



# REALITES

Site sis 18, route des sables - La Roche-sur-Yon  
(85)

## Plan de gestion du site

Rapport

Réf : CSSPLB220889 / RSSPLB13603-01

KPO / MIB / INH

27/06/2022



GINGER BURGEAP Agence Loire-Bretagne • 8, 10, 12, rue du docteur Herpin • 37000 Tours  
Tél : 02.47.75.25.45 • [burgeap.tours@groupeginger.com](mailto:burgeap.tours@groupeginger.com)



# SIGNALETIQUE

## CLIENT

<b>RAISON SOCIALE</b>	REALITES
<b>COORDONNÉES</b>	1 impasse Claude Nougaro – 44800 SAINT HERBLAIN
<b>INTERLOCUTEUR</b> (nom et coordonnées)	Guillaume ARDANUY Tél : 06 46 72 23 76 • <a href="mailto:g.ardanuy@realites.com">g.ardanuy@realites.com</a>





## GINGER BURGEAP

<b>ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER</b>	Agence de Tours 8, 10, 12, rue du docteur Herpin • 37000 TOURS Tél : 02.47.75.25.45 • <a href="mailto:burgeap.tours@groupeginger.com">burgeap.tours@groupeginger.com</a>
<b>CHEF DU PROJET</b>	Alexandre BLET Tél. 06 32 73 97 93 • <a href="mailto:a.blet@groupeginger.com">a.blet@groupeginger.com</a>
<b>COORDONNÉES Siège Social</b> <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 • <a href="mailto:burgeap@groupeginger.com">burgeap@groupeginger.com</a>

## RAPPORT

<b>Offre de référence</b>	PSSPLB18027-01 du 15/03/2022
<b>Numéro et date de la commande</b>	Contrat signé du 30/05/222
<b>Numéro de contrat / de rapport :</b>	Réf : CSSPLB220889 / RSSPLB13603-01
<b>Numéro d'affaire :</b>	A59274
<b>Domaine technique :</b>	SP03

## SIGNATAIRES

DATE	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Supervision / validation Nom / signature
27/06/2022	01	K. POLEZ  A .BLET 	M. BOUVET 	I.HAMON 

## SOMMAIRE

<b>Synthèse technique .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>12</b>
1.1 Objet de l'étude.....	12
1.2 Codification des prestations .....	13
1.3 Documents de référence et ressources documentaires .....	14
<b>2. Présentation du site.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Synthèse des études antérieures .....</b>	<b>16</b>
3.1 Synthèse de l'étude historique et documentaire .....	16
3.1.1 Historique .....	16
3.1.2 Synthèse réglementaire .....	16
3.1.3 Sources de pollutions potentielles.....	16
3.2 Synthèse de l'état environnemental des différents milieux.....	19
<b>4. Présentation du projet d'aménagement.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Schéma conceptuel avant mesures de gestion .....</b>	<b>24</b>
<b>6. Détermination des zones de pollution concentrée .....</b>	<b>26</b>
6.1 Méthodologie nationale .....	26
6.1.1 Principes .....	26
6.1.2 Notion de sources - transfert - cibles.....	26
6.1.3 Zone de pollution concentrée .....	27
6.2 Détermination des seuils de coupure .....	28
6.2.1 Métaux .....	28
6.2.2 Hydrocarbures.....	30
6.2.3 BTEX et COHV .....	33
6.3 Détermination des zones de pollutions concentrées .....	33
6.3.1 Seuils de coupures retenus selon les usages .....	33
6.3.2 Validation sanitaire des seuils de coupure .....	34
6.3.3 Zones de pollutions concentrées.....	34
<b>7. Plan de gestion du site.....</b>	<b>36</b>
7.1 Méthodologie .....	36
7.2 Contraintes liées au projet et aux impacts identifiés .....	36
7.3 Objectifs de réhabilitation pour les solutions de traitement .....	37
7.4 Sélection des techniques de traitement applicables au site pour les zones de pollutions concentrées .....	37
7.4.1 Présélection des techniques de traitement (hors coût) .....	37
7.4.2 Description des techniques retenues .....	40
7.5 Descriptif des scénarios de gestion des pollutions concentrées .....	42
7.5.1 Scénario 1 : Excavation et évacuation hors site en filière adaptée .....	42
7.5.2 Scénario 2 : Mise en place d'un Bioterre sur site .....	45
7.6 Mesures constructives en lien avec la validation sanitaire des seuils de coupure .....	47
7.6.1 Canalisations d'eau potable .....	47
7.6.2 Enjeux à prendre en compte .....	47
7.7 Gestions des autres problématiques .....	47
7.7.1 Gestion des métaux au droit du site.....	47
7.7.2 Délimitation des zones de matériaux non inertes.....	50
7.7.3 Gestions des cuves enterrées.....	54
7.8 Modalités de réalisation des travaux et de suivi .....	56
7.8.1 Contrôle des travaux et récolement .....	56
7.8.2 Récolement.....	56

7.8.3	Modalité en cas d'excavation des terres .....	56
7.8.4	Qualité attendue des terres d'apport saines.....	58
7.8.5	Hygiène et sécurité : mesures de protection des travailleurs .....	59
7.9	<b>Restriction d'usages .....</b>	<b>60</b>
7.10	<b>Sélection des critères et sous-critères pour la cotation des scénarios de gestion.....</b>	<b>62</b>
7.11	<b>Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion .....</b>	<b>62</b>
8.	<b>Conceptualisation de l'exposition après mesures de gestion.....</b>	<b>64</b>
8.1	<b>Géologie et hydrogéologie .....</b>	<b>64</b>
8.2	<b>Synthèse des impacts résiduels dans les différents milieux .....</b>	<b>64</b>
8.2.1	Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site .....	64
8.2.2	Enjeux/cibles à considérer .....	64
8.3	<b>Voies de transferts depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition .....</b>	<b>65</b>
8.4	<b>Voies d'expositions.....</b>	<b>65</b>
9.	<b>Analyse des Risques Résiduels (ARR) .....</b>	<b>67</b>
9.1	<b>Contexte et méthodologie .....</b>	<b>67</b>
9.2	<b>Composés et concentrations retenues dans les différents milieux .....</b>	<b>67</b>
9.3	<b>Identification des dangers.....</b>	<b>72</b>
9.4	<b>Caractérisation des Relations dose-réponse .....</b>	<b>72</b>
9.5	<b>Estimation des expositions.....</b>	<b>74</b>
9.5.1	Concentrations dans les milieux d'exposition.....	74
9.5.2	Estimation des expositions.....	82
9.6	<b>Quantification des risques sanitaires .....</b>	<b>84</b>
9.6.1	Méthodologie.....	84
9.6.2	Quantification des risques sanitaires résiduels au droit du site .....	85
9.7	<b>Analyse des incertitudes .....</b>	<b>87</b>
9.1	<b>Conclusion de l'analyse de risques résiduels .....</b>	<b>90</b>
10.	<b>Synthèse et recommandations .....</b>	<b>91</b>
11.	<b>Limites d'utilisation d'une étude de pollution .....</b>	<b>96</b>

## FIGURES

Figure 1 : Localisation du site.....	12
Figure 2 : Localisation du site et usages alentours dans un rayon de 500 mètres .....	15
Figure 3 : Synthèse étude historique et documentaire.....	18
Figure 4 : Synthèse des anomalies en métaux au droit du site (sur plan projet) – Concentrations en mg/kg.MS.....	20
Figure 5 : Synthèse des impacts en composés organiques - Concentrations en mg/kg.MS .....	21
Figure 6 : Zoom sur la zone d'impact (nord du bâtiment 1)- Concentrations en mg/kg.MS.....	22
Figure 7 : Futur projet (source : REALITES) .....	23
Figure 8 : Schéma conceptuel (usage futur avant mesures de gestion).....	25
Figure 9 : Localisation de la problématique en arsenic au droit du site .....	29
Figure 10 : Distribution des résultats d'analyses pour les HCT.....	30
Figure 11 : Détermination du seuil de coupure des hydrocarbures totaux par bilan massique (principe de Pareto) .....	32
Figure 12 : Localisation des zones de pollution concentrée en hydrocarbures, application des seuils de coupure .....	35
Figure 13 : Gestion de la problématique arsenic au droit du site .....	49
Figure 14 : Zone de matériaux non inertes 0 - 1 m (hors pollution concentrée) .....	52
Figure 15 : Zone de matériaux non inertes au-delà de 1 m .....	53

Figure 16 : Localisation de cuves enterrées au droit du site .....	55
Figure 17 : Localisation des zones de restrictions d'usages .....	61
Figure 18 : Synthèse du bilan coût avantage pour les 2 scénarios retenus.....	63
Figure 19 : Schéma conceptuel après mesures de gestion (usage futur).....	66
Figure 20 : Représentation schématique des différents modèles de calcul des transferts des sols vers l'air intérieur .....	74

## TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du site .....	15
Tableau 2 : Schéma conceptuel pour un usage futur, sans mesures de gestion .....	24
Tableau 3 : Critères statistiques des données pour les HCT .....	30
Tableau 4 : Données pour la détermination du seuil de coupure des hydrocarbures totaux par bilan massique (principe de Pareto) .....	32
Tableau 5 : Géométrie des zones concentrées en hydrocarbures .....	34
Tableau 6 : Synthèse des techniques de traitement envisageables .....	39
Tableau 7 : Estimation du coût de gestion de la zone de pollution concentrée- Scénario 1.....	44
Tableau 8 : Estimation du coût de gestion de la zone de pollution concentrée – Scénario 2.....	46
Tableau 9 : Estimatif du coût de gestion des zones impactées en métaux .....	48
Tableau 10 : Synthèse des dépassements relevés vis à vis de l'arrêté du 12/12/2014 .....	50
Tableau 11 : Qualité chimique des terres d'apport pour les futurs espaces verts .....	59
Tableau 12 : Restrictions d'usage à mettre en œuvre .....	60
Tableau 13 : Critères et pondération retenus pour le bilan coûts / avantages des scénarios de gestion .....	62
Tableau 14 : Scénario 1 - Habitat avec potager - concentrations retenues .....	69
Tableau 15 : Scénario 2 et 3 – logements collectifs .....	70
Tableau 16 : Scénario 4 – Espace vert collectif .....	71
Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence retenues .....	73
Tableau 18 : Paramètres retenus liés au sol et pour l'air extérieur – logements individuels et espaces verts extérieurs.....	75
Tableau 19 : Paramètres retenus liés au sol et pour l'air extérieur – logements collectifs .....	75
Tableau 20 : Paramètres retenus liés au sol pour l'air intérieur .....	75
Tableau 21 : Paramètres retenus pour les végétaux .....	76
Tableau 22 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation avec potager.....	77
Tableau 23 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation collectif sans sous-sol .....	78
Tableau 24 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation collectif avec sous-sol .....	79
Tableau 25 : Concentrations en air extérieur pour les espaces verts collectifs .....	80
Tableau 26 : Concentrations calculées dans les végétaux - Habitation avec potager.....	81
Tableau 27 : Budgets espace/temps retenus .....	83
Tableau 28 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation - Habitat avec potager .....	85
Tableau 29 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Logement collectif sans sous-sol .....	86
Tableau 30 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Logement collectif avec sous-sol .....	86
Tableau 31 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Espace vert collectif .....	87
Tableau 32 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation .....	88
Tableau 33 : Synthèse des estimations.....	93

## ANNEXES

- Annexe 1. Attestation de dégazage / neutralisation
- Annexe 2. Détail du Bilan coût avantage
- Annexe 3. Données toxicologiques
- Annexe 4. Relations dose-réponse
- Annexe 5. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition
- Annexe 6. Paramètres d'exposition retenus
- Annexe 7. Détails des calculs de dose et de risque
- Annexe 8. Glossaire

## Synthèse technique

CONTEXTE		
REALITES	REALITES	
Nom / adresse du site	Site sis 18, route des sables - La Roche-sur-Yon (85).	
Contexte de l'étude	Projet de réaménagement du site.	
Projet d'aménagement	Construction de 8 bâtiments de logements collectifs (dont un avec un niveau de sous-sol), de 24 maisons individuelles avec jardins privatifs et création de voiries et d'espaces verts.	
Informations sur le site lui-même	Superficie totale	<ul style="list-style-type: none"> <li>26 500 m<sup>2</sup> environ.</li> </ul>
	Parcelles cadastrales	<ul style="list-style-type: none"> <li>169, 170, 173, 174, 175 et 232 de la section DT.</li> </ul>
	Propriétaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Société de diffusion de véhicules industriels (SDVI).</li> </ul>
	Exploitant et usage actuel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le site correspond aujourd'hui à un garage de poids-lourds avec des zones de stationnement et d'entreposage de poids-lourds et de matériel.</li> </ul>
	Environnement proche	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résidentiel et industriel.</li> </ul>
Statut réglementaire	Installation ICPE et régime	<ul style="list-style-type: none"> <li>Site soumis à déclaration (2930-1 Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur).</li> </ul>
	Situation administrative	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il conviendra de s'assurer auprès de l'administration que les cessations des activités précédentes ont été convenablement réalisées et qu'une déclaration de la cessation de l'activité ICPE restante soit bien réalisée avant la mise en œuvre du projet.</li> </ul>
Contexte géologique et hydrogéologique	Géologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entre la surface et 1 à 2 m : des remblais sableux à graveleux (marron/beige) ;</li> <li>De 0,6 à 1,5 m : des argiles ou des limons argileux (marron/gris/orange) ;</li> <li>De 0,5 à 4,5 m (fin des sondages) : des altérations de granite (beige/orange).</li> </ul> <p>D'après le contexte géologique, le granite peut être rencontré sur 60 à 70 m d'épaisseur dans le secteur.</p>
	Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une nappe superficielle est probablement présente à quelques mètres de profondeur (entre 5 et 10 m). On rappelle néanmoins, qu'aucune venue d'eau n'a été mise en évidence lors de la réalisation des sondages jusqu'à 4,5 m de profondeur par GINGER BURGEAP.</li> </ul>
Impacts connus sur le milieu souterrain	Etudes antérieures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagnostic environnemental des sols pour le compte de Bernis Truck – Ginger BURGEAP n° CESILB183221-RESILB09029 du 19/12/2018 ;</li> <li>Diagnostic environnemental complémentaire des sols pour le compte de Startrucks – Ginger BURGEAP n° CESILB204312 - RESILB11366-02 du 02/10/2020 ;</li> <li>Etude historique et diagnostic complémentaire du milieu souterrain (CSSPLB220889 / RSSPLB13567 du 24/06/2022).</li> </ul>

<b>Impacts connus sur le milieu souterrain (suite)</b>	Impacts milieu sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le site d'étude présente une qualité médiocre des sols sur la partie est au droit de l'ancienne zone de garage avec la présence d'impact en métaux dans les remblais (principalement de l'arsenic avec une teneur maximale de 190 mg/kg.MS) et de 2 zones d'impacts en hydrocarbures (jusqu'à 40 000 mg/kg.MS). Pour les parties ouest et nord, le site présente une bonne qualité des sols à l'exception de la présence de PCE sur la partie nord-ouest en S9 et S10 (0,1 à 1 mg/kg.MS) et d'arsenic en S1 (69 mg/kg.MS).</li> </ul>
	Impacts milieu eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> <li>Milieu non investigué</li> </ul>
	Impacts milieu gaz du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>Milieu non investigué</li> </ul>
<b>MISSION</b>		
<b>Intitulé et objectifs</b>	Plan de gestion et analyse prédictive des risques sanitaires	
<b>Plan de Gestion</b> (estimation des coûts de gestion de la pollution)	<p><b>Pollutions concentrées</b></p> <p>Scénario 1 : terrassement et évacuation hors site - 175 à 235 k € HT (avec Aléa 20 %)</p> <p>Scénario 2 : terrassement et biotierre sur site - 130 à 210 k € HT (avec Aléa 20 %)</p>	<p>Le volume total des terres impactées à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 650 m<sup>3</sup> (non foisonné), soit environ 1 200 tonnes.</p> <p>Les objectifs de réhabilitation pour le secteur impacté en hydrocarbures totaux (logements collectifs) sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 500 mg/kg.MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C5C10 &lt; 15 mg/kg ;</li> <li>0,1 mg/kg pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;</li> <li>BTEX : aucun seuil. La teneur en benzène devra être inférieure à la limite de quantification du laboratoire par mesure de précaution (non relevé sur l'ensemble des échantillons analysés).</li> </ul> <p>La problématique en hydrocarbures totaux n'a pas été relevée dans le secteur des logements individuels. Toutefois, étant donné que l'usage est plus sensible, un seuil de 500 mg/kg.MS (dont HC C5C10 &lt; LQ) a été pris en compte par mesure de sécurité.</p> <p>Pour la mise en place d'un pylône électrique, un seuil à 1 mg/kg.MS a été pris en compte pour le PCE (sondage S9).</p> <p>Deux scénarios ont été proposés (1 : terrassement et évacuation hors site / terrassement ; 2 : biotraitement sur site).</p>



	<b>Gestion des métaux</b> Environ 80 k € HT (avec Aléa 20 %)	<p>Pour les métaux, aucun seuil de gestion n'est retenu. Une problématique en arsenic est relevée au droit du site (teneur maximale de 190 mg/kg.MS). Il est préconisé, en fonction des usages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jardins individuels avec potager : substitution des terres sur 1 m (retrait des remblais impactés en arsenic sur 1 m et apport de terres saines) ; <i>Remarque : seule les terres du secteur S1 sont concernées et elles sont considérées inertes d'après le pack ISDI réalisé.</i></li> <li>Espaces verts (logements collectifs) : apport de 30 cm après tassement de terres saines (il est considéré qu'avec la démolition des bâtiments, aucun décaissement de terres supplémentaires ne sera nécessaire dans le cadre de l'altimétrie du projet).</li> </ul>
Plan de Gestion	<b>Matériaux non inertes</b>  Coût non évalué en raison de l'absence de connaissance des terrassements envisagés	<p>En dehors des zones de pollutions concentrées, en cas d'excavation des terres, une problématique de matériaux non inertes est à prendre en compte au droit du site en raison de plusieurs dépassements en fluorures / arsenic sur éluât et en hydrocarbures sur brut vis-à-vis de l'arrêté du 12/12/2014. La présence de PCE a également été prise en compte et dépendra de l'exutoire sélectionné.</p> <p>Aucun surcoût n'est annoncé en l'absence de connaissance à ce stade des terrassements envisagés.</p>
	<b>Gestion des cuves enterrées</b>  18 à 36 k€ HT (avec Aléa 20 %)	<p>Lors de la précédente étude de 2020, il est précisé au droit de l'actuel garage la présence de 3 cuves enterrées d'huiles neuves (2 x 2500 L et 1 x 3000 L) et 1 cuve enterrée d'huiles usagées (5000 L). Deux d'entre-elles ont fait l'objet ou ont été suspectées de fuite. Les cuves existantes, ainsi que les canalisations, devront être nettoyées, dégazées puis inertées ou évacuées du site. L'obtention de certificats (dégazage) sera nécessaire.</p> <p>De 1971 à 2003, une station-service était présente à l'entrée du site. Les cuves (4 à 5 cuves de gasoil / essences pour 70 m3) présentes aux abords de la station-service ont été nettoyées, dégazées et neutralisées au sable et béton. Ces dernières pourront soit être laissées en place soit être évacuées pour le besoin du projet.</p>
	<b>Restriction d'usages</b>	<p>Un dossier de restrictions devra être établi pour les secteurs concernés.</p> <p>Les restrictions d'usages concernent principalement la partie Est du site au niveau des logements collectifs.</p> <p>Si les terres superficielles impactées en arsenic ne sont pas évacuées hors-site, une interdiction de potager et d'arbre fruitier est à prévoir.</p> <p>Pour les zones présentant des teneurs en hydrocarbures résiduels et/ou PCE, des canalisations AEP anti-perméation entourées par du sablon sain par mesure de précaution sont à prévoir.</p>

<p><b>Analyse de risques résiduels prédictive</b></p>	<p>Dans le cadre de la mission confiée à Ginger BURGEAP, avec les conditions d'études retenues (notamment, <u>la gestion des pollutions concentrées définies dans le Plan de Gestion</u>), 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.</p> <p>Ainsi, l'état environnemental du site dans le cadre du Plan de Gestion, est compatible avec l'usage prévu (quartier résidentiel avec logements collectifs et logements individuels)</p> <p>Soulignons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la réhabilitation du site étudié (cf. Plan de Gestion), et devant prévoir notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la purge des pollutions concentrées en hydrocarbures ;</li> <li>• la substitution par des terres saines sur 1 m au droit des logements individuels présentant un impact en arsenic ;</li> <li>• le maintien du recouvrement pérenne et systématique au droit des logements collectifs (partie sud), afin de supprimer tout contact direct avec les futurs usagers ;</li> <li>• l'enfouissement des canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) en-dehors de sols présentant une pollution résiduelle et l'emploi de canalisations renforcées et posées dans des tranchées comblées de sablon sain au droit de la partie sud.</li> </ul> <p>Toutes modifications de l'usage futur (configuration) et/ou pollution résiduelle non intégrée dans l'ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état environnemental du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).</p> <p><b>Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols en fond de fouilles, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (contrôles en fond et bord de fouilles et nouvelle ARR en fin de travaux).</b></p>
---	--

<p><b>Recommandations</b></p>	<p>En cas de prise en compte du scénario de biotertre, la réalisation d'un plan de conception de travaux est recommandée pour vérifier et consolider la faisabilité du scénario (en termes de délai, technique et coût).</p> <p>Dans les déclarations de changement d'exploitant consultées, il est indiqué que le site est uniquement soumis à la rubrique 2930-1 (Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur - déclaration). Il conviendra de s'assurer auprès de l'administration que les cessations des activités précédentes ont été convenablement réalisées et qu'une déclaration de la cessation de l'activité ICPE restante soit bien réalisées avant la mise en œuvre du projet.</p> <p>Pour l'ancienne zone de station-service qui n'a pas pu être ciblée lors des précédentes investigations (retour des administrations ultérieure aux investigations), il est recommandé de procéder à la réalisation de sondages complémentaires à 5 m de profondeur à proximité des cuves pour vérifier s'il y a eu ou non des fuites à proximité de ces dernières.</p> <p>Certaines zones de pollutions concentrées ou zones d'impact ne sont pas clairement délimitées (zone B avec HCT dans l'horizon superficiel 0 – 0,5 m et secteur avec PCE à 1 mg/kg.MS au moins sur le premier mètre). Des investigations complémentaires sont recommandées avec 3 à 4 sondages supplémentaires par zone et la vérification du milieu gaz du sol par la pose d'à minima un piézair par zone. La pose de trois piézomètres pour vérifier le milieu eau souterraine est également recommandée. Enfin, il peut être utile de mieux délimiter l'impact en Arsenic en S1 qui se trouve à proximité d'une maison individuelle par la réalisation de 4 à 6 sondages à 1 m de profondeur.</p> <p>Vis-à-vis des terres non inertes (hors pollution concentrée) au droit du site, il est recommandé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en cas d'évacuation hors site : de privilégier la conservation des terres non inertes sur site et l'évacuation des terres inertes du site. Cela permettra de valoriser sur site les terres non inertes par réemploi et de limiter les surcoûts d'évacuations en raison des dépassements observés. Un travail de déblais / remblais est recommandé dans le cadre des futurs travaux de terrassements ;</li> <li>• en cas de mouvement de terres : de privilégier la réutilisation de ces terres pour combler les éventuelles fouilles de pollutions concentrées sous les futurs bâtiment, de les réutiliser sous enrobé ou sous 30 cm après tassement de terres saines au droit des futurs espaces verts collectifs, voire directement en recouvrement pour les terres présentant uniquement des dépassements sur éluat.</li> </ul> <p>Une optimisation de la réutilisation des déblais non inertes est à prendre en compte dans le cadre du projet.</p>
<p><b>Conservation de la mémoire</b></p>	<p>Il convient de garder en mémoire la qualité des sols au droit du site en procédant à une identification pérenne du présent rapport (et futur rapport de récolement en fin de travaux) dans les documents d'urbanisme et fonciers au niveau du « service de la publicité foncière » afin de pouvoir préciser à tout nouvel acheteur/acteur de l'état de pollution sur site et des limites de réalisation de cette étude.</p>

## 1. Introduction

### 1.1 Objet de l'étude

Dans le cadre d'un projet d'aménagement de logements collectifs et individuels au droit d'un site localisé 18 route des sables à La-Roche-sur-Yon (85), la société REALITES a missionné Ginger BURGEAP pour la réalisation d'un plan de gestion (réalisé directement à la suite d'une étude historique et d'un diagnostic complémentaire du milieu souterrain - CSSPLB220889 / RSSPLB13567 du 24/06/2022).

Le site présente une superficie de 26 500 m<sup>2</sup> environ. Il est actuellement occupé par un garage poids-lourds (enseigne SDVI), un hangar et des zones recouvertes d'enrobé et de terres battues utilisées pour le stationnement de poids-lourds et l'entreposage de matériel. Le projet envisagé comprend la réalisation de 8 bâtiments de logements collectifs dont un avec un niveau de sous-sol, de 24 maisons individuelles et la création de voiries et d'espaces verts.

Ginger BURGEAP a réalisé 3 diagnostics de qualité des sols dont 2 en 2018 et 2020 sur la partie est du site à l'emplacement du garage Startrucks et le second en 2022 afin de délimiter les impacts en hydrocarbures relevés et caractériser la qualité des sols au droit des zones non investiguées précédemment (notamment sur la partie ouest ne faisant pas partie de la zone d'étude précédemment). L'ancienne station-service à l'entrée du site n'a pu être investiguée car l'information sur l'emplacement des cuves souterraines a été connue ultérieurement aux investigations.

Ces diagnostics ont mis en évidence :

- la présence de différentes zones d'impacts en hydrocarbures (teneurs pouvant aller jusqu'à 40 000 mg/kg.MS) au droit du garage de la partie est du site ;
- une problématique en métaux (principalement en arsenic) au droit de la partie est du site (jusqu'à 190 mg/kg MS en As) et ponctuellement sur un sondage à l'ouest (S1 avec 69 mg/kg.MS en As) ;
- une problématique en tétrachloroéthylène (PCE) avec 0,1 à 1 mg/kg.MS au droit des sondages S9 / S10 sur la partie nord-ouest du site (futures maisons individuelles).

**Ce rapport comprend un plan de gestion et une étude de risque sanitaire (ARR) afin de proposer des scénarios de réhabilitation du site et vérifier la compatibilité du site pour un usage de logements collectifs et individuels.**



Figure 1 : Localisation du site



## 1.2 Codification des prestations

La présente proposition 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 ».

Prestations élémentaires (A) concernées	Objectifs	Prestations globales (A) concernées	Objectifs
<input type="checkbox"/> A100	Visite du site	<input type="checkbox"/> AMO AMO 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
<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 un plan de conception des travaux (PCT), un contrôle de la mise en œuvre des mesures (CONT), un suivi environnemental (SUIVI), la mise en place de restrictions d'usage et la définition des modalités de leur mise en œuvre. Précision des 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"/> IEM Interprétation de l'Etat des Milieux	La prestation IEM est mise en œuvre en cas de la mise en évidence d'une pollution historique sur une zone où l'usage est fixé (installation en fonctionnement, quartier résidentiel, etc.), la mise en évidence d'une pollution hors des limites d'un site, un 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 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"/> A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou les sédiments	<input type="checkbox"/> SUIVI	Suivi environnemental
<input type="checkbox"/> A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol	<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"/> A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques	<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"/> A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires	<input type="checkbox"/> XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués
<input checked="" type="checkbox"/> A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées		
<input type="checkbox"/> A270	Interprétation des résultats des investigations		
<input type="checkbox"/> A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux		
<input type="checkbox"/> A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales		
<input checked="" type="checkbox"/> A320	Analyse des enjeux sanitaires		
<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		

		<input type="checkbox"/> VERIF Evaluation du passif environnemental	Effectuer les vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise
		<b>Prestations globales (D) concernées</b>	<b>Objectifs</b>
		<input type="checkbox"/> ATTES-ALUR	Attestation à joindre aux demandes de permis de construire (PC) ou d'aménager dans les secteurs d'information sur les sols (SIS) ou au second changement d'usage (loi ALUR).

### 1.3 Documents de référence et ressources documentaires

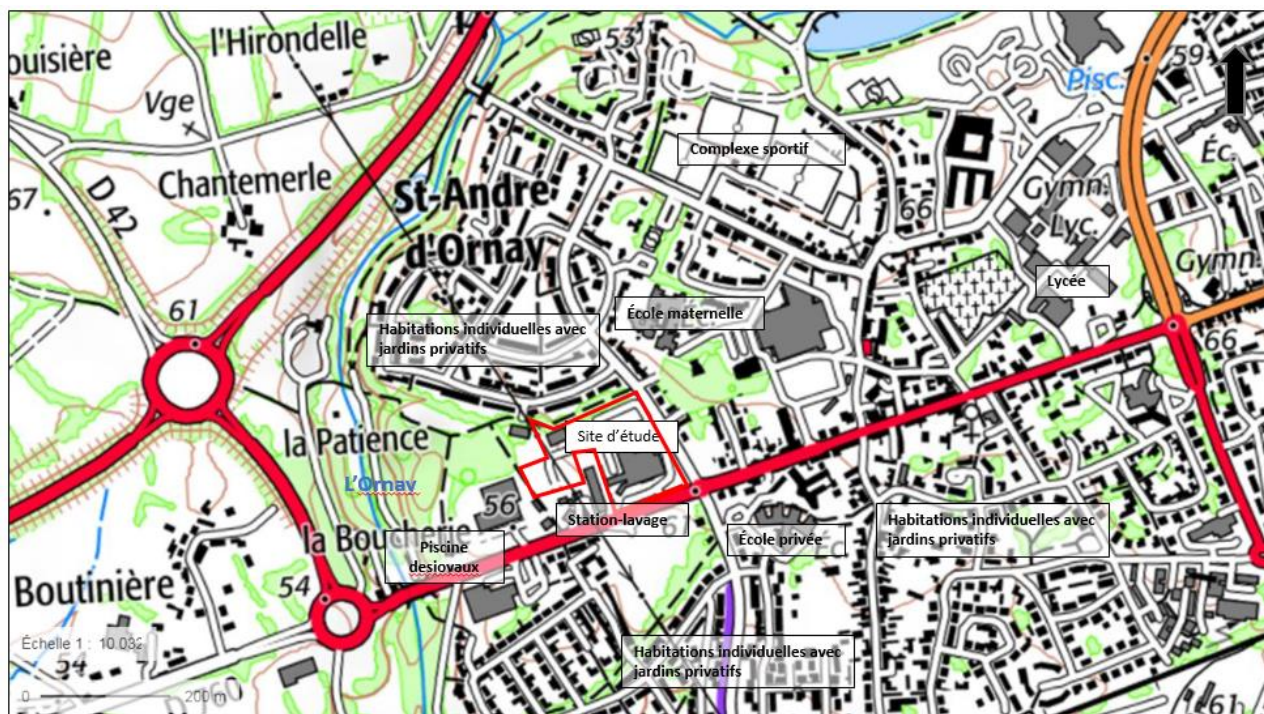
Les documents suivants ont été fournis :

- Plan de masse du projet du 07/06/2022 ;
- Diagnostic environnemental des sols pour le compte de Bernis Truck – Ginger BURGEAP n° CESILB183221- RESILB09029 du 19/12/2018 ;
- Diagnostic environnemental complémentaire des sols pour le compte de Startrucks – Ginger BURGEAP n° CESILB204312 - RESILB11366-02 du 02/10/2020 ;
- Etude historique et diagnostic complémentaire du milieu souterrain (CSSPLB220889 / RSSPLB13567 du 24/06/2022).

## 2. Présentation du site

**Tableau 1 : Caractéristiques du site**

Adresse du site	Site sis 18, route des sables - La Roche-sur-Yon (85).
Superficie totale	26 500 m <sup>2</sup> environ.
Parcelles cadastrales	169, 170, 173, 174, 175 et 232 de la section DT.
Propriétaire du site	BERNIS TRUCK.
Exploitant du site (et activité de l'exploitant)	Le site est exploité par la société SDVI en tant que garage automobile de poids-lourds.
Altitude moyenne / Topographie	Environ 60 m NGF (Nivellement Général de la France) / terrain relativement plat.
Abords du site (Figure 2)	<p>Au nord : des habitations individuelles avec des jardins privatifs et un complexe sportif ;</p> <p>Au sud : une station de lavage automobile en limite sud du site, des commerces, la route des Sables (D760), une école privée (environ 200 m au sud-est) et des habitations individuelles avec des jardins privatifs ;</p> <p>A l'est : la rue de la Maison Neuve, des habitations individuelles avec des jardins privatifs, l'école maternelle Flora Tristan (à environ 200 m) et le lycée Gén. &amp; Tech. PIERRE MENDES France (à environ 600 m du site) ;</p> <p>A l'ouest : des hangars commerciaux, la piscine Desjoyaux puis le cours d'eau l'Ormay.</p>



**Figure 2 : Localisation du site et usages alentours dans un rayon de 500 mètres**

### 3. Synthèse des études antérieures

#### 3.1 Synthèse de l'étude historique et documentaire

##### 3.1.1 Historique

Le site d'étude a été occupé par des parcelles agricoles avant qu'un garage automobile s'y installe en 1971. Les propriétaires au droit du site ont été les suivants :

- 1971 – 2007 : SYDAMI (Société Yonnaise de Diffusion Automobile Maritime Industrielle) ;
  - De 1971 à 2003, une station-service était présente à l'entrée du site. Les cuves suivantes étaient présentes aux abords de la station-service et ont été nettoyées, dégazées et neutralisées au sable et béton (attestation du 26/02/2003 en **Annexe 1**) :
    - 3 cuves de 10 m<sup>3</sup> de G.O, SP95 et SP98 (2 cuves de 10 m<sup>3</sup> sur les plans à notre disposition) ;
    - 2 cuves de 20 m<sup>3</sup> SCA & G.O (1 cuve de 30 m<sup>3</sup> et une cuve de 20 m<sup>3</sup> sur les plans à notre disposition)

**Remarque :** les archives de la préfecture n'ayant pas pu être consultées avant les investigations, les sols aux abords des cuves mentionnées et de la station-service nécessiteront des investigations complémentaires.

- 2007 - 2019 : Bernis Trucks ;
- 2019 - 2021 : Startrucks ;
- 2021 - aujourd'hui : Société de diffusion de véhicules industriels (SDVI).

##### 3.1.2 Synthèse réglementaire

Le site est ou a été classé ICPE (déclaration) pour les activités suivantes :

- 2930-1b : Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur (encore aujourd'hui) ;
- 261 bis /1434 1b : Installation de distribution de liquides inflammables (précédemment) ;
- 2930-2 : Peinture sur véhicule et engins à moteur (précédemment) ;
- 2564 A3 : Nettoyage, dégraissage, décapage de surface (précédemment) ;
- 2920 : Installation de compression (précédemment) ;
- 2925 : Atelier de charge d'accumulateurs (précédemment) ;

Lors des déclarations de changement d'exploitant, il est indiqué que le site est uniquement soumis à la rubrique 2930-1 (Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur - déclaration). Il conviendra de s'assurer auprès de l'administration que les cessations des activités précédentes ont été convenablement réalisées et qu'une déclaration de la cessation de l'activité ICPE restante soit bien réalisée avant la mise en œuvre du projet.

##### 3.1.3 Sources de pollutions potentielles

Il a été mis en évidence au droit du site :

- un bâtiment principal à usage de garage/atelier sur la partie Est composé de :
  - 3 cuves enterrées d'huiles neuves (2 x 2500 L et 1 x 3000 L) et 1 cuve enterrée d'huiles usagées (5000 L) ;
  - **Remarque :** dans la précédente étude de 2020, il est mentionné la présence de 3 cuves :
    - une cuve de récupération des huiles « noires » et réputée étanche suite aux contrôles diligentés par le propriétaire en 2019 ;
    - une cuve d'huile neuve (huile de boîte de vitesses), qui a été mise hors d'exploitation suite à de fortes suspicions de fuite. La neutralisation a été faite entre 2008 et 2014 ;



- une cuve d'huile neuve (huile moteur) sur laquelle il y a eu un incident de remplissage important (plusieurs centaines de litres déversées). L'incident date d'avant 2014.
- 7 fosses de visites (réparation/vidange) : 1,5 m de profondeur / 1 m de large / 5 m de longueur ;
- 1 cabine d'application de peinture ;
- plusieurs fûts d'huiles neuves sans rétention ;
- un hangar sur la partie nord-ouest qui accueille des pièces détachées stockées dans des étagères.
- des espaces extérieurs composés de :
  - 1 aire de lavage ;
  - 1 séparateur d'hydrocarbures ;
  - 1 débourbeur/déshuileur à hydrocarbures ;
  - 1 compresseur (l'emplacement ayant été déplacé lors des changements d'activités) ;
  - des zones de stationnement ;
  - des zones de stockage des déchets.
- une ancienne station-service à l'entrée du site avec volucompteurs et cuves (4 à 5 cuves pour 70 m<sup>3</sup> d'après les documents à notre disposition).



**Figure 3 : Synthèse étude historique et documentaire**

### 3.2 Synthèse de l'état environnemental des différents milieux

Trois diagnostics ont été réalisés au droit du site (2018, 2020, 2022) uniquement sur le milieu sol. Le récapitulatif des résultats obtenus est repris en **Figure 4**, **Figure 5** et **Figure 6** et synthétisé ci-dessous :

- **deux zones d'impacts en hydrocarbures sont relevées :**
  - au nord du garage/atelier :
    - la zone d'impact est délimitée verticalement entre 1 et 4 m de profondeur (présence du socle granitique au-delà) avec des teneurs pouvant monter jusqu'à 5 500, voir même ponctuellement à 40 000 mg/kg.MS ;
    - elle est délimitée :
      - horizontalement au nord, au sud et à l'est par les sondages S28, S29, S31, S16T16, S32, S33 et S27 ;
      - pour la partie ouest, le sondage S52 présente un impact limité aux remblais superficiels avec néanmoins 10,82 mg/kg.MS en BTEX et 2 800 mg/kg.MS en HCT. Cette pollution semble ponctuelle et distincte de celle constatée à l'intérieur du bâtiment ;
    - ces impacts sont principalement composés des fractions lourdes type C<sub>24</sub>C<sub>32</sub> pouvant s'apparenter à des huiles lourdes (éventuellement les huiles de boîtes de vitesses ou huile moteur suite aux éventuelles fuites des cuves enterrées voisines) ;
  - au droit de la zone de stockage d'huile et du local de préparation de peinture du garage/atelier :
    - la zone d'impact est délimitée verticalement entre 1 et 3 m de profondeur avec des teneurs pouvant monter jusqu'à 1 400 mg/kg.MS ;
    - elle est partiellement délimitée horizontalement (absence de sondage au nord et à l'ouest) ;
    - ces impacts sont principalement composés des fractions lourdes type C<sub>24</sub>C<sub>32</sub> pouvant s'apparenter à des huiles lourdes ;
- **un impact en tétrachloroéthylène (PCE) au droit des sondages S9 et S10 au nord-ouest du site (0,1 à 1 mg/kg.MS).**
- **la présence de métaux principalement dans le secteur des futurs logements collectifs :**
  - de nombreux dépassements du fond géochimique en arsenic sont relevés (28 à 190 mg/kg.MS) dont l'un se trouve au droit du sondage S1 au droit des futures maisons individuelles (69 mg/kg.MS) ;
  - d'autres métaux sont également relevés de manière ponctuelle et non représentative de l'ensemble du site :
    - du mercure en S9 (0,14 mg/kg.MS – futur maison individuelle) ;
    - du plomb en S36 (73 à 87 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
    - du zinc en S52 et 43 (180 à 190 mg/kg.MS – secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
    - du cuivre en S37 (25 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif).
- la présence de naphthalène est relevée au droit de trois sondages S29, S2T2 et S46 (0,14 à 0,22 mg/kg) sans toutefois dépasser le fond géochimique de 25 mg/kg.MS en HAP ;
- la présence de méthanol en S16T16 (20,1 mg/kg) et de l'acétone en S32 et S41 (0,12 à 0,13 mg/kg.MS).

**Le site d'étude présente une qualité médiocre des sols sur la partie est au droit de l'ancienne zone de garage avec la présence d'impacts en métaux dans les remblais (principalement de l'arsenic avec une teneur maximale de 190 mg/kg.MS) et de 2 zones d'impacts en hydrocarbures (jusqu'à 40 000 mg/kg.MS). Pour la partie ouest et nord, le site présente une bonne qualité des sols à l'exception de la présence de PCE sur la partie nord-ouest en S9 et S10 (0,1 à 1 mg/kg.MS) et d'arsenic en S1 (69 mg/kg.MS).**





Figure 4 : Synthèse des anomalies en métaux au droit du site (sur plan projet) – Concentrations en mg/kg.MS





**Figure 5 : Synthèse des impacts en composés organiques - Concentrations en mg/kg.MS**



Figure 6 : Zoom sur la zone d'impact (nord du bâtiment 1)- Concentrations en mg/kg.MS



## 4. Présentation du projet d'aménagement

Le projet d'aménagement communiqué par REALITES, prévoit la réalisation de :

- 8 bâtiments de logements collectifs dont un avec un niveau de sous-sol ;
- 23 maisons individuelles avec jardin privatif ;
- voiries et espaces verts ;

Le type de fondation des bâtiments n'est pas connu à ce stade. Des sous-sols seront probablement réalisés au droit des futurs logements collectifs. Toutefois l'emplacement exact n'est pas clairement défini et dépend des résultats obtenus dans le cadre de la présente étude.

La présentation du projet associée à la qualité des sols mise en évidence dans les études précédentes 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.

La **Figure 7** suivante présente le plan de masse du projet.



Figure 7 : Futur projet (source : REALITES)

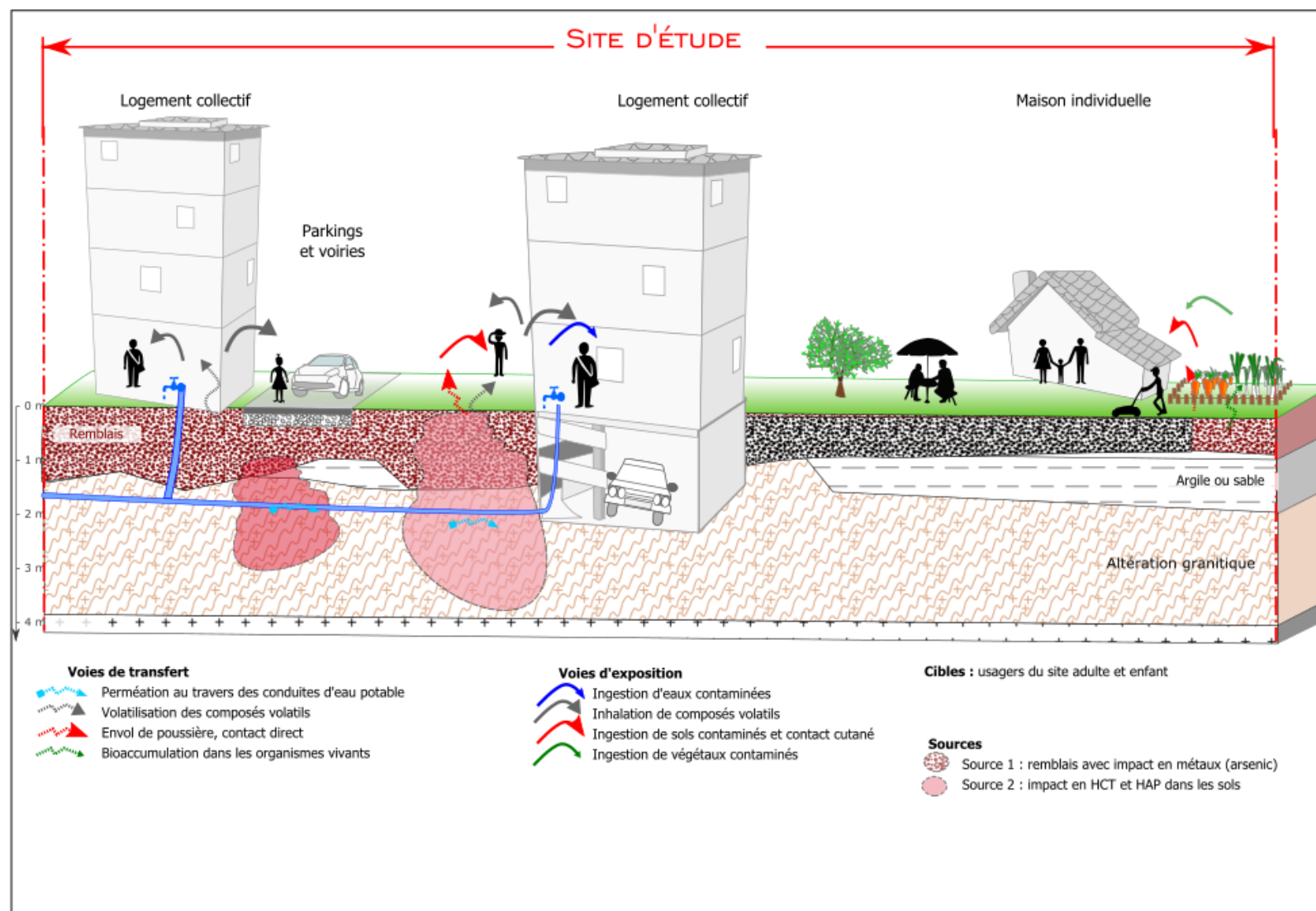
## 5. Schéma conceptuel avant mesures de gestion

Sur la base des résultats des investigations, le schéma conceptuel pour les usages futurs et intégrant les caractéristiques du projet est présenté en **Tableau 2** et **Figure 8**.

**Tableau 2 : Schéma conceptuel pour un usage futur, sans mesures de gestion**

<b>Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site</b>	<p>Le projet comprend la réalisation de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>8 bâtiments de logements collectifs dont un avec un niveau de sous-sol ;</li> <li>23 maisons individuelles avec jardin privatif ;</li> <li>voiries et espaces verts.</li> </ul>
<b>Géologie et hydrogéologie</b>	<p>Géologie (selon localisation sur le site) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>entre la surface et 1 à 2 m : des remblais sableux à graveleux (marron/beige) ;</li> <li>De 0,6 à 1,5 m : des argiles ou des limons argileux (marron/gris/orange) ;</li> <li>De 0,5 à 4,5 m (fin des sondages) : des altérations de granite (beige/orange).</li> </ul> <p>D'après le contexte géologique le granite peut être rencontré sur 60 à 70 m d'épaisseur dans le secteur.</p> <p>Hydrogéologie : une nappe superficielle est probablement présente à quelques mètres de profondeur (entre 5 et 10 m). On rappelle néanmoins, qu'aucune venue n'a été mise en évidence lors de la réalisation des sondages jusqu'à 4,5 m de profondeur par Ginger BURGEAP</p>
<b>Impacts/anomalies</b>	<p>Le site d'étude présente une qualité médiocre des sols sur la partie est au droit de l'ancienne zone de garage avec la présence d'impact en métaux dans les remblais (principalement de l'arsenic avec une teneur maximale de 190 mg/kg.MS) et de 2 zones d'impacts en hydrocarbures (jusqu'à 40000 mg/kg.MS). Pour la partie ouest et nord, le site présente une bonne qualité des sols à l'exception de la présence de PCE sur la partie nord-ouest en S9 et S10 (0,1 à 1 mg/kg.MS) et d'arsenic en S1 (69 mg/kg.MS).</p>
<b>Enjeux à considérer</b>	<p>Les enjeux à considérer sur site sont les futurs occupants du site (habitants : adultes et enfants)</p> <p>Aucun enjeu hors site n'est considéré.</p>
<b>Voies de transfert depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition</b>	<p>Au droit des zones recouvertes, la seule voie de transfert à considérer est la volatilisation des composés volatils depuis les sols vers l'air ambiant.</p> <p>Au droit des zones non recouvertes par revêtement, les voies de transfert à considérer sont : la volatilisation des composés volatils depuis les sols vers l'air ambiant, l'envol de poussières contenant des polluants et la bioaccumulation dans les végétaux.</p>
<b>Voies d'exposition</b>	<p>Au droit des zones recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est l'inhalation de composés volatils.</p> <p>Au droit des zones non recouvertes, les voies d'exposition sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>l'inhalation de poussières ;</li> <li>l'inhalation de polluants volatils ;</li> <li>l'ingestion de sols et poussières contenant des polluants et le contact cutané ;</li> <li>l'ingestion de végétaux cultivés sur site ;</li> <li>l'ingestion d'eau ayant transité dans les canalisations implantées dans les sols pollués.</li> </ul>





**Figure 8 : Schéma conceptuel (usage futur avant mesures de gestion)**

## 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. 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 réhabilitation. La réhabilitation 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 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 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 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 2 à 4 seront appliquées.

Ces différentes approches et les seuils de coupure ainsi déterminés sont présentés dans les paragraphes suivants.

## 6.2 Détermination des seuils de coupure

### 6.2.1 Métaux

#### 6.2.1.1 Approche cartographique (méthode 2)

Au vu des teneurs relevées en métaux au droit du site et cartographiées en **Figure 4, paragraphe 3.2**, le secteur du garage de la partie Est du site d'étude présente des dépassements quasiment systématisés en arsenic (28 à 190 mg/kg.MS). Ce dépassement est également relevé sur la partie ouest de manière ponctuelle sur le sondage S1 avec 69 mg/kg.MS. Ces dépassements en arsenic sont relevés aussi bien dans les remblais superficiels que dans les couches plus profondes.

D'autres métaux sont également relevés de manière ponctuelle et non représentatif de l'ensemble du site :

- du mercure en S9 (0,14 mg/kg.MS – espace vert) ;
- du plomb en S36 (73 à 87 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
- du zinc en S52 et 43 (180 à 190 mg/kg.MS – secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
- du cuivre en S37 (25 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif).

Pour les métaux, aucun seuil de gestion n'est retenu. En ce qui concerne la présence d'arsenic, une gestion simple de type recouvrement sera recommandée et permettra notamment de gérer les impacts ponctuels en plomb voire cuivre relevés (**paragraphe 7.7.1**).

Pour le zinc et le mercure qui est présent ponctuellement, le risque est étudié dans le cadre de l'étude de risques sanitaire (**paragraphe 9**) et ne nécessitera pas de mesures de gestions particulières.

**La délimitation de l'impact en métaux apparaît suffisamment précise du point de vue de l'extension horizontale. La délimitation en profondeur n'est en revanche pas précise. La réalisation d'autres approches (distribution, statistique, massique...) n'apparaît pas nécessaire dans le cadre de la gestion des métaux et afin de définir des seuils de coupure.**

La localisation des zones impactées en métaux et principalement en arsenic (environ 9 000 m<sup>2</sup>) est reprise dans la **Figure 9** page suivante.





Figure 9 : Localisation de la problématique en arsenic au droit du site

## 6.2.2 Hydrocarbures

### 6.2.2.1 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 plusieurs démarches :

- détermination des concentrations maximales, moyennes, médianes et quelques percentiles ;
- analyse des fréquences d'occurrence des concentrations [=f(concentration)].

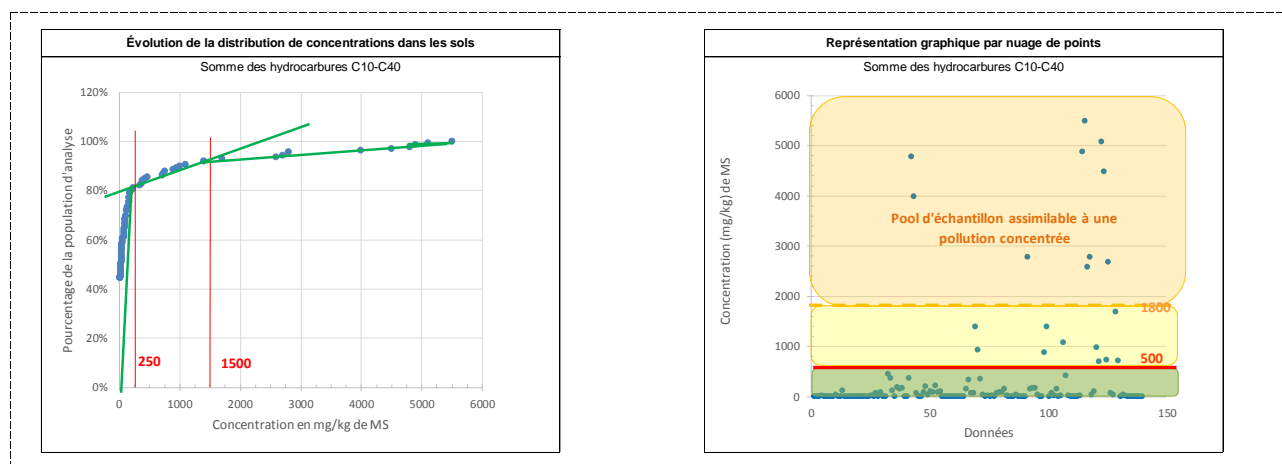
La démarche a été réalisée sur les HC C<sub>10</sub>C<sub>40</sub> et les résultats sont présentés dans le **Tableau 3** et sur la **Figure 10**.

**Tableau 3 : Critères statistiques des données pour les HCT**

	Médiane	Percentile 60	Percentile 70	Percentile 80	Percentile 90	Maximum	Nbre données
Somme des hydrocarbures C10-C40 (mg/kg)	34,4	60	120	210	1020	5500	139

A noter, que les données disponibles pour les HCT sont suffisamment abondantes pour valider la représentativité de cette méthode (population HCT : 139 échantillons).

Sur la base des observations graphiques de l'étude de la distribution des polluants, le seuil de coupure définissant la zone concentrée est établi entre 250 et 1 800 mg/kg.MS pour les HCT, ce qui représente environ 7 à 20 % des échantillons analysés qui présentent une concentration supérieure aux seuils de coupure définis.



**Figure 10 : Distribution des résultats d'analyses pour les HCT**

#### 6.2.2.2 Approche par bilan massique (Méthode 4)

Cette approche consiste à déterminer le volume à traiter permettant à la fois de supprimer une quantité significative de polluant (et donc de ses impacts) tout en restant économiquement acceptable.

Afin de définir les zones de pollution concentrées qu'il faudrait traiter, le principe de Pareto appelé également la loi du 80/20, est appliqué.

Ce principe est extrait du guide du BRGM « Définir la stratégie de dépollution : approche basée sur la masse de polluant et la capacité de relargage d'une pollution » (rapport BRGM RP-64350-FR de février 2016) et est expliqué ci-dessous :

- modéliser la répartition spatiale de la pollution, aussi bien horizontalement que verticalement afin de définir des courbes d'iso-concentrations pour chaque horizon jugé pertinent ;
- calculer les volumes de sol correspondant à chaque plage de concentration (définie par chaque couple de courbes d'iso-concentrations) ;
- calculer la masse de polluant présente dans chaque volume, à partir de la densité apparente du sol (estimé à 1,8 dans les calculs) et de la concentration moyenne de la plage de concentration considérée ;
- étudier la répartition des pourcentages de volume de sol et de la masse de polluant en fonction des plages de concentrations et définir le seuil de coupure théorique (correspondant au retrait d'une quantité significative de polluant tout en traitant un volume limité de sol).

Le volume total de sol considéré est celui de la zone impactée, emprise divisée en mailles représentées chacune par un sondage, sur la profondeur maximale étudiée jusqu'à 4 m pour certaines zones.

Pour les concentrations en hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> identifiées sur le site d'étude, l'évolution des pourcentages du volume de sol et des pourcentages de masse de polluant a été tracée en fonction des plages de concentrations choisies. Le seuil de coupure « théorique » correspond à la concentration pour laquelle les deux courbes sont les plus éloignées l'une de l'autre.

Cette approche consiste en premier lieu à évaluer le stock de polluant rattaché à des volumes donnés du milieu souterrain. Dans un second temps, elle permet de déterminer le volume minimal/optimal à traiter pour réduire significativement la quantité de polluant dans le milieu souterrain, donc réduire in fine les impacts à un coût acceptable au regard des enjeux à protéger.

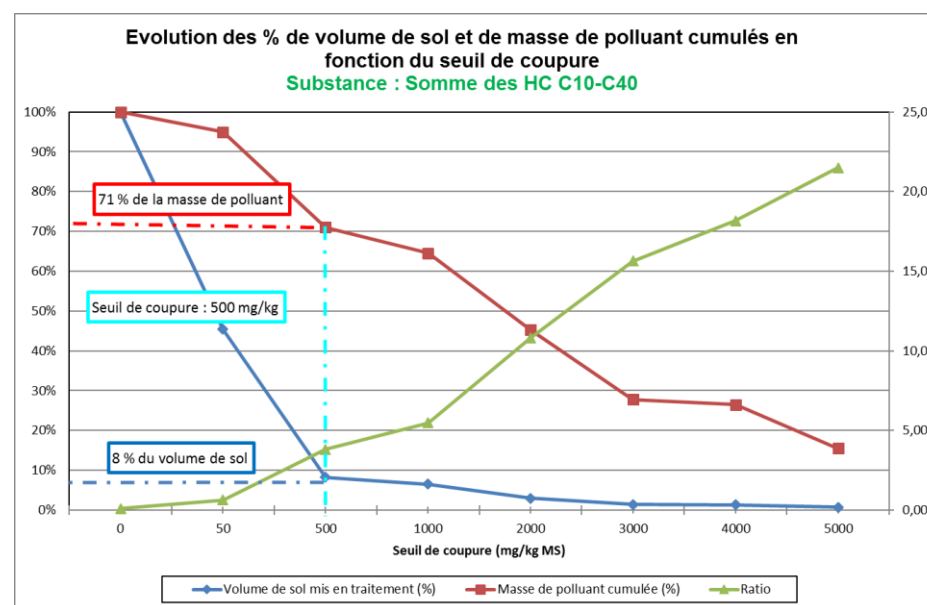
Les résultats sont présentés dans le **Tableau 4** et la **Figure 11**.

Le seuil de coupures théoriques déduits des calculs réalisés est pour les hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> de 500 mg/kg MS (71 % de la masse de polluant traité en ne traitant que 8 % du volume de sol) ;



**Tableau 4 : Données pour la détermination du seuil de coupure des hydrocarbures totaux par bilan massique (principe de Pareto)**

Intervalles de concentrations mg/kg MS	Seuil de coupure (mg/kg MS)	Moyenne concentrations (mg/kg MS)	Volume de l'intervalle (m3)	Masse de polluant dans l'intervalle en kg	Volume de sol mis en traitement (m3)	Volume de sol mis en traitement (%)	Volume de sol dans l'intervalle de volume / volume total	Masse de polluant dans l'intervalle / masse totale de polluant	Masse de polluant cumulée (kg)	Masse de polluant cumulée (%)	Ratio
				(Dsol= 1,8)							
Tranche >0 / <=50	0	24	8 774	375	16 066	100%	55%	5%	7 404	100%	0,09
Tranche >50 / <=500	50	165	5 967	1 772	7 292	45%	37%	24%	7 028	95%	0,64
Tranche >500 / <=1000	500	975	272	477	1 326	8%	2%	6%	5 256	71%	3,81
Tranche >1000 / <=2000	1000	1 400	568	1 431	1 054	7%	4%	19%	4 779	65%	5,47
Tranche >2000 / <=3000	2000	2 767	259	1 290	486	3%	2%	17%	3 347	45%	10,81
Tranche >3000 / <=4000	3000	4 000	14	97	227	1%	0%	1%	2 057	28%	15,62
Tranche >4000 / <=5000	4000	4 650	97	812	213	1%	1%	11%	1 960	26%	18,16
Tranche >5000 / <=6000	5000	5 500	116	1 148	116	1%	1%	16%	1 148	16%	21,48
<b>TOTAL</b>			<b>16 066</b>	<b>7 404</b>			<b>100%</b>	<b>100%</b>			


**Figure 11 : Détermination du seuil de coupure des hydrocarbures totaux par bilan massique (principe de Pareto)**



### 6.2.2.3 Seuils retenus pour les hydrocarbures totaux

Pour les hydrocarbures totaux, les seuils de coupures sont de 250, 500, 1500 et 1800 mg/kg.MS selon la méthode prise en compte. Pour cette raison, différents seuils ont été pris en compte en fonction des différents usages projetés au droit du site ;

- pour les logements individuels :
  - 500 mg/kg MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 1 mg/kg.MS (LQ) ;
- pour les logements et espaces verts collectifs :
  - 1 500 mg/kg MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 15 mg/kg MS (teneur prise en compte en fonction des résultats relevés dans les sols – maximum de 13 mg/kg MS sur S2 1-2 m laissé en place)

### 6.2.3 BTEX et COHV

Pour les BTEX et COHV (tétrachloroéthylène), aucune méthode de détermination de seuil n'a été réalisée étant donné le faible nombre d'impacts relevé.

Pour le tétrachloroéthylène (PCE), une teneur de 1 mg/kg.MS a été constatée en S9 (futur espace vert avec pylône électrique) et de 0,1 mg/kg.MS en S10 (future maison individuelle). En accord avec l'analyse de risques résiduels (**chapitre 9**), sont retenues :

- une limite à 0,1 mg/kg.MS pour les maisons individuelles ;
- une limite à 1 mg/kg.MS pour les espaces vert collectifs.

La présence de PCE ayant toutefois été observée ponctuellement (S9 et S10), il est préconisé de mieux délimiter le secteur du sondage S9 par des sondages sol et de vérifier le milieu gaz du sol. La teneur relevée dans le sol dans ce secteur n'apparaît néanmoins pas contraignante vis à vis de l'usage envisagé (pylône électrique bordé d'espace vert).

Pour les BTEX, seul deux dépassements du seuil inerte (vis-à-vis de l'arrêté du 12/12/2014) ont été relevés en S15T15 avec 10,7 mg/kg.MS et en S52 avec 10,82 mg/kg.MS. Ces pollutions seront traitées en même temps que la pollution relevée en hydrocarbures totaux relevée sur ces sondages (2800 à 40 000 mg/kg.MS). Pour cette raison aucun seuil n'est fixé. Les teneurs résiduelles relevées ont été prise en compte dans le cadre d'une analyse de risques résiduels.

## 6.3 Détermination des zones de pollutions concentrées

### 6.3.1 Seuils de coupures retenus selon les usages

En fonction des usages, différents seuils ont été déterminés :

- pour les logements individuels :
  - 500 mg/kg MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 1 mg/kg.MS (LQ) ;
  - 0,1 mg/kg pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;
  - BTEX : aucun seuil (prise en compte des teneurs résiduelles après travaux).
- pour les logements collectifs :
  - 1 500 mg/kg.MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 15 mg/kg.MS ;
  - 0,1 mg/kg.MS pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;
  - BTEX : aucun seuil (prise en compte des teneurs résiduelles après travaux).
- pour l'espace vert collectif :
  - 1 500 mg/kg.MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 15 mg/kg.MS ;
  - 1 mg/kg pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;

- BTEX : aucun seuil (prise en compte des teneurs résiduelles après travaux).

Pour les métaux, aucun seuil de gestion n'est retenu. En ce qui concerne la présence d'arsenic, une gestion simple de type recouvrement (espaces collectifs) ou substitution (jardins individuels) sera recommandée et permettra notamment de gérer les impacts ponctuels en plomb et cuivre relevés (**paragraphe 7.7.1**).

Pour le zinc et le mercure qui sont présents ponctuellement, le risque est étudié dans le cadre de l'étude de risques sanitaire (**paragraphe 9**) et ne nécessitera pas de mesures de gestions particulières.

### 6.3.2 Validation sanitaire des seuils de coupure

L'objectif de dépollution pour les hydrocarbures C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> de 500 à 1 500 mg/kg.MS, pour le PCE à 0,1 à 1 mg/kg, le mercure à 0,14 mg/kg.MS et le zinc à 180 mg/kg.MS selon l'usage (logements collectifs ou individuels / espace vert), ont été pris en compte dans le cadre de l'étude de risque sanitaire (**chapitre 9**). Les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

### 6.3.3 Zones de pollutions concentrées

La géométrie de la zone impactée en Arsenic (9000 m<sup>2</sup> environ) est reprise en **Figure 9**. Elle fera l'objet d'une mesure simple de gestion (recouvrement ou substitution – cf. **paragraphe 7.7.1**).

Le **Tableau 5** et la **Figure 12** illustrent l'emprise des zones concentrées en hydrocarbures établies à partir des paragraphes précédents et des seuils de coupure.

**Tableau 5 : Géométrie des zones concentrées en hydrocarbures**

Maille	Sondages Concernés	Concentration maximales relevées	Epaisseur de l'horizon impacté (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume de sol (m <sup>3</sup> ) <i>Non foisonné</i>	Tonnage (t) densité de 1,8 prise en compte
Maille A	S30, S10T10, S14T14, S15T15	HC C10-C40 = 40 000 mg/kg	1 - 5 m	150	600	1100
Maille B	S52 (non délimité horizontalement)	HC C10-C40 = 2 800 mg/kg	0 - 0,5 m	110	55	100
Total :					655	1200

Le volume total des terres impactées en hydrocarbures à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 650 m<sup>3</sup> (non foisonné), soit environ 1 200 tonnes (pour une densité de 1,8 prise en compte).



Figure 12 : Localisation des zones de pollution concentrée en hydrocarbures, application des seuils de coupure

## 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 » d'octobre 2014.

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 possible, techniquement et économiquement, 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, de l'aménagement (projet à son stade d'avancement actuel 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 :

- l'emplacement des futurs sous-sols au droit des logements collectifs pourra être lié à la gestion de la pollution au droit du site. Le scénario d'excavation et évacuation des zones de pollutions concentrées pourra être privilégié pour cette raison ;
- la zone de pollution concentrée B n'est pas délimitée horizontalement. En l'absence de diagnostic complémentaire, les volumes annoncés pourront éventuellement être revus à la baisse comme à la hausse en phase travaux ;



- la problématique en PCE au nord-ouest du site n'a pas été précisément diagnostiquée (impact relevé lors du dernier diagnostic). Des sondages sols complémentaires et des investigations du milieu gaz du sol permettrait de consolider les préconisations réalisées dans le cadre du rapport.
- aucune investigation du milieu eau souterraine n'a été réalisée, le présent rapport ne pourra donc statuer sur l'absence d'impact au droit de ce milieu (nappe pouvant être présente entre 5 et 10 m)
- la présence d'arsenic est identifiée au droit du site dans des secteurs bien délimités, des préconisations vis-à-vis de l'usages (jardins individuelles / espace verts) seront à prendre en compte ;
- des cuves (4 à 5 cuves pour un volume de 70 m<sup>3</sup> d'essence ou gasoil) sont présente et inertées au sable et béton à l'entrée du site. Elles pourront être retrouvées dans le cadre de travaux de terrassement. Des sondages complémentaires sont recommandés dans ce secteur ;
- lors des déclarations de changement d'exploitant, il est indiqué que le site est uniquement soumis à la rubrique 2930-1 (Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur - déclaration). Il conviendra de s'assurer auprès de l'administration que les cessations des activités précédentes ont été convenablement réalisées et qu'une déclaration de la cessation de l'activité ICPE restante soit bien réalisées avant la mise en œuvre du projet.
- le site est localisé à 200 m d'une école (établissement sensible), la gestion des nuisances en cas de chantier de traitement des sols sera à prévoir pour limiter au mieux les contraintes (notamment vis à vis de la circulation des engins et l'envol de poussières).

### 7.3 Objectifs de réhabilitation pour les solutions de traitement

Les zones des pollutions concentrées en hydrocarbures se trouvent uniquement au droit des zones de logements collectifs. Dans ce secteur, les objectifs de réhabilitations sont les suivants :

- 1 500 mg/kg.Ms pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 15 mg/kg ;
- 0,1 mg/kg.MS pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;
- BTEX : aucun seuil (prise en compte des teneurs résiduelles après travaux).
  - La teneur en benzène devra être inférieure à la limite de quantification du laboratoire par mesure de précaution (non relevé sur l'ensemble des échantillons analysés).

Pour les métaux, aucun seuil de gestion n'est retenu. En ce qui concerne la présence d'arsenic, une gestion simple de type recouvrement (espace collectif) ou substitution (jardins individuels) sera recommandée et permettra notamment des gérer les impacts ponctuels en plomb voire cuivre relevés (**paragraphe 7.7.1**).

Pour les autres secteurs, des mesures de gestions simple sont également donnés (cf **paragraphe 7.7.1**).

### 7.4 Sélection des techniques de traitement applicables au site pour les zones de pollutions concentrées

#### 7.4.1 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 6**).

Tableau 6 : 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											Critère de décision ou d'orientation des solutions de gestion
		Oui	Non	Nature du milieu					Autres critères d'exclusion					Respect des objectifs de réhabilitation	
				ZS	ZNS	Perméabi- lité (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	Impératif de subvention		
Techniques de traitement in situ (avec traitement sur site des polluants récupérés)															
C311	Méthodes physiques par extraction de la pollution in situ														
C311a	Ventilation de la zone non saturée in situ (venting)		X	X											
C311b	Extraction multiphase in situ		X						le traitement de la source sol devrait conduire à une limitation du risque d'impact sur la nappe						
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										
C312	Méthodes physiques par piégeage de la pollution in situ														
C312a	Confinement par couverture et étanchéification in situ		X												
C312b	Confinement vertical in situ		X												
C312c	Piège hydraulique ou confinement hydraulique in situ		X		X										
C312d	Solidification/stabilisation in situ		X												
C313	Méthodes chimiques in situ														
C313 a	Lavage in situ		X												
C313b	Oxydation chimique in situ		X												
C313c	Réduction chimique in situ		X												
C314	Méthodes thermiques in situ														
C314a	Désorption thermique in situ		X												
C315	Méthodes biologiques in situ														
C315a	Biodégradation dynamisée (ou atténuation naturelle dynamisée) in situ		X		X										
C315b	Bioventing in situ		X	X											
C315c	Biosparging in situ		X		X										
C315d	Phytoremédiation in situ		X	X											
C316	Autres techniques in situ														
C316a	Barrière perméable réactive in situ - système mur		X	X											
C316b	Barrière réactive in situ - système porte		X	X											
Techniques de traitement sur site (avec traitement sur site des polluants récupérés)															
C321	Méthodes physiques par évacuation de la pollution sur site														
C321a	Excavation des sols sur site	X													
C321b	Tri granulométrique sur site		X												
C321c	Lavage à l'eau sur site		X												
C322	Méthodes physiques par piégeage de la pollution sur site														
C322a	Encapsulation sur site		X												
C322b	Solidification/ stabilisation sur site		X												
C324	Méthodes thermiques sur site														
C324b	Désorption thermique sur site		X												
C325	Méthodes biologiques sur site														
C325a	Bioréacteur sur site		X												
C325b	Bioterre sur site	X													
C325d	Landfarming sur site		X												

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


- Excavation et évacuation en filière adaptée des sols sur site ;
- Excavation et traitement par biotertre sur site.

## 7.4.2 Description des techniques retenues


### 7.4.2.1 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.

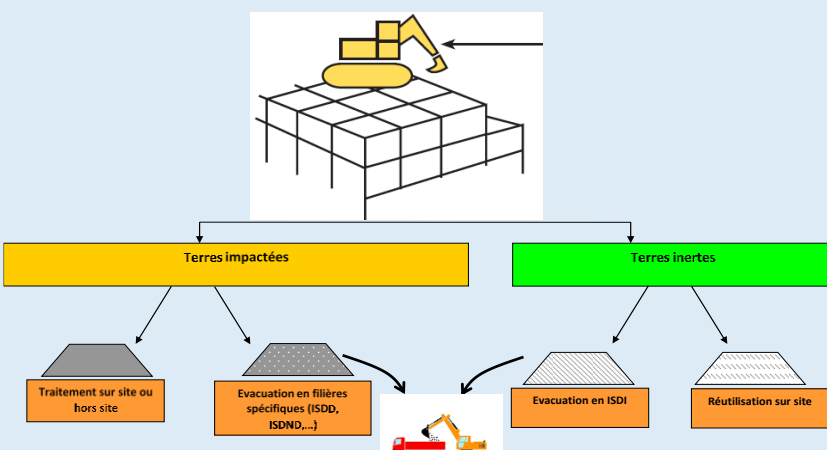
L'évacuation des déblais devra être accompagnée de l'établissement des bordereaux de suivi de déchets (BSD) pour chaque camion, confirmant la traçabilité de l'évacuation des déchets issus du site.

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



## 7.4.2.2 Solution n°2 : Biotertre sur site - Code AFNOR C325 b



### Biodégradation aérobie sur site (C325 b)

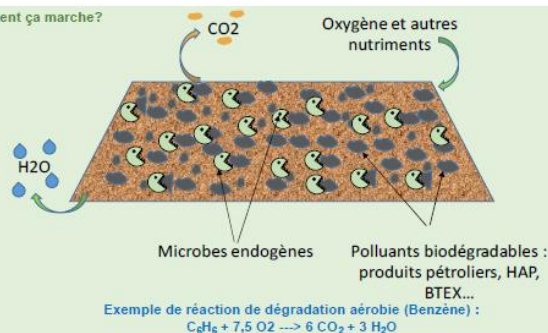


#### Principe



Développement optimal des micro-organismes endogènes pour la dégradation des polluants présents dans les sols

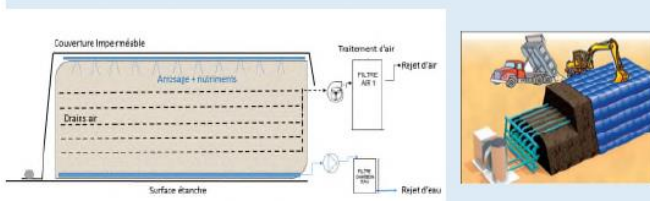
#### Comment ça marche?



Les microorganismes naturellement présents dans les sols éliminent ces polluants et les transforment en composés non toxiques avec un rejet de petites quantités d'eau et des gaz comme le dioxyde de carbone. Une température (15 - 30°C), un pH neutre (6 - 9) et la présence d'azote, phosphore sont indispensables pour le développement et la multiplication de plusieurs espèces microbiennes nécessaires pour le bon fonctionnement de la biodégradation. Les terres polluées peuvent être chauffées, agitées ou mélangées avec l'apport d'amendement pour améliorer les conditions. Selon le procédé utilisé, les terres sont stockées sous forme d'andain d'une hauteur maximale de 2,5 m (biotertre) ou étalées sur une épaisseur de 0,5 m (landfarming)

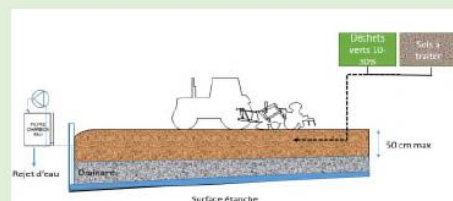
#### Comment on fait?

##### Biopile (Biotertre)



- traitement sur site sous forme d'andain équipé de drains et d'aiguilles permettant l'aération des sols ;
- stimulation de l'activité microbienne aérobie par l'aération, l'apport de nutriments et l'humidité. Le développement de l'activité microbienne entraîne la dégradation des polluants biodégradables adsorbés ;
- aération forcée par injection ou extraction à travers des aiguilles perforées.

##### Landfarming



- le sol est étalé en couche de faible épaisseur (40 - 50 cm) et aéré par des pratiques agricoles ;
- des apports en engrais de type minéral et/ou des amendements organiques (compost) peuvent être ajoutés pour améliorer les propriétés du substrat ;
- une forme passive de traitement nécessitant des périodes prolongées, jusqu'à 24 mois ;
- aération des sols par brassage et retournement

## 7.5 Descriptif des scénarios de gestion des pollutions concentrées

### 7.5.1 Scénario 1 : Excavation et évacuation hors site en filière adaptée

#### ► Principe de la solution

La méthode consiste à excaver les terres des zones de pollution concentrées (Zone A et B) et à les évacuer en filière extérieure (biocentre). Les zones excavées seront soit remblayées par des terres saines ou terres issues du site compatibles d'un point de vue sanitaire et géotechnique, soit réutilisées dans le cadre de la création d'un sous-sol en système de voile / contrevoile pour les logements collectifs.

#### ► Mode opératoire

Le principe de gestion est le suivant :

- piquetage des zones à terrasser et relevé géomètre initial ;
- terrassement des terres impactées à l'aide d'une pelle hydraulique :
  - entre 0 et 5 m de profondeur au droit de la maille A ;
  - entre 0 et 0,5 m de profondeur au droit de la maille B ;
- tri à l'avancement des terres impactées avec des mesures PID et éventuellement dosage semi quantitatif ;
- analyse de réception fond de fouille et parois ;
- stockage provisoire des terres sur site sur une aire étanche pour une éventuelle caractérisation avant évacuation (création d'une aire de stockage étanche, couverture des tas) ou évacuation en flux tendu ;
- en cas de stockage provisoire, égouttage des terres en bordure de fouilles à la faveur d'un talutage puis pompage des éventuelles eaux impactées en fond de fouille ;
- chargement des terres et évacuation par transport routier déclaré vers un centre autorisé ayant accepté au préalable de recevoir les terres. Il est recommandé de réaliser un suivi des opérations afin de garantir une traçabilité du devenir des terres ;
- si absence de sous-sol :
  - remblaiement et compactage des fouilles selon le besoin avec des terres du site (notamment les terres entre 0 et 1 m de la maille A pour le secteur des logements collectifs) et avec des matériaux d'apport. Les matériaux d'apports seront :
    - soit des terres issues du site en dehors des zones de pollutions concentrées. La réutilisation de matériaux non inertes est une possibilité (cf. **paragraphe 7.6**) pour limiter les surcoûts d'évacuation ;
    - soit des terres saines dont la qualité devra respecter les teneurs données en **paragraphe 7.8.4**.

Une demande préalable d'acceptation des terres doit être faite auprès du centre de traitement avant évacuation. En cas d'acceptation, le centre émet un certificat d'acceptation préalable (CAP) (cf. **paragraphe 7.8.3.5**).

La traçabilité des terres devra également être assurée conformément à la réglementation (décret du 25 mars 2021 relatif à la **traçabilité des déchets, ainsi que des terres excavées et des sédiments**).

#### ► Délais

Sur la base des estimations de volumes, les délais estimatifs pour la réalisation des opérations de gestion des zones de pollution concentrées sont les suivants :

- préparation et installation de chantier : 1 à 2 semaines ;

- réalisation des travaux : 2 à 4 semaines ;
- remblaiement et remise en état du chantier : 2 semaines ;
- opération de réception : 2 semaines ;
- collecte des bordereaux de suivi de déchets, rédaction d'un dossier de récolement et analyse des risques résiduels : 4 à 6 semaines.

**Soit une durée de 3 à 4 mois.**

► Estimation du coût des travaux

Le coût de la solution de gestion est estimé entre 140 et 190 k€ HT (hors maitrise d’œuvre).

Le détail est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Estimation du coût de gestion de la zone de pollution concentrée- Scénario 1

Estimatif							
Travaux de réhabilitation des zones A et B - Terrassement et évacuation hors site en biocentre							
Code	Désignation	Unité	Quantité	P.U. HT €		Montant HT €	
				Hypothèse basse	Hypothèse haute	Hypothèse basse	Hypothèse haute
1	TRAVAUX PREPARATOIRES ET GESTION						
1.1	Ce prix rémunère forfaitairement l'ensemble des prestations préalables au chantier nécessaires à la bonne exécution de l'opération. Il comprend notamment : • Contacts, déclarations et autorisations préalables • Documents relatifs à l'hygiène et à la sécurité sur le chantier, PPSPS et participation à la visite d'inspection préalable avec l'ensemble des sous-traitants • Etat des lieux et diagnostic (avant et après travaux) • Repérage des réseaux • PAQ, PAE et ensemble des procédures • Dossier d'exécution, réunions préparatoires et l'ensemble des plans de chantier (installation, circulation, général, terrassement...)	forfait	1	3 000,00	5 000,00	3 000,00	5 000,00
1.2	Ce prix rémunère forfaitairement l'amenée et le repli de tous les matériels nécessaires à la bonne exécution de l'opération. Il comprend notamment : • Amenée du personnel et du matériel • Toutes les fournitures et frais d'installation des locaux de chantier et des clôtures internes • Signalisation - Connexions réseaux - Aménagement de la circulation sur chantier • Frais d'amenée, d'installation et de maintenance de tous les matériels nécessaires : engins de terrassement, de manutention... • Suivi de l'empoussièrement du chantier et balises PID • Protection de l'environnement, la limitation des nuisances, le maintien de la propreté des routes internes et extérieures du site • Relevés topographiques (avant, après excavation et après remis en état) et piquetage des zones de travaux	forfait	1	8 000,00	10 000,00	8 000,00	10 000,00
1.3	Mise en place et entretien d'une aire de stockage provisoire des terres polluées	forfait	1	2 000,00	4 000,00	2 000,00	4 000,00
2	TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET DE GESTION DES TERRES						
2.1	Réalisation des excavations nécessaires y compris (y compris entre 0 et 1 m de la maille A) • tri des matériaux à l'avancement (bétons, enrobés, ferrailles...) • transport vers l'aire de stockage/traitement • mise en lot de 50 m³ et gestion des lots • mise en sécurité et balisage de la fouille pendant tout le chantier	m³	805	15,00	30,00	12 075,00	24 150,00
2.2	Analyses des lots de 50 m³ de matériaux suivant ISD+COHV+ETM (hors terres entre 0 et 1 m de la maille A)	unité	16	140,00	160,00	2 240,00	2 560,00
2.3	Caractérisation des fonds et flancs de fouilles (HC C5-C40 - BTEX - COHV)	unité	20	50,00	60,00	1 000,00	1 200,00
2.4	Gestion hors site des terres						
2.4.1	Reprise, chargement, transport et prise en charge en biocentre des terres y compris traçabilité (BSD)	tonne	1 200	90,00	110,00	108 000,00	132 000,00
3	REMBLAIEMENT, REMISE EN ETAT ET DOE						
3.1	Remblaiement et compactage avec les terres issues du terrassement du sous sol du bâtiment D	forfait	1	4 000,00	6 000,00	4 000,00	6 000,00
3.2	Démantèlement et repli des installations, remise en état des lieux	forfait	1	2 000,00	2 500,00	2 000,00	2 500,00
3.3	Dossier de récolement : Plans, BSD, bons de pesées, récapitulatifs des travaux effectués et incidents éventuels, tableaux de synthèse des volumes (terrassés, stockés, remblayés, évacués...)	forfait	1	2 000,00	2 500,00	2 000,00	2 500,00
Montant		TOTAL en € HT				144 315,00	189 910,00
		TVA €	20,00%			28 863,00	37 982,00
		TOTAL en € TTC				173 178,00	227 892,00



### 7.5.2 Scénario 2 : Mise en place d'un Biotertre sur site

Cette solution consiste à terrasser les terres impactées et à former une « biopile » (ou biotertre) pour traiter biologiquement les terres impactées sur site. Les traitements biologiques sont couramment employés pour des problématiques hydrocarbures. Les terres pourront ensuite être remblayées sur site une fois les seuils de coupures atteints.

#### ► Principe de la solution

Le principe de gestion est le suivant :

- piquetage de la zone à terrasser et relevé géomètre initial ;
- terrassement des terres impactées à l'aide d'une pelle hydraulique
  - entre 0 et 5 m de profondeur au droit de la maille A ;
  - entre 0 et 0,5 m de profondeur au droit de la maille B ;
- tri à l'avancement des terres impactées avec des mesures PID et éventuellement dosage semi quantitatif ;
- analyse de réception fond de fouille et parois ;
- création d'une zone de traitement ;
- mise en tertre des terres, traitement et monitoring ;
- analyse des terres en état initial, en cours de traitement et pour la réception du traitement
- réception du traitement ;
- remblaiement des terres selon les besoins du site (soit au droit de la zone précédemment terrassée soit selon les besoins liés au projet futur du site) ;

#### ► Test de traitabilité

Afin de s'assurer de la bonne mise en œuvre du traitement, un test de traitabilité préalable en laboratoire est recommandé.

#### ► Délais

Sur la base des estimations de volumes, les délais estimatifs pour la réalisation des opérations de gestion (hors déconstruction) sont les suivants :

- essais de traitabilité : 2 à 3 mois ;
- organisation du chantier, mobilisation des moyens matériels et humains : 4 à 6 semaines ;
- excavation des terres : 1 à 2 semaines
- traitement des terres sur site : 8 à 12 mois ;
- rédaction d'un dossier de récolement : 4 à 6 semaines.

**Soit une durée de 12 à 16 mois pour atteindre les objectifs de réhabilitation. Le test de traitabilité permettra d'affiner les délais attendus.**

#### ► Estimation du coût des travaux

**Le coût de la solution de gestion est estimé entre 110 et 175 k€ HT (hors maîtrise d'œuvre).**

Le détail est présenté dans le tableau en page suivante.

Tableau 8 : Estimation du coût de gestion de la zone de pollution concentrée – Scénario 2

Estimatif							
Travaux de réhabilitation des zones A et B - Traitement par Biotertre							
Code	Désignation	Unité	Quantité	P.U. HT €		Montant HT €	
				Hypothèse basse	Hypothèse haute	Hypothèse basse	Hypothèse haute
1	PLAN DE CONCEPTION DES TRAVAUX (PCT)						
1.1	Essais au laboratoire	forfait	1	5 000,00	8 000,00	5 000,00	8 000,00
1.2	Rédaction du PCT	forfait	1	3 000,00	4 000,00	3 000,00	4 000,00
2	TRAVAUX PREPARATOIRES ET GESTION						
2.1	Ce prix rémunère forfaitairement l'ensemble des prestations préalables au chantier nécessaires à la bonne exécution de l'opération. Il comprend notamment :	forfait	1	3 000,00	5 000,00	3 000,00	5 000,00
	• Contacts, déclarations et autorisations préalables						
	• Documents relatifs à l'hygiène et à la sécurité sur le chantier, PPSPS et participation à la visite d'inspection préalable avec l'ensemble des sous-traitants						
	• Etat des lieux et diagnostic (avant et après travaux)						
	• Repérage des réseaux						
	• PAQ, PAE et ensemble des procédures						
2.2	Dossier d'exécution, réunions préparatoires et l'ensemble des plans de chantier (installation, circulation, général, terrassement...)	forfait	1	15 000,00	20 000,00	15 000,00	20 000,00
	Ce prix rémunère forfaitairement l'amenée et le repli de tous les matériels nécessaires à la bonne exécution de l'opération. Il comprend notamment :						
	• Amenée du personnel et du matériel						
	• Toutes les fournitures et frais d'installation des locaux de chantier et des clôtures internes						
	• Signalisation - Connexions réseaux - Aménagement de la circulation sur chantier						
	• Frais d'amenée, d'installation et de maintenance de tous les matériels nécessaires : engins de terrassement, de manutention...						
	• Suivi du chantier et balises PID						
	• Protection de l'environnement, la limitation des nuisances, le maintien de la propreté des routes internes et extérieures du site						
• Relevés topographiques et plans d'installation							
2.3	Mise en place et entretien d'une aire de stockage provisoire des terres polluées	forfait	1	2 000,00	4 000,00	2 000,00	4 000,00
3	MISE EN PLACE DES OUVRAGES ET DU SYSTÈME DE TRAITEMENT - TRAITEMENT SUR 8 à 12 MOIS						
3.1	Réalisation des excavations nécessaires (dont entre 0 et 1 m de la maille A) y compris	m³	805	20,00	30,00	16 100,00	24 150,00
	• tri des matériaux à l'avancement (souches, bétons, ferrailles...)						
	• transport vers l'aire de traitement						
3.2	Remblaiement des terres entre 0 et 1 m de la maille A (zone de logement collectif -protégé par au moins 30 cm de terres saines si remblaiement au droit des espaces verts)	forfait	1	800,00	1 200,00	800,00	1 200,00
3.3	Caractérisation des fonds et flancs de fouilles (HC C5-C40 - BTEX - COHV)	unité	20	50,00	60,00	1 000,00	1 200,00
3.4	Gestion sur site des terres en biotertre						
3.4.1	Mise en place de l'aire de traitement du biotertre	m²	800	20,00	25,00	16 000,00	20 000,00
3.4.2	Mise en place des terres, mélange compost, pose des drains raccord a unité de traitement (hors terres entre 0 et 1 m en maille A)	m³	655	10,00	15,00	6 550,00	9 825,00
3.4.3	Contrôle périodique du biotertre	mois	8 à 12	3 500,00	5 000,00	28 000,00	60 000,00
3.4.4	Analyse des terres en lot (100 m3) pour l'état initial, en cours de traitement et pour la réception de traitement	unité	70 à 98	35,00	45,00	2 450,00	4 410,00
4	REMBLAIEMENT, REMISE EN ETAT ET DOE						
4.1	Remblaiement et compactage	forfait	1	4 000,00	6 000,00	4 000,00	6 000,00
4.2	Démantèlement et repli des installations, remise en état des lieux	forfait	1	2 500,00	3 500,00	2 500,00	3 500,00
4.3	Dossier de récolement : récapitulatifs des travaux effectués et incidents éventuels, tableaux de synthèse des volumes traités	forfait	1	2 500,00	3 000,00	2 500,00	3 000,00
Montant		TOTAL en € HT				107 900,00	174 285,00
		TVA €		20,00%		21 580,00	34 857,00
		TOTAL en € TTC				129 480,00	209 142,00

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

### 7.6.1 Canalisations d'eau potable

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, les polluants résiduels (hydrocarbures volatils voir PCE) 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 présentant des impacts en hydrocarbures. Par précaution, les canalisations devront être constituées d'un matériau multicouche anti-perméation et installées dans des tranchées remblayées de sablon propre.

### 7.6.2 Enjeux à prendre en compte

Les techniques de traitement décrites ci-avant laisseront subsister dans les sols des impacts résiduels en métaux, hydrocarbures, PCE voire PCB. Ces teneurs résiduelles ont été prises en compte dans le cadre de l'analyse de risques résiduels prédictive (**Paragraphe 9**) afin de statuer sur la compatibilité du site avec l'usage futur.

## 7.7 Gestions des autres problématiques

### 7.7.1 Gestion des métaux au droit du site

Une problématique en arsenic est relevée au droit du site (teneur maximale de 190 mg/kg.MS). Il est préconisé, en fonction des usages :

- jardins individuels avec potager : substitutions des terres sur 1 m (retrait des remblais impactés en arsenic sur 1 m et apport de terres saines) ;  
**Remarque :** seule les terres du secteur S1 sont concernées et elles sont considérées inertes d'après le pack ISDI réalisé.
- espaces verts (logements collectifs) : apport de 30 cm de terres saines (nous considérons qu'avec la démolition des bâtiments, aucun décaissement de terres supplémentaires ne sera nécessaire dans le cadre de l'altimétrie du projet)

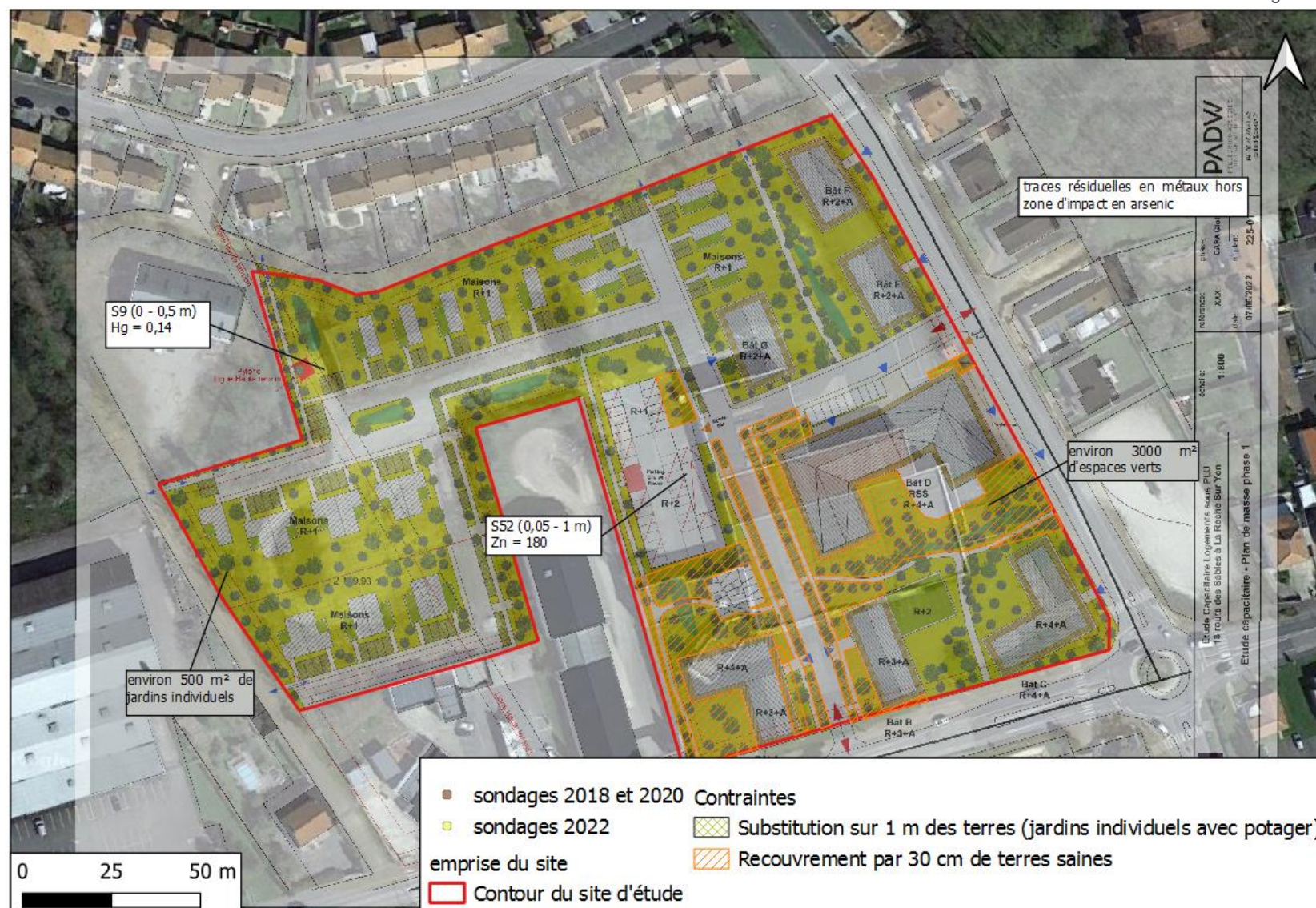
Les teneurs résiduelles en mercure (0,14 mg/kg.MS) et zinc (180 mg/kg.mS) relevé en dehors des zones d'impacts en arsenic seront pris en compte dans le cadre de l'analyse de risques résiduels prédictives. Le risque apparaît acceptable au vu des teneurs relevées.

L'estimatif pour la gestion de ces zones est repris dans le **Tableau 9** suivant.

**Tableau 9 : Estimatif du coût de gestion des zones impactées en métaux**

Estimatif					
Gestion des zones impactées en métaux					
Code	Désignation	Unité	Quantité	P.U. HT €	Montant HT €
1	Gestion des jardins individuels - secteur S1				
1.1	Excavation des terres sur 1 m sur environ 500 m²	forfait	1	2 500,00	2 500,00
1.2	Evacuation des terres en ISDI	t	900	15,00	13 500,00
1.3	Matériaux d'apport pour remblaiement	m³	500	20,00	10 000,00
1.4	Remblaiement et compactage	forfait	1	2 500,00	2 500,00
2	Gestions des espaces vert avec problématique en arsenic				
2.1	Mise en place géotextile sous les terres d'espaces verts	m²	3 000	5,00	15 000,00
2.2	Matériaux d'apport pour remblaiement (30 cm sur 3000 m² environ	m³	900	20,00	18 000,00
2.3	Remblaiement et compactage	forfait	1	3 000,00	3 000,00
Montant		TOTAL en € HT			64 500,00
		TVA €	20,00%		12 900,00
		TOTAL en € TTC			77 400,00





**Figure 13 : Gestion de la problématique arsenic au droit du site**

### 7.7.2 Délimitation des zones de matériaux non inertes

En dehors des zones de pollutions concentrées (cf. paragraphes précédents), en cas d'excavation des terres dans le cadre des travaux d'aménagement, une problématique de matériaux non inertes est à prendre en compte au droit du site en raison de plusieurs dépassements en fluorures / arsenic sur éluât et en hydrocarbures sur brut vis-à-vis de l'arrêté du 12/12/2014. Ces derniers sont repris dans le **Tableau 10** suivant :

**Tableau 10 : Synthèse des dépassements relevés vis à vis de l'arrêté du 12/12/2014**

Sondage	Profondeur d'échantillonnage	Lithologie	dépassement sur brut	dépassement sur éluât	Orientation des déblais en cas d'évacuation
S9	0 - 0,5 m	Remblais	COHV	-	ISDND / Biocentre
S29	0,1 - 1 m	Remblais	-	Fluorures	ISDI + (ou ISDND)
S30	0,1 - 1,5 m	Remblais	-	Arsenic	ISDI + (ou ISDND)
S30	1,5 - 2,5 m	Altération	pollution concentrée (déjà évacuée)		
S30	2,5 - 3 m	Altération	pollution concentrée (déjà évacuée)		
S31	0,15 - 1 m	Remblais	-	Fluorures	ISDI + (ou ISDND)
S41	1 - 2 m	Altération	HCT	na	ISDND / Biocentre
S41	2 - 3 m	Altération	HCT	na	ISDND / Biocentre
S43	0,05 - 1 m	Remblais	-	Arsenic	ISDI + (ou ISDND)
S47	0,05 - 1 m	Remblais	-	Arsenic	ISDI + (ou ISDND)
S52	0,05 - 0,5 m	Remblais	pollution concentrée (déjà évacuée)		
T2	1 - 2 m	Argile sableuse	HCT	na	ISDND / Biocentre
S2	1-2 m	Argiles sableuses	HCT	na	ISDND / Biocentre
T5	2-3 m	Sable	HCT	na	ISDND / Biocentre
T10	1-2 m	Sable	pollution concentrée (déjà évacuée)		
S10	1-2 m	Sables			
T10	3-4 m	Sable			
S10	3-4 m	Sables			
T12	2-3 m	Sable	HCT	na	ISDND / Biocentre
S12 (2-3)	2-3 m	Sables limoneux	HCT	na	ISDND / Biocentre
T14	1-2 m	Sable	pollution concentrée (déjà évacuée)		
S14 (1-2)	1-2 m	Sables			
T14	3-4 m	Sable			
S14 (3-4)	3-4 m	Sables			
T15	3-4 m	Sable	HCT	na	ISDND / Biocentre
S15 bis	3-4 m	Sable	HCT	na	ISDND / Biocentre

Vis-à-vis des terres non inertes, il est recommandé :

- **en cas d'évacuation hors site** : de privilégier la conservation des terres non inertes sur site et l'évacuation des terres inertes du site. Cela permettra de limiter les surcoûts d'évacuations en raison

des dépassements observés. Un travail de déblais / remblais est recommandé dans le cadre des futurs travaux de terrassements ;

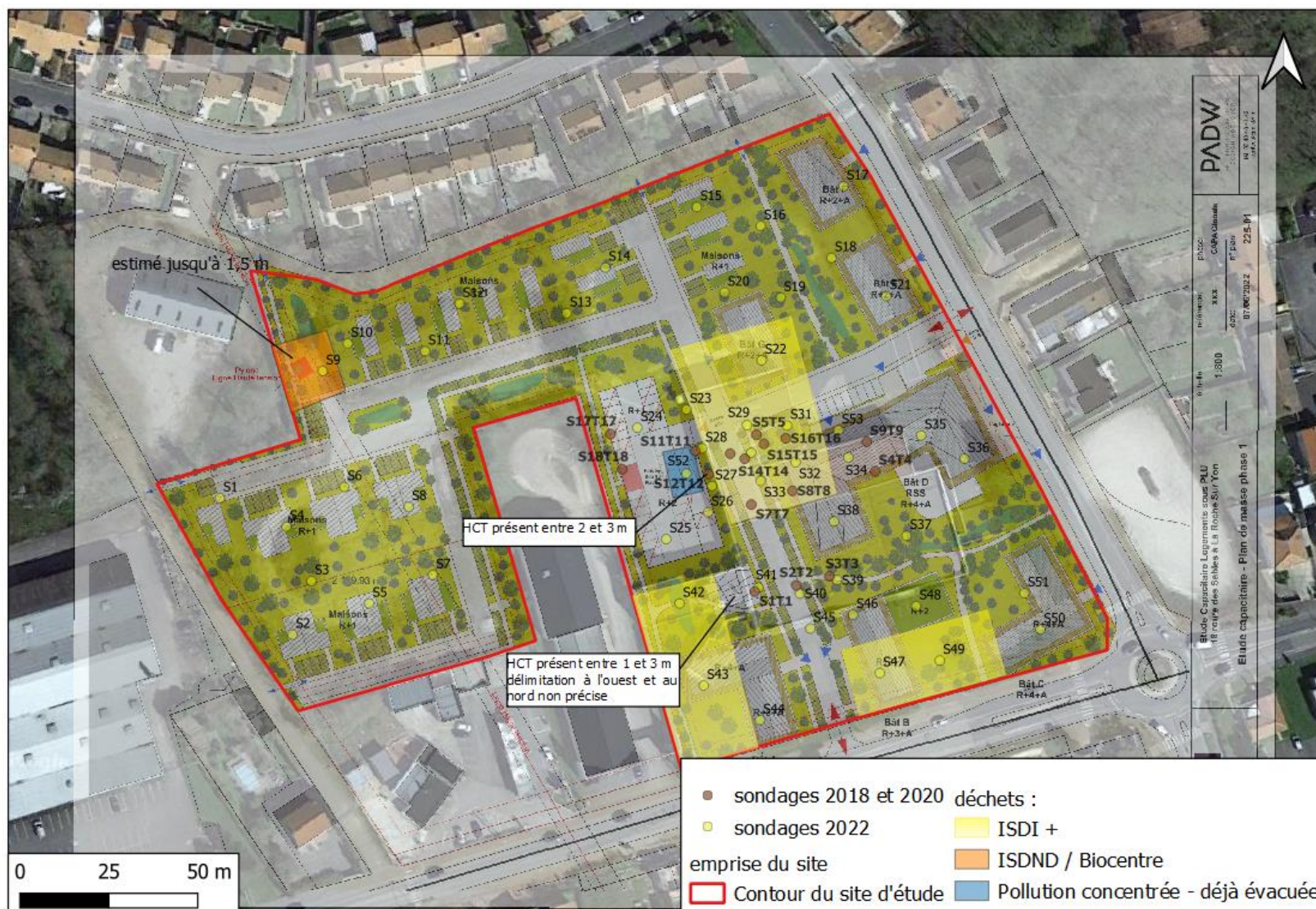
- **en cas de mouvement de terres** : de privilégier la réutilisation de ces terres pour combler les éventuelles fouilles de pollutions concentrées (cf. paragraphes suivants), de les réutiliser sous enrobé ou sous 30 cm de terres saines au droit des futurs espaces verts collectifs voir directement en recouvrement pour les terres présentant uniquement des dépassements sur éluat.

**Une optimisation de la réutilisation des déblais non inertes sera à prendre en compte dans le cadre du projet.**

**Aucun surcoût ne peut à ce stade être annoncé en l'absence de connaissance des terrassements envisagés.**

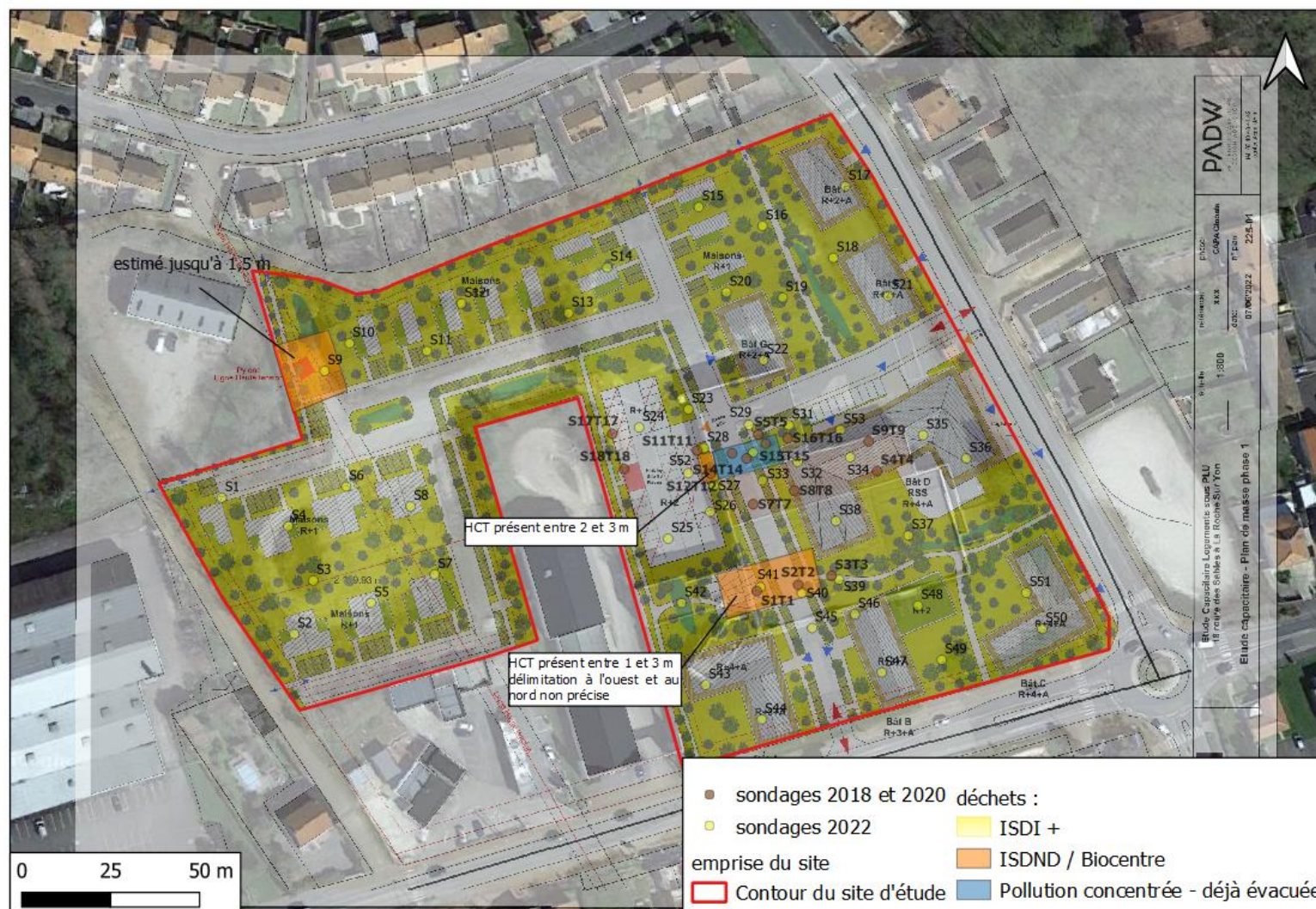
Les cartographies des zones de matériaux non inertes en cas d'excavation hors site sont présentées en **Figure 14** et **Figure 15**.





**Figure 14 : Zone de matériaux non inertes 0 - 1 m (hors pollution concentrée)**





**Figure 15 : Zone de matériaux non inertes au-delà de 1 m**

### 7.7.3 Gestions des cuves enterrées

Lors de la précédente étude de 2020, la présence de 3 cuves enterrées d'huiles neuves (2 x 2500 L et 1 x 3000 L) et 1 cuve enterrée d'huiles usagées (5000 L) a été indiquée :

- une cuve de récupération des huiles « noires » et réputée étanche suite aux contrôles diligents par le propriétaire en 2019 ;
- une cuve d'huile neuve (huile de boîte de vitesses), qui a été mise hors exploitation suite à de fortes suspicions de fuite. La neutralisation a été faite entre 2008 et 2014 ;
- une cuve d'huile neuve (huile moteur) sur laquelle il y a eu un incident de remplissage important (plusieurs centaines de litres déversées). L'incident date d'avant 2014 ;
- une cuve enterrée d'huile usagées.

De 1971 à 2003, une station-service était présente à l'entrée du site, les cuves suivantes ont été présentes aux abords de la station-service et ont été nettoyées, dégazées et neutralisées au sable et béton :

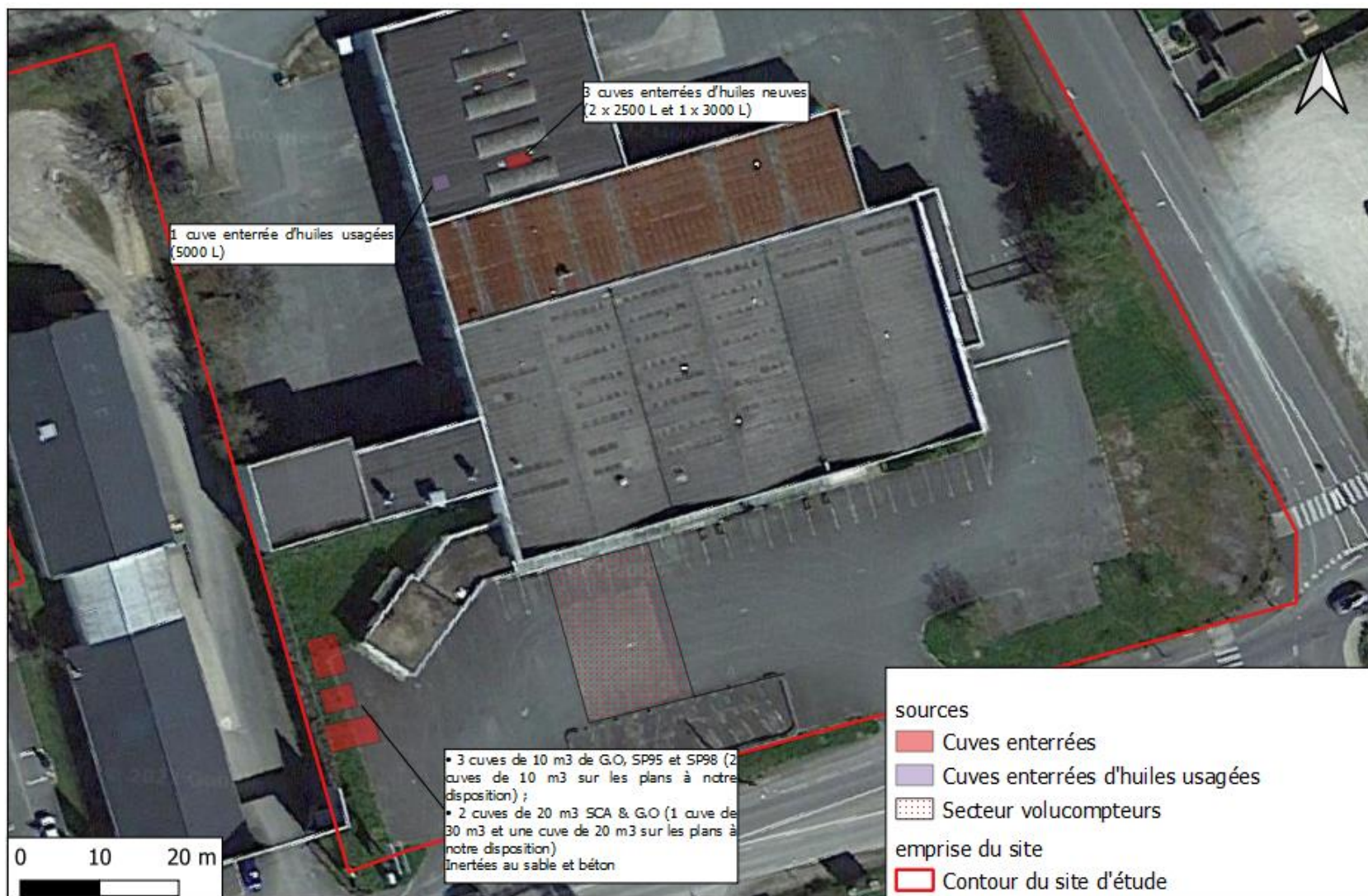
- 3 cuves de 10 m<sup>3</sup> de G.O, SP95 et SP98 (2 cuves de 10 m<sup>3</sup> sur les plans à notre disposition) ;
- 2 cuves de 20 m<sup>3</sup> SCA & G.O (1 cuve de 30 m<sup>3</sup> et une cuve de 20 m<sup>3</sup> sur les plans à notre disposition).

Les cuves existantes devront ainsi que les canalisations être nettoyées, dégazées puis inertées ou évacuées du site. L'obtention de certificat (dégazage) sera nécessaire. Un coût de gestion d'environ 5 à 10 k€ HT est estimé pour l'atelier.

Pour les cuves inertées de l'ancienne station-service, ces dernières pourront soit être laissées en place soit être évacuées pour le besoin du projet. En cas d'évacuation un surcoût d'environ 10 à 20 k€ est estimé.

**Pour l'ensemble des cuves, en cas de retrait, le coût est estimé entre 15 et 30 k€ HT. Pour l'ancienne zone de station-service qui n'a pas pu être ciblée lors des précédentes investigations (retour des administrations ultérieur aux investigations), nous recommandons la réalisation de sondages complémentaires à 5 m de profondeur à proximité des cuves pour vérifier s'il y a eu ou non des fuites à proximité de ces dernières.**





**Figure 16 : Localisation de cuves enterrées au droit du site**

## 7.8 Modalités de réalisation des travaux et de suivi

### 7.8.1 Contrôle des travaux et récolement

Conformément aux prescriptions des textes d'avril 2017, les travaux d'assainissement des sols seront contrôlés par un organisme extérieur (assistant à maître d'ouvrage ou maître d'œuvre par exemple).

Des analyses en bords et fonds de fouilles ou des analyses pendant et après traitement seront réalisées au droit des zones de pollutions concentrées afin de vérifier que l'ensemble des terres impactées ont bien été retirées/ traitées et que les terres en place sont compatibles avec le projet.

En cas de mise en place de blindage (budget non pris en compte dans les estimations), les échantillonnages de fond de fouille et parois sont à réaliser par l'entreprise de travaux.

### 7.8.2 Récolement

A l'issue des travaux de traitement, un dossier de récolement sera rédigé. Il comprendra, a minima, les éléments suivants :

- le détail des opérations réalisées ;
- le bilan précis du suivi du traitement ;
- le bilan des déchets éliminés hors site ;
- le plan de récolement ;
- les types d'analyses effectuées sur les différents milieux, ainsi que les localisations précises des prélèvements de contrôle ;
- les bilans massiques ;
- la mise à jour de l'ARR avec les mesures réalisées en fin de travaux (si nécessaire) ;
- les résultats du suivi environnemental.

### 7.8.3 Modalité en cas d'excavation des terres

#### 7.8.3.1 Principe et mise en œuvre

Les zones de pollutions concentrées identifiées et les zones de terres non inertes devront être délimitées préalablement par un géomètre, sous la responsabilité d'un bureau d'étude spécialisé. Les terres seront ensuite excavées, éventuellement stockées provisoirement puis chargées dans des camions bâchés avant expédition vers une filière adaptée. La zone terrassée sera ensuite remblayée en fonction des besoins du projet.

#### 7.8.3.2 Excavation et tri des terres

Un piquetage devra être réalisé par un géomètre accompagné d'un relevé topographique.

Les excavations seront assurées à l'aide d'une pelle hydraulique.

La caractérisation des matériaux non inertes pourra être menée au pied de la machine affectée aux travaux par une observation fine de la qualité des matériaux (indices lithologiques, organoleptiques) éventuellement complétée par la réalisation de mesures in-situ (mesure au PID, pétroflag). Cela permettra éventuellement de réduire le volume de terres impactées.

#### 7.8.3.3 Utilisation d'une zone de stockage temporaire

Les terres impactées pourront être stockées temporairement avant leur évacuation.



Dