur les critères suivants :

- les valeurs issues d’études chez l’homme par rapport à des valeurs dérivées à partir d’études sur les animaux. Par ailleurs, la qualité de l’étude pivot sera également prise en compte (protocole, taille de l’échantillon, ...)
- les modes de calcul (degré de transparence dans l’établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués constitueront également un critère de choix ;
- les valeurs issues d’organismes reconnus (européens ou autres).

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

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

VTR pour la voie cutanée

Lors de la réalisation d’évaluations des risques sanitaires en France, l’exposition cutanée n’est pas prise en compte, en raison de l’absence de valeurs toxicologiques de référence (VTR) et de méthodologie d’élaboration. Ainsi, l’INERIS a récemment travaillé sur la prise en compte de la voie cutanée et a proposé une méthode de construction de VTR pour des effets sensibilisants pour une exposition de la peau (INERIS, rapport DRC-07-85452-12062A, 2007).

A l’heure actuelle, l’INERIS continue son travail concernant les VTR pour des effets cutanés. L’objet de son rapport DRC-09-94380-01323A d’avril 2009, est d’ajuster la méthodologie précédemment proposée en prenant notamment en compte les recommandations du document guide développé pour la mise en oeuvre du règlement REACH relatif à une méthodologie d’établissement des DNEL (Derived No Effect Level) pour les effets sensibilisants. La méthodologie a été appliquée à trois substances sensibilisantes : l’hydroquinone,

⁸ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l’Alimentation, de l’Environnement et du Travail

substance pour laquelle deux types de tests étaient disponibles (LLNA et GPMT) qui présentait ainsi une bonne étude de cas pour la méthodologie et le benzo(a)pyrène, substance couramment retrouvée en évaluation des risques. Le 3-méthyleugénol, faiblement sensibilisant, a également été étudié dans l'objectif d'avoir un aperçu sur l'étendue possible des valeurs des DNEL. Ces valeurs ne sont pas reprises dans le présent document.

In fine, BURGEAP applique la note DGS/DGPR d'octobre 2014 qui mentionne « en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, il ne doit être envisagé aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

Autres valeurs de comparaison utilisées

L'utilisation d'autres valeurs que les Valeurs Toxicologiques de Référence peut être réalisée parallèlement à la quantification des risques sanitaires. Ces autres valeurs permettent en effet de discuter de l'exposition des individus et d'estimer l'état des milieux, à savoir si un impact est mesuré (ou mesurable) ou non.

Ces valeurs de comparaison regroupent des valeurs réglementaires (France et Europe), des valeurs guide (OMS, INDEX, CHSPF) qui sont généralement des valeurs qui servent de point de départ à l'élaboration de valeurs réglementaires et, dans le contexte particulier du code du travail, des valeurs limites pour l'exposition professionnelle (VLEP) qu'elles soient réglementaires ou indicatives. Les VLEP peuvent en effet avec les seuils olfactifs être des éléments de l'interprétation de l'état du milieu air en l'absence de toute autre valeur guide.

Ces valeurs ne sont en aucun cas (conformément à la note DGS/DGPR d'octobre 2014) utilisées pour évaluer les Quotient de Danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) faisant référence à une évaluation des risques sanitaires. Ces valeurs appelées valeurs de comparaison constituent des critères de gestion.

Valeurs réglementaires

► Milieu EAU

Pour le milieu eau, les valeurs réglementaires pour les eaux potables issues de la réglementation française (décret 2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique sont utilisées.

Les valeurs réglementaires existantes constituent les critères de gestion des eaux à vocation alimentaire (donc la valeur limite de concentrations des eaux au robinet des habitations), à ce titre, il n'est pas approprié d'établir un autre critère de gestion pour les eaux de nappe qui ont vocation à être utilisées à des fins alimentaires directement (ingestion de l'eau d'un puits sans traitement) ou indirectement (ingestion de l'eau après traitement, ingestion de produits alimentaires arrosés avec l'eau de nappe, etc.). Sont également présentées les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine issues de ce même décret.

Au niveau Européen, la directive de la communauté européenne : Directive de la CE (03/11/98) donnent également la majorité des valeurs françaises.

Pour la baignade les valeurs réglementaires définies dans le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 **relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) sont retenues.**

NB : Un travail interne est actuellement en cours concernant la diffusion des Normes de qualité environnementales (NQE)

► Milieu AIR

Le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 transpose la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe et précise notamment les nouvelles normes à appliquer.

Ces valeurs réglementaires françaises sont établies pour l'air atmosphérique extérieur, pour des durées d'exposition (3h, 24h ou vie entière) et sur la base de moyennes horaires, journalières ou annuelles. On distingue 5 niveaux de **valeurs réglementaires** :

- **Objectif de qualité** : niveau de concentration à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.
- **Valeur cible** : niveau de concentration à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- **Valeur limite pour la protection de la santé** : niveau de concentration à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- **Seuil d'information et de recommandation** : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.
- **Seuil d'alerte de la population** : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Des valeurs réglementaires françaises existent pour le monoxyde de carbone, le benzène, le benzo(a)pyrène, les PM10 et PM2.5, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, arsenic, cadmium, nickel et plomb.

Enfin, pour l'air intérieur des ERP (Etablissement recevant du public) des valeurs guides réglementées en France ont été mises en place, elles sont reprises dans le présent document. La loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » dans les ERP. Le décret n° **2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur** y pourvoit pour le formaldéhyde, gaz incolore principalement utilisé pour la fabrication de colles, liants ou résines, et pour le benzène, substance cancérigène aux effets hématologiques issue de phénomènes de combustion (gaz d'échappement, cheminée, cigarette, etc.). La valeur-guide pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 30 µg/m³ au 1er janvier 2015 et à 10 µg/m³ au 1er janvier 2023. La valeur-guide pour le benzène est fixée pour une exposition de longue durée à 5 µg/m³ au 1er janvier 2013 et à 2 µg/m³ au 1er janvier 2016.

► Autres milieux

D'autres milieux sont concernés par des valeurs réglementaires en France (dans le domaine alimentaire par exemple). Celles-ci ne sont pas détaillées ici mais constituent au même titre que les concentrations dans l'eau et l'air des valeurs de gestion.

Valeurs guides

Les valeurs guides peuvent porter sur le milieu eau, air, sol et matrices alimentaires (animales, végétales). Ces valeurs, bien que reposant sur des critères sanitaires sont considérées comme des valeurs de gestion, et ne constituent pas, stricto sensu, des valeurs toxicologiques de référence.

► OMS –Eaux potables

L'OMS édite un ouvrage intitulé « Guidelines for drinking water quality » qui reprend les valeurs guides pour les eaux potables de nombreuses substances. Cet ouvrage régulièrement mis à jour est actuellement à sa 4^{ème} édition, elle date de 2011.

► OMS –Air et air intérieur

Le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2000 un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000]⁹ dans lequel figurent des valeurs guides pour la qualité de l'air.

L'objet de ce guide est de fournir une base pour la protection de la santé publique contre les effets néfastes des polluants atmosphériques, dans la perspective d'une cessation ou d'une réduction de l'exposition aux polluants qui nuisent certainement ou probablement à la santé ou au bien-être. Ce guide présente des informations générales et des conseils aux autorités internationales, nationales et locales qui souhaitent évaluer les risques et prendre des décisions concernant leur gestion. Ce guide établit des niveaux de polluants au-dessous desquels l'exposition (à vie ou pendant une période donnée) ne représente pas de risque important pour la santé publique.

En ce qui concerne les polluants abordés, les sections relatives à l'évaluation des risques pour la santé et aux valeurs-guides exposent les considérations les plus pertinentes qui ont conduit à l'adoption des valeurs-guides recommandées.

Certains polluants ont été revus par l'OMS en 2005 (WHO air quality guidelines, global update, 2005)¹⁰. Cette révision s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises ces dernières années (études épidémiologiques notamment).

Enfin, en 2010, l'OMS a publié un document intitulé « WHO guidelines for indoor air quality » [WHO 2010] dans lequel figurent des valeurs guides spécifiques pour la qualité de l'air intérieur.

► INDEX –Air intérieur

Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur propose des valeurs guide pour l'air intérieur.

Les substances listées dans ce document sont le benzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le naphthalène, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote, l'ammoniac, le limonène, l'alpha pinène.

Les informations sur les expositions, la toxicité et la caractérisation du risque ont conduit les membres du projet à donner des recommandations quant aux expositions dans l'air intérieur à ne pas dépasser pour différentes durées.

► ANSES – Air intérieur

L'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire humaine dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation, notamment en mobilisant une expertise scientifique et technique pluridisciplinaire nécessaire à l'évaluation des risques.

Pour faire face à l'enjeu que représente la qualité de l'air intérieur et apporter aux pouvoirs publics des informations utiles à la gestion de ce risque, l'ANSES s'est auto-saisie en octobre 2004, de l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) en France. Elles sont exclusivement construites sur des critères sanitaires. Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air, associée à un temps d'exposition (VGAI court terme, VGAI long terme, VGAI intermédiaire), en dessous de laquelle aucun effet sanitaire, aucune nuisance, ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Dans le cadre de substances dont les effets se manifestent sans seuil de dose, les VG sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.

⁹ WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

¹⁰ WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 october 2005.

En décembre 2014, date de la mise à jour de ce document, 11 polluants d'intérêt de l'air intérieur ont fait l'objet d'une expertise de l'Anses sur les VGAI.

Voir : <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

► CSHPF et HCSP

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) est une instance d'expertise scientifique et technique, placée auprès du ministre chargé de la santé. Cette instance a un rôle d'évaluation et de gestion des risques pour la santé de l'homme. Le CSHPF peut être consulté lorsque se posent des problèmes sanitaires. Les avis et les recommandations émis par le CSHPF constituent une base essentielle à la prise de décision en santé publique et peuvent également servir d'appui à l'élaboration de textes réglementaires.

Les avis et rapports du CSHPF sont consultables sur le site suivant : <http://www.sante.gouv.fr/avis-et-rapports-du-cshpf.html>

Le Haut Conseil de la santé publique a été officiellement installé le 14 mars 2007. Ses 105 membres ont élu leur président et leur vice-président. Le HCSP est une instance d'expertise créée par la Loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004. Il reprend, en les élargissant, les missions du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et celles du Haut Comité de la santé publique.

Les avis et rapports du HCSP sont consultables sur le site suivant :

<http://www.hcsp.fr/explore.cgi/accueil?ae=accueil>

Organismes consultés pour la recherche de VTR

Les bases de données consultées pour la recherche des VTR sont les suivantes (présentée dans l'ordre de priorité préconisé par la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014) :

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

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques. Les valeurs issues de ces bases de Données sont des données à caractère national mais elles sont internationalement reconnues..

Viennent ensuite les organismes pour lesquels la transparence dans l'établissement des valeurs n'est pas toujours adaptée à la sélection de leur VTR :

- **Health Canada = Santé Canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),
- **RIVM** (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),
- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis) qui établit également ces propres VTR. L'OEHHA se base souvent sur les mêmes études que l'US EPA mais les VTR sont souvent plus conservatoires.
- **EFSA** (European Food Safety Authority).

Des recueils de données sont consultés par ailleurs car ils regroupent les VTR des différents organismes cités ci-avant. Ce sont :

- **Furetox** (Faciliter l'Usage des REsources TOXicologique), base de données française réalisée en partenariat avec l'Institut de Veille sanitaire, l'ARS Nord Pas de Calais et l'ARS Ile de France.
- **TERA** (toxicology excellence for risk assessment), base de données **de ITER** (International Toxicity Estimates for Risk Database), établit une synthèse des données toxicologiques issues des autres bases de données.
- **INERIS** (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques - France), établit des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques qui synthétisent notamment l'ensemble des données toxicologiques issues des autres bases de données - à l'heure actuelle ce programme contient une cinquantaine de fiches.
- **IPCS INCHEM** (International Programme on Chemical Safety) : Portail d'accès à de nombreux sites dont le **CIRC** (Centre International de Recherche sur de Cancer), le **JEFCA** ([Joint Expert Committee on Food Additives](#)) et autres instances internationales.

Le recueil de donnée **RAIS** (Risk Assessment Information System – Etat Unis) reprenant les valeurs des autres organismes américains, en particulier du **NTP** (National Toxicology Program) et de **IRIS** de l'US EPA, n'est pas considéré compte tenu de l'absence de toute transparence dans les valeurs affichées.

Annexe 5. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition

Concentrations de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain-pied sur dallage indépendant

Description du modèle utilisé

La modélisation des expositions aux vapeurs est conduite sur la base des équations de **Johnson & Ettinger** (1991), dont la description est donnée ci-après. Les équations présentées dans la norme ASTM E 1739-95 et dans le logiciel intégré RISC v 4.0 (octobre 2001, Distribué par Waterloo hydrogeologic, développé par Lynn R.Spence et BP oil International) ont été réécrites par nos soins sous excel, les phénomènes considérés sont synthétisés ci-après.

La diffusion (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) entraîne les polluants à travers le sol jusqu'à la zone d'influence du bâtiment où le phénomène convectif intervient. Le mouvement convectif, dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur des bâtiments (occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation), transporte les vapeurs par les fissures des fondations et de la dalle béton.



Johnson & Ettinger, 1991
Dallage indépendant
 Yao et al., 2011

La concentration dans l'air intérieur en régime permanent (source infinie) est calculée à partir de la concentration dans l'air des sols à la source comme suit:

$$C_{\text{int}} = \alpha \cdot C_{vs} \quad (1)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{\left[\frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] \times \left[\exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) \right]}{\left[\exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) + \left[\frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] + \left[\frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_{\text{sol}} \times L_T} \right] \times \left[\exp\left(\frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) - 1 \right] \right]} \quad (2)$$

D_{eff} : coefficient de diffusion effectif (cm²/s) calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des différents horizons de sols entre la source de pollution et le dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après

C_{vs} : concentration de vapeur dans la source (g/cm³)

Q_{sol} : débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment (cm³/s), calculé à partir de la différence de pression et de la perméabilité des sols sous dallage

D_{crack} : coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm²/s), calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des sols sous dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après

A_{crack} : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment (cm²), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage

L_{crack} : épaisseur de la dalle (cm)

A_B : surface des bâtiments (cm²)

L_T : distance de la source au dallage (cm)

Q_b : Débit de renouvellement d'air du bâtiment (m³/s), calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment

Le débit Q_{sol} est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q_{sol} = \frac{2 \times \pi \times (\Delta P) \times k_v \times X_{crack}}{\mu \ln[2 \times Z_{crack} / r_{crack}]} \quad (3)$$

Avec ΔP : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur ($g/cm^2 \cdot s^2$)

k_v : perméabilité intrinsèque des sols (cm^2)

μ : viscosité des vapeurs ($g/cm \cdot s$)

X_{crack} : longueur du cylindre représentant la fissure, correspondant au périmètre du bâtiment considéré

r_{crack} : rayon équivalent de la fissure, calculé par le rapport entre (fraction des fissures dans le dallage x surface du dallage) et le périmètre du bâtiment considéré

Z_{crack} : profondeur des fissures sous le sol

π : 3.14159

Le terme en exponentiel dans l'équation (2) suivant :

$$\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}} \right)$$

représente le nombre de Péclet Equivalent pour le transport à travers les fondations du dallage, quand ce terme tend vers l'infini, la résolution de l'équation (2) approche :

$$\alpha = \frac{\left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right]}{\left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_{sol} \times L_T} \right] + 1}$$

La différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol ΔP : 40 $g/cm \cdot s^2$ (valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger). Cette différence de pression varie dans la littérature de 0 à 20 Pa (1 Pa = 10 $g/cm \cdot s^2$). L'effet du vent et de la température (chauffage) induit des variations de pression comprises typiquement entre 4 et 5 Pa (Loureiro et al. 1990 ; Grimsrud et al. 1983). Johnson et Ettinger considère qu'un ΔP de 4 Pa est conservatoire.

La perméabilité intrinsèque est obtenue à partir de la formule suivante : $k_i = \frac{K \times \mu}{\rho \times g}$

Calcul des coefficients de diffusion

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

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \tau_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \theta_{eau} \times \tau_{eau}^{-1} \quad (2)$$

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents.

Le coefficient de tortuosité (τ^{-1}) est défini de la manière suivante :

- dans l'air du sol : $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$
- dans la phase aqueuse du sol : $\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$,

Avec :

- H constante de Henry adimensionnelle,
- θ porosité totale,
- θ_{eau} teneur en eau du sol,
- θ_{gaz} teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$$

Equation utilisée quand $C_w < \text{Solubilité effective}$

- Avec C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 ρ_b : densité du sol (g/cm³)
 F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)
 K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)
 K_H : constante de Henry ((mg/l)/(mg/l))
 θ_a : teneur en air dans les sols (cm³ d'air/ cm³ de sol)
 θ_w : teneur en eau dans les sols (cm³ d'eau/ cm³ de sol)

$$C_{wi} = X \cdot S \text{ et } C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H}$$

Equation utilisée en présence de phase résiduelle dans les sols ($C_w > \text{Solubilité}$)

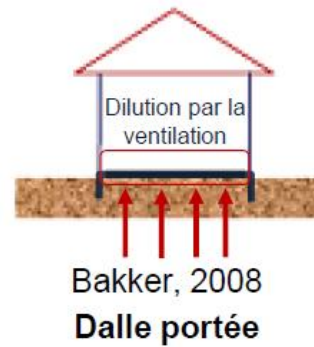
- Avec C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),
 H : constante de Henry (-)
 X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)
 S : solubilité de la substance i (mg/l)

Les équations du modèle en source finie ou infinie de Johnson et Ettinger utilisées sont consultables dans le document suivant : **USER'S GUIDE FOR EVALUATING SUBSURFACE VAPOR INTRUSION INTO BUILDINGS**, U.S. EPA OFFICE OF EMERGENCY AND REMEDIAL RESPONSE ; EPA Contract Number: 68-W-01-058 ; June 19, 2003

Concentration de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain pied sur dalle portée

Les équations reprises ci-après sont tirées de **Bakker et al.** 2008 (RIVM Report 711701049/2008) pour un bâtiment de plain-pied avec une dalle portée, elles ont été réécrites sous excel par nos soins.

Le flux de polluant gazeux venant du sol vers l'air intérieur J_T combine le transport convectif et diffusif à travers les différents horizons de sols et la dalle considérée ici comme un milieu poreux équivalent. Les équations proposées par Waitz et al. (1996) pour chaque couche sont reprises par Bakker et al. (2008).



Le flux de polluant J_T s'écrit :

$$J_T = \frac{-F_T \cdot C_{gds}}{\exp\left[-F_T L_T / D_{eff}\right] - 1} \quad (1)$$

Avec J_T : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur (g/m²/h)
 F_T : flux convectif total à travers le système sol+dalle (m³/m²/h)
 L_T : longueur totale du système considéré entre la source et l'air intérieur (m) : hauteur de sols (L_s) + de dalle (L_f)
 D_{eff} : coefficient de diffusion effectif intégrant les sols et la dalle (m²/h)
 C_{gds} : concentration dans les gaz du sol à la source (g/m³)

NB : Les équations sont simplifiées par l'auteur considérant que la concentration dans l'air intérieur à la surface de la dalle est négligeable devant celle dans les gaz du sol.

Le flux convectif F_T s'écrit comme suit :

$$F_T = \frac{dP_T}{L_s / K_s + L_f / K_f} \quad (2)$$

Avec dP_T : différence de pression entre l'intérieur du bâtiment et les sols (jusqu'à la source) (Pa)
 F_T : flux convectif total à travers le système sol+dalle (m³/m²/h)
 L_s : hauteur de sol entre la source et la base de la dalle (m)
 L_f : épaisseur de la dalle (m)
 K_s : conductivité équivalente du sol entre la source et la dalle (m²/Pa/h)
 K_f : conductivité équivalente de la dalle (m²/Pa/h)

Pour une succession de lithologies présentant des perméabilités différentes, le coefficient de conductivité équivalent K_s est calculé comme suit :

$$K_s = \frac{L_s}{\sum_{(0 \text{ à } L_s)} [L_h / k_h]} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (3)$$

Avec L_h : épaisseur de l'horizon h (m)
 L_s : profondeur de la source considérée (m)
 k_h : perméabilité au gaz de l'horizon h (m²)
 η : viscosité dynamique du gaz (m²)

La concentration dans l'air intérieur C_{int} est dépendante du débit massique de polluant J_T et du taux de renouvellement d'air du bâtiment vv_i . D'un point de vue théorique, le renouvellement d'air vv_i dépend du taux de ventilation τ_i mais également du débit d'air entrant dans le bâtiment à travers les sols Q_{soil} .

$$C_{int} = \frac{J_T}{h_i \times vv_i} \quad (4) \quad \text{avec} \quad vv_i = \tau_i + \frac{Q_{soil}}{A_c \times h_i} \quad (5) \quad \text{et} \quad Q_{soil} = F_T \cdot A_c \cdot 24 \quad (6)$$

Avec C_{int} : concentration en polluant dans l'air intérieur (mg/m³)
 h_i : hauteur du rez-de-chaussée (m)
 vv_i : taux de renouvellement de l'air intérieur (j⁻¹)
 τ_i : taux de ventilation d'air de l'espace du bâtiment considéré (j⁻¹), valeur issue de la réglementation
 J_T : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur (m³/j)
 Q_{soil} : flux d'air du sol vers l'air intérieur (m³/j)
 F_T : flux convectif total à travers le système sol+dalle (m³/m²/h)
 A_i : surface du bâtiment (m²)

Pour les sources situées à faible profondeur sous la structure (< quelques mètres) ou des tailles conséquentes de bâtiments (plusieurs centaines de m²), considérant que l'empreinte du bâtiment va conduire à accumuler les polluants sous la dalle, les terrains ne sont pas considérés comme un frein sous la dalle, les équations retenues par BURGEAP sont alors les suivantes pour la perméabilité, le flux convectif et le flux total :

$$J_T = \frac{-F_T \cdot C_{gds}}{\exp\left[-F_T \frac{L_f}{D_f}\right] - 1} \quad (7)$$

Avec J_T : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur (g/m²/h)

F_T : flux convectif total à travers la dalle (m³/m²/h)

L_f : épaisseur de la dalle (m)

D_f : coefficient de diffusion à travers la dalle (m²/h)

C_{gds} : concentration dans les gaz du sol (g/m³)

Le flux convectif F_T s'écrit comme suit :

$$F_T = \frac{dP_T}{L_f / K_f} \quad (8)$$

Avec dP_T : différence de pression entre l'intérieur du bâtiment et les sols sous-jacents (Pa)

F_T : flux convectif total à travers la dalle (m³/m²/h)

L_f : épaisseur de la dalle (m)

K_f : conductivité équivalente de la dalle (m²/Pa/h)

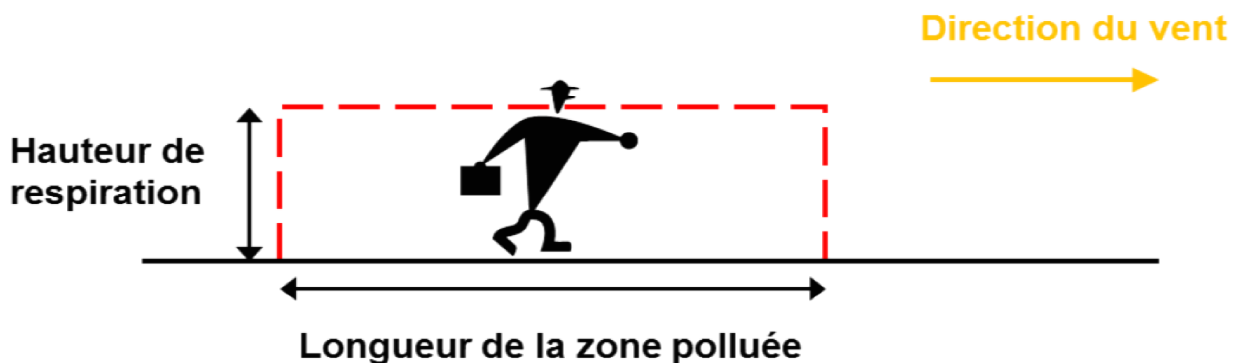
Parmi les paramètres suivants, certains sont retenus pour le modèle.

	Paramètre	Bakker et al (2008)	Source
dP _T	Différence de pression entre bâti et sol	4 Pa	Valeur conservatoire par défaut proposée par Johnson et Ettinger (1991)
K _f	Perméabilité de la dalle (si non connue pour des nouvelles constructions)	2.10 ⁻⁷ cm ²	Soit 2.10 ⁻¹¹ m ² correspondant à une dalle de qualité « normale » selon Bakker et al. (2008)
K _f	Perméabilité de la dalle (pour des radiers et cuvelage)	2.10 ⁻⁹ cm ²	Soit 2.10 ⁻¹³ m ² correspondant à une dalle de bonne qualité selon Bakker et al. (2008)
K _f	Perméabilité de la dalle (en présence d'une géomembrane en base ou résine de type epoxy)	2.10 ⁻¹¹ cm ²	Soit 2.10 ⁻¹⁵ m ² correspondant à une dalle de très bonne qualité selon Bakker et al. (2008)
	Porosité de la dalle (pour D _f)	12%	Cette valeur est déterminée pour un béton ordinaire de rapport E/C = 0,48, d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.
	Teneur en eau de la dalle (pour D _f)	7%	Valeur par défaut
L _{crack} , L _f	Epaisseur de la dalle	0,1m	Hypothèse

Concentration de vapeur dans l'air extérieur

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

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boîte).



La concentration moyenne dans l'air extérieur est calculée de la façon suivante :

$$C_{i,air-ext} = \frac{F}{v} \cdot \frac{L}{H}$$

Avec $C_{i, air-ext}$: concentration moyenne dans l'air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)

F : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)

L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)

v : vitesse moyenne du vent (m/s).

H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur est calculé à partir de l'équation de FICK (flux diffusif seul) suivante :

$$\phi(g / m^2 - j) = D_{eff} * \frac{\partial C}{\partial z}$$

Où:-

- dC/dz : gradient de concentration ($\text{g}/\text{m}^3\text{-m}$) entre la concentration à la source (la concentration dans les gaz à l'équilibre avec les sols pollués ou les eaux de la nappe polluée).
- le coefficient de diffusion effectif (D_{eff} en m^2/j) dans le sol prend en considération à la fois la diffusion dans la phase aqueuse et dans la phase gazeuse¹¹ est donné ci-après.

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

¹¹ Dans la notice d'utilisation de VOLASOII, il est souligné qu'en zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement 10^3 fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse (Glotfely & Schomburg, 1991).

$$D_{sa} = D_{air} \times \rho_{air} \times \theta_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \rho_{eau} \times \theta_{eau}^{-1} \quad (2)$$

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents.

Le coefficient de tortuosité (τ^{-1}) est défini de la manière suivante :

- dans l'air du sol : $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$
- dans la phase aqueuse du sol : $\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$,

Avec :

- H : constante de Henry adimensionnelle,
- θ : porosité totale,
- θ_{eau} : teneur en eau du sol,
- θ_{air} : teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$$

Equation utilisée quand $C_w < \text{Solubilité effective}$

- Avec** C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 ρ_b : densité du sol (g/cm³)
 F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)
 K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)
 K_H : constante de Henry ((mg/l)/(mg/l))
 θ_a : teneur en air dans les sols (cm³ d'air/ cm³ de sol)
 θ_w : teneur en eau dans les sols (cm³ d'eau/ cm³ de sol)

$$C_{wi} = X \cdot S \quad \text{et} \quad C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H}$$

Equation utilisée en présence de phase résiduelle dans les sols ($C_w > \text{Solubilité}$)

- Avec** C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),
 H : constante de Henry (-)
 X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)
 S : solubilité de la substance i (mg/l)

Caractéristique des recouvrements :

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

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

La teneur en gaz doit être comprise entre 3 et 5%, en dessous de 3 %, le revêtement serait sujet à des déformations permanentes trop importantes (Roberts et al. 1996). En dessous de 2%, le volume de vide n'est pas suffisant pour la dilatation du matériau en cas de fortes chaleurs¹²

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

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

Le tableau suivant présente ces rapports pour différentes hypothèses.

	Gamme enrobé asphalté (hors enrobé poreux)							bétons (pour mémoire)
porosité	2%	2%	3%	3%	4%	5%	5%	12%
teneur en gaz	1%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	5%
teneur en eau	1%	0%	1%	0%	1%	2%	1%	7%
D0/ Deff	1856	184	414	107	191	298	114	312

¹² <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/frequently-asked-questions-faqs/asphalt-pavement-construction/>

Annexe 6. Détails des calculs de dose et de risque

Calculs sur les sols :

	Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur des lieux de vie			Inhalation air intérieur - Bakker - air intérieur des lieux de vie			Inhalation air extérieur avec recouvrement		
	Effets toxiques sans seuil Exces de risques individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	Effets toxiques sans seuil Exces de risques individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	Effets toxiques sans seuil Exces de risques individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)
	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1
SUBSTANCES		7							
METEAUX ET METALLOIDES									
Mercuré (Hg)	non calculé	non calculé	0.19	non calculé	non calculé	0.04	non calculé	non calculé	0.00
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES									
Naphtalène	1.16E-06	non calculé	0.01	2.32E-07	non calculé	0.00	9.50E-09	non calculé	0.00
Acenaphthylène	5.85E-08	non calculé	non calculé	1.23E-08	non calculé	non calculé	1.63E-11	non calculé	non calculé
Acenaphthène	1.33E-08	non calculé	non calculé	2.80E-09	non calculé	non calculé	5.74E-12	non calculé	non calculé
Fluorène	1.55E-08	non calculé	non calculé	3.42E-09	non calculé	non calculé	8.95E-12	non calculé	non calculé
Phénanthrène	2.00E-08	non calculé	non calculé	4.41E-09	non calculé	non calculé	1.16E-11	non calculé	non calculé
Anthracène	8.58E-08	non calculé	non calculé	2.04E-08	non calculé	non calculé	1.57E-11	non calculé	non calculé
Fluoranthène	7.64E-09	non calculé	non calculé	2.32E-09	non calculé	non calculé	1.30E-12	non calculé	non calculé
Pyrène	2.68E-09	non calculé	non calculé	8.22E-10	non calculé	non calculé	4.40E-13	non calculé	non calculé
Benzo(a)anthracène	4.93E-08	non calculé	non calculé	1.39E-08	non calculé	non calculé	1.07E-11	non calculé	non calculé
Chrysène	2.84E-09	non calculé	non calculé	1.08E-09	non calculé	non calculé	3.83E-13	non calculé	non calculé
benzo(b)fluoranthène	3.97E-10	non calculé	non calculé	3.39E-10	non calculé	non calculé	3.81E-14	non calculé	non calculé
benzo(k)fluoranthène	2.45E-10	non calculé	non calculé	2.21E-10	non calculé	non calculé	2.29E-14	non calculé	non calculé
Benzo(a)pyrène	4.81E-09	non calculé	0.01	6.85E-09	non calculé	0.01	6.82E-13	non calculé	0.00
Dibenzo(a,h)anthracène	5.37E-10	non calculé	non calculé	1.32E-09	non calculé	non calculé	3.35E-14	non calculé	non calculé
benzo(g,h,i) pérylène	4.44E-12	non calculé	non calculé	6.51E-12	non calculé	non calculé	2.93E-16	non calculé	non calculé
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	1.17E-10	non calculé	non calculé	1.44E-10	non calculé	non calculé	1.13E-14	non calculé	non calculé
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH									
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	0.11	non calculé	non calculé	0.02	non calculé	non calculé	0.00
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>21-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé

Calculs sur les eaux souterraines :

	Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur des lieux de vie			Inhalation air intérieur - Bakker - air intérieur des lieux de vie			Inhalation air extérieur avec recouvrement		
	Effets toxiques sans seuil Exces de risques Individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	Effets toxiques sans seuil Exces de risques Individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	Effets toxiques sans seuil Exces de risques Individuels (ERI)	Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)
	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1	Adulte 1
SUBSTANCES									
METAUX ET METALLOIDES									
Mercure (Hg)	non calculé	non calculé	0.01	non calculé	non calculé	0.01	non calculé	non calculé	0.00
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES									
Naphtalène	5.73E-10	non calculé	0.00	3.77E-10	non calculé	0.00	2.44E-13	non calculé	0.00
Acénaphthylène	1.44E-11	non calculé	non calculé	1.12E-11	non calculé	non calculé	5.94E-15	non calculé	non calculé
Acénaphthène	2.87E-11	non calculé	non calculé	2.27E-11	non calculé	non calculé	1.17E-14	non calculé	non calculé
Fluorène	1.06E-11	non calculé	non calculé	9.25E-12	non calculé	non calculé	4.26E-15	non calculé	non calculé
Phénanthrène	4.36E-11	non calculé	non calculé	3.13E-11	non calculé	non calculé	1.83E-14	non calculé	non calculé
Anthracène	8.42E-11	non calculé	non calculé	8.06E-11	non calculé	non calculé	3.35E-14	non calculé	non calculé
Fluoranthène	1.14E-11	non calculé	non calculé	1.20E-11	non calculé	non calculé	4.39E-15	non calculé	non calculé
Pyrène	9.93E-12	non calculé	non calculé	1.10E-11	non calculé	non calculé	3.78E-15	non calculé	non calculé
Benzo(a)anthracène	1.28E-09	non calculé	non calculé	1.05E-09	non calculé	non calculé	5.25E-13	non calculé	non calculé
Chrysène	3.37E-11	non calculé	non calculé	3.98E-11	non calculé	non calculé	1.22E-14	non calculé	non calculé
benzo(b)fluoranthène	1.12E-10	non calculé	non calculé	1.29E-10	non calculé	non calculé	2.68E-14	non calculé	non calculé
benzo(k)fluoranthène	3.48E-11	non calculé	non calculé	4.02E-11	non calculé	non calculé	8.01E-15	non calculé	non calculé
Benzo(a)pyrène	1.07E-09	non calculé	0.00	1.33E-09	non calculé	0.00	2.78E-13	non calculé	0.00
Dibenzo(a,h)anthracène	7.25E-11	non calculé	non calculé	1.09E-10	non calculé	non calculé	8.09E-15	non calculé	non calculé
benzo(g,h,i) pérylène	1.70E-12	non calculé	non calculé	2.13E-12	non calculé	non calculé	2.48E-16	non calculé	non calculé
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	3.48E-11	non calculé	non calculé	4.18E-11	non calculé	non calculé	5.76E-15	non calculé	non calculé
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES									
toluène	non calculé	non calculé	0.00	non calculé	non calculé	0.00	non calculé	non calculé	0.00
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH									
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	0.01	non calculé	non calculé	0.00	non calculé	non calculé	0.00
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	0.00	non calculé	non calculé	0.00	non calculé	non calculé	0.00
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>21-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANICO-HALOGENES VOLATILS									
chlorure de vinyle (VC)	1.35E-06	non calculé	0.01	7.39E-07	non calculé	0.00	6.35E-10	non calculé	0.00
TOTAL	1.35E-06	0.00E+00	2.96E-02	7.42E-07	0.00E+00	2.28E-02	6.36E-10	0.00E+00	1.26E-05

Annexe 7.

Propriétés physico-chimiques

LEGENDE Volatilité :					LEGENDE Solubilité :		
++ : Pv > 1000 Pa (COV)		- : 10 > P > 10-2 Pa (non COV)			++ : S > 100 mg/l		- : 1 > S > 0.01 mg/l
+ : 1000 > Pv > 10 Pa (COV)		-- : 10-2 > P > 10-5 Pa (non COV)			+ : 100 > S > 1 mg/l		-- : S < 0.01 mg/l
CAS n°R	Volatilité Pv	solubilité S	Classement symboles	Mention de danger	classement cancérogénécité		
					UE	CIRC (IARC)	EPA

METAUX ET METALLOIDES

Antimoine (Sb)	7440-36-0	non adéquat	non adéquat	SGH07, SGH09	H332, H302, H411	C2	-	-
Arsenic (As)	7440-38-2	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH09	H331, H301, H400, H410	C1A	1	A
Cadmium (Cd)	7440-43-9	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH08, SGH09	H350, H341, H361fd, H330, H372, H400, H410	C1B/C2 M1B/M2 R1B/R2	1	prob canc
Chrome III (CrIII)	1308-38-9	non adéquat	non adéquat	-	-	-	3	D
Chrome VI (CrVI)	trioxyde de Cr 1333-82-0	non adéquat	non adéquat	SGH03, SGH05, SGH06, SGH08, SGH09	H271, H350, H340, H361f, H330, H311, H301, H372, H314, H334, H317, H410	C1A M1B R2	1	A (inh°) D (oral)
Cuivre (Cu)	7440-50-8	non adéquat	non adéquat	-	-	-	3	D
Etain (Sn)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	-	-	-
Mercuré (Hg)	7439-97-6	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH08, SGH09	H360D, H330, H372, H400, H410	R1B	3	C à D
Molybdène (Mo)	7439-98-7	non adéquat	non adéquat	trioxyde : SGH07, SGH08	Trioxyde : H351, H319, H335	trioxyde : C2	-	-
Nickel (Ni)	7440-02-0	non adéquat	non adéquat	SGH07, SGH08	H351, H372, H317, H412	C2	2B	A
Plomb (Pb)	7439-92-1	non adéquat	non adéquat	SGH07, SGH08, SGH09	H360Df, H332, H373, H400, H410	R1A	2B	B2
Sélénium (Se)	7782-49-2	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH08	H331, H301, H373, H413	-	3	D
Zinc (Zn)	7440-66-6 (poudre)	non adéquat	non adéquat	SGH02 (pyrophorique) SGH09	H250, H260 (pyrophorique) H400, H410	-	-	D

HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

Naphtalène	91-20-3	+	+	SGH07, SGH08, SGH09	H351, H302, H400, H410	C2	2B	C
Acenaphtylène	208-96-8	-	+	-	-	-	-	D
Acenaphtène	83-29-9	-	+	-	-	-	-	-
Fluorène	86-73-7	-	+	-	-	-	3	D
Phénanthrène	85-01-8	-	+	-	-	-	3	D
Anthracène	120-12-7	--	-	-	-	-	3	D
Fluoranthène	206-44-0	--	-	-	-	-	3	D
Pyrène	129-00-0	--	-	-	-	-	3	D
Benzo(a)anthracène	56-55-3	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2
Chrysène	218-01-9	--	-	SGH08, SGH09	H350, H341, H400, H410	C1B M2	3	B2
benzo(b)fluoranthène	205-99-2	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	207-08-9	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2B	B2
Benzo(a)pyrène	50-32-8	--	--	SGH07, SGH08, SGH09	H340, H350, H360FD, H317, H400, H410	C1B M1B	1	B2
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	--	--	SGH08, SGH09	H350, H400, H410	C1B	2A	B2
benzo(g,h,i) pérylène	191-24-2	--	--	-	-	-	3	D
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	--	-	-	-	-	2B	B2

LEGENDE Volatilité :					LEGENDE Solubilité :		
++ : Pv > 1000 Pa (COV)		- : 10 > P > 10-2 Pa (non COV)			++ : S > 100 mg/l		- : 1 > S > 0.01 mg/l
+ : 1000 > Pv > 10 Pa (COV)		-- : 10-2 > P > 10-5 Pa (non COV)			+ : 100 > S > 1 mg/l		-- : S < 0.01 mg/l
CAS n°R	Volatilité Pv	solubilité S	Classement symboles	Mention de danger	classement cancérogénéicité		
					UE	CIRC (IARC)	EPA

COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES

benzène	71-43-2	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H350, H340, H372, H304, H319, H315	C1A M1B	1	A
toluène	108-88-3	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H361d, H304, H373, H315, H336	R2	3	D
éthylbenzène	100-41-4	+	++	SGH02, SGH07	H225, H332	-	2B	-
xylènes	1330-20-7	+	++	SGH02, SGH07	H226, H332, H312, H315	-	3	-
styrène	100-42-5	+	++	SGH02, SGH07	H226, H332, H319, H315	-	2B	-
cumène (isopropylbenzène)	98-82-8	+	+	SGH02, SGH07, SGH08, SGH09	H226, H304, H335, H411	-	2B	D
mesitylène (1,3,5 Triméthylbenzène)	108-67-8	+	+	SGH02, SGH07, SGH09	H226, H335, H411	-	-	-
pseudocumène (1,2,4 Triméthylbenzène)	95-63-6	+	+	SGH02, SGH07, SGH09	H226, H332, H319, H335, H315, H411	-	-	-

COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS

PCE (tétrachloroéthylène)	127-18-4	++	++	SGH08, SGH09	H351, H411	C2	2A	B1
TCE (trichloroéthylène)	79-01-6	++	++	SGH07, SGH08	H350, H341, H319, H315, H336, H412	C1B M2	1	A
cis 1,2DCE (dichloroéthylène)	156-59-2	++	++	SGH02, SGH07	H225, H335, H412	-	-	D
trans 1,2DCE (dichloroéthylène)	156-60-5		++	SGH02, SGH07	H225, H335, H412	-	-	D
1,1 DCE (1,1 dichloroéthylène)	75-35-4	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H224, H351, H332	C2	3	C
VC (chlorure de vinyle)	75-01-4	++	++	SGH02, SGH08	H220, H350	C1A	1	A
1,1,2 trichloroéthane	79-00-5	++	++	SGH07, SGH08	H351, H332, H312, EUH066	C2	3	C
1,1,1 trichloroéthane	71-55-6	++	++	SGH07	H332, EUH059	-	3	D
1,2 dichloroéthane	107-06-2	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H350, H302, H319, H335, H315	C1B	2B	B2
1,1 dichloroéthane	75-34-3	++	++	SGH02, SGH07	H225, H302, H319, H335, H412	-	-	C
Tétrachlorométhane	56-23-5	++	++	SGH06, SGH08	H351, H331, H311, H301, H372, H412, EUH059	C2	2B	B2
TCMA (trichlorométhane ou chloroforme)	67-66-3	++	++	SGH07, SGH08	H351, H302, H373, H315	C2	2B	B2
dichlorométhane	75-09-2	++	++	SGH08, SGH09	H351	C2	2B	B2
trichlorobenzènes	87-61-1 120-82-1 108-70-3	+	+	SGH07, SGH09	H302, H315, H400, H410	-	-	(1,2,4) D
1,2 dichlorobenzène	95-50-1	+	+	SGH07, SGH09	H302, H319, H335, H315, H400, H410	-	3	D
1,3 dichlorobenzène	541-73-1	+	++	-	-	-	3	D
1,4 dichlorobenzène	106-46-7	+	+	SGH08, SGH09	H351, H319, H400, H410	C2	2B	-
chlorobenzène	108-90-7	++	++	SGH02, SGH07, SGH09	H226, H332, H411	-	-	D

HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH

Aliphatic nC>5-nC6	non adéquat	++	+	white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) : SGH08	tout type d'hydrocarbures : H350, H340, H304	classement fonction des hydrocarbures		
Aliphatic nC>6-nC8	"	++	+					
Aliphatic nC>8-nC10	"	+	-					
Aliphatic nC>10-nC12	"	+	-					
Aliphatic nC>12-nC16	"	-	--					
Aliphatic nC>16-nC35	"	-	--					
Aliphatic nC>35	"	--	--					
Aromatic nC>5-nC7 benzène	"	++	++					
Aromatic nC>7-nC8 toluène	"	++	++					
Aromatic nC>8-nC10	"	+	+					
Aromatic nC>10-nC12	"	+	+					
Aromatic nC>12-nC16	"	-	+					
Aromatic nC>16-nC21	"	-	-					
Aromatic nC>21-nC35	"	--	--					

MENTIONS DE DANGER
► 28 mentions de danger physique

- H200 : Explosif instable
- H201 : Explosif ; danger d'explosion en masse
- H202 : Explosif ; danger sérieux de projection
- H203 : Explosif ; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection
- H204 : Danger d'incendie ou de projection
- H205 : Danger d'explosion en masse en cas d'incendie
- H220 : Gaz extrêmement inflammable
- H221 : Gaz inflammable
- H222 : Aérosol extrêmement inflammable
- H223 : Aérosol inflammable
- H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables
- H225 : Liquide et vapeurs très inflammables
- H226 : Liquide et vapeurs inflammables
- H228 : Matière solide inflammable
- H240 : Peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H241 : Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur
- H242 : Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur
- H250 : S'enflamme spontanément au contact de l'air
- H251 : Matière auto-échauffante ; peut s'enflammer
- H252 : Matière auto-échauffante en grandes quantités ; peut s'enflammer
- H260 : Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément
- H261 : Dégage au contact de l'eau des gaz
- H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant
- H272 : Peut aggraver un incendie ; comburant
- H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 : Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H290 : Peut être corrosif pour les métaux

► 38 mentions de danger pour la santé

- H300 : Mortel en cas d'ingestion
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H302 : Nocif en cas d'ingestion
- H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H310 : Mortel par contact cutané
- H311 : Toxique par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H318 : Provoque des lésions oculaires graves
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : Peut irriter les voies respiratoires
- H336 : Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H340 : Peut induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H350 : Peut provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H351 : Susceptible de provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet spécifique s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
- H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H371 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>

► Pour certaines mentions de danger pour la santé des lettres sont ajoutées au code à 3 chiffres :

- H350i : Peut provoquer le cancer par inhalation
- H360F : Peut nuire à la fertilité
- H360D : Peut nuire au fœtus
- H361f : Susceptible de nuire à la fertilité
- H361d : Susceptible de nuire au fœtus
- H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus
- H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Fd : Peut nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

► 5 mentions de danger pour l'environnement

- H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques
- H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H413 : Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

► Symboles de danger

- **SHG01 : Explosif** (ce produit peut exploser au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottements).
- **SGH02 : Inflammable** (Le produit peut s'enflammer au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, de frottements, au contact de l'air ou au contact de l'eau en dégageant des gaz inflammables).
- **SGH03 : Comburant** (peut provoquer ou aggraver un incendie – peut provoquer une explosion en présence de produit inflammable).
- **SGH04 : Gaz sous pression** (peut exploser sous l'effet de la chaleur (gaz comprimé, liquéfié et dissous) – peut causer des brûlures ou blessures liées au froid (gaz liquéfiés réfrigérés).
- **SGH05 : Corrosif** (produit qui ronge et peut attaquer ou détruire des métaux – peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions aux yeux en cas de contact ou de projection).
- **SGH06 : Toxique ou mortel** (le produit peut tuer rapidement – empoisonne rapidement même à faible dose).
- **SGH07 : Dangereux pour la santé** (peut empoisonner à forte dose – peut irriter la peau, les yeux, les voies respiratoires – peut provoquer des allergies cutanées – peut provoquer somnolence ou vertige – produit qui détruit la couche d'ozone).
- **SGH08 : Nuit gravement pour la santé** (peut provoquer le cancer, modifier l'ADN, nuire à la fertilité ou au fœtus, altérer le fonctionnement de certains organes – peut être mortelle en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – peut provoquer des difficultés respiratoires ou des allergies respiratoires).
- **SGH09 : Dangereux pour l'environnement** (produit polluant – provoque des effets néfastes à court et/ou long terme sur les organismes des milieux aquatiques).

► Classification en termes de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
C1 (H350 ou H350i) : cancérogène avéré ou présumé l'être : C1A : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré C1B : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	A : Preuves suffisantes chez l'homme	1 : Agent ou mélange cancérogène pour l'homme
C2 : Substance suspectée d'être cancérogène pour l'homme	B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	2A : Agent ou mélange probablement cancérogène pour l'homme
Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	2B : Agent ou mélange peut-être cancérogène pour l'homme
	D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	3 : Agent ou mélange inclassables quant-à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent ou mélange probablement non cancérogène chez l'homme

► Classification en termes de mutagénicité

UE	
M1 (H340) : Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée.	M1A : Classification fondée sur des résultats positifs d'études épidémiologiques humaines. Substance considérée comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.
	M1B : Classification fondée sur des essais in vivo de mutagénicité sur des cellules germinales et somatiques et qui ont donné un ou des résultats positifs et sur des essais qui ont montré que la substance a des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans que la transmission de ces mutations à la descendance n'ait été établie.
M2 (H341) : Substance préoccupantes du fait qu'elle pourrait induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.	

► Classification en termes d'effets reprotoxiques

UE	
R1 (H360 ou H360F ou H360D ou H360FD ou H360Fd ou H360fd) : Reprotoxique avéré ou présumé	R1A : Substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines.
	R1B : Substance présumée toxique pour la reproduction humaine. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des données provenant d'études animales.
R2 (H361 ou H361f ou H361d ou H361fd) : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine. Les substances sont classées dans cette catégorie lorsque les résultats des études ne sont pas suffisamment probants pour justifier une classification dans la catégorie 1 mais qui font apparaître un effet indésirable sur la fonction sexuelle et la fertilité ou sur le développement.	

Annexe 8. Glossaire

AEA (Alimentation en Eau Agricole) : Eau utilisée pour l'irrigation des cultures

AEI (Alimentation en Eau Industrielle) : Eau utilisée dans les processus industriels

AEP (Alimentation en Eau Potable) : Eau utilisée pour la production d'eau potable

ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) : base de données répertorie les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement.

ARR (Analyse des risques résiduels) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) du risque résiduel auquel sont exposées des cibles humaines à l'issue de la mise en œuvre de mesures de gestion d'un site. Cette évaluation correspond à une EQRS.

ARS (Agence régionale de santé) : Les ARS ont été créées en 2009 afin d'assurer un pilotage unifié de la santé en région, de mieux répondre aux besoins de la population et d'accroître l'efficacité du système.

BASIAS (Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service) : Cette base de données gérée par le BRGM recense de manière systématique les sites industriels susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

BASOL : Base de données gérée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie recensant les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

Biocentre : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Elles prennent en charge les déchets en vue de leur traitement basé sur la biodégradation aérobie de polluants chimiques.

BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) : Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) sont des composés organiques mono-aromatiques volatils qui ont des propriétés toxiques.

COHV (Composés organo-halogénés volatils) : Solvants organiques chlorés aliphatiques volatils qui ont des propriétés toxiques et sont ou ont été couramment utilisés dans l'industrie.

DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement) : Cette structure régionale du ministère du Développement durable pilote les politiques de développement durable résultant notamment des engagements du Grenelle Environnement ainsi que celles du logement et de la ville.

DRIEE (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie) : Service déconcentré du Ministère en charge de l'environnement pour la région parisienne, la DRIEE met en œuvre sous l'autorité du Préfet de la Région les priorités d'actions de l'État en matière d'Environnement et d'Énergie et plus particulièrement celles issues du Grenelle de l'Environnement. Elle intervient dans l'ensemble des départements de la région grâce à ses unités territoriales (UT).

Eluat : voir lixiviation

EQRS (Evaluation quantitative des risques sanitaires) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) des risques sanitaires auxquels sont exposées des cibles humaines.

ERI (Excès de risque individuel) : correspond à la probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Il s'exprime sous la forme mathématique suivante 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque individuel de 10^{-5} représente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées pendant une vie entière.

ERU (Excès de risque unitaire) : 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 cancérigène.

HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : Ces composés constitués d'hydrocarbures cycliques sont générés par la combustion de matières fossiles. Ils sont peu mobiles dans les sols.

HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques) : Ces hydrocarbures constitués d'un seul cycle aromatiques sont très volatils, les BTEX* sont intégrés à cette famille de polluants..

HCT (Hydrocarbures Totaux) : Il s'agit généralement de carburants pétroliers dont la volatilité et la mobilité dans le milieu souterrain dépendent de leur masse moléculaire (plus ils sont lourds, c'est-à-dire plus la chaîne carbonée est longue, moins ils sont volatils et mobiles).

IEM (Interprétation de l'état des milieux) : au sens des textes ministériels du 8 février 2007, l'IEM est une étude réalisée pour évaluer la compatibilité entre l'état des milieux (susceptibles d'être pollués) et les usages effectivement constatés, programmés ou potentiels à préserver. L'IEM peut faire appel dans certains cas à une grille de calcul d'EQRS spécifique.

ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement sous le régime de l'enregistrement. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets industriels inertes par dépôt ou enfouissement sur ou dans la terre. Sont considérés comme déchets inertes ceux répondant aux critères de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014.

ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Cette autorisation précise, entre autres, les capacités de stockage maximales et annuelles de l'installation, la durée de l'exploitation et les superficies de l'installation de la zone à exploiter et les prescriptions techniques requises.

ISDD (Installation de Stockage de Déchets Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets dangereux, qu'ils soient d'origine industrielle ou domestique, et les déchets issus des activités de soins.

Lixiviation : Opération consistant à soumettre une matrice (sol par exemple) à l'action d'un solvant (en général de l'eau). On appelle lixiviat la solution obtenue par lixiviation dans le milieu réel (ex : une décharge). La solution obtenue après lixiviation d'un matériau au laboratoire est appelée un éluat.

PCB (Polychlorobiphényles) : L'utilisation des PCB est interdite en France depuis 1975 (mais leur usage en système clos est toléré). On les rencontre essentiellement dans les isolants diélectriques, dans les transformateurs et condensateurs individuels. Ces composés sont peu volatils, peu solubles et peu mobiles.

Plan de Gestion : démarche définie par les textes ministériels du 8 février 2007 visant à définir les modalités de réhabilitation et d'aménagement d'un site pollué.

QD (Quotient de danger) : Rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR* de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. Le QD (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

VTR (Valeur toxicologique de référence) : Appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS ou le CIPR, par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays-Bas, Health Canada, ANSES en France, etc.).

VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) : Valeur limite d'exposition correspondant à la valeur réglementaire de concentration dans l'air de l'atmosphère de travail à ne pas dépasser durant plus de 8 heures (VLEP 8H) ou 15 minutes (VLEP CT) ; la VLEP 8H peut être dépassée sur de courtes périodes à condition de ne pas dépasser la VLEP CT.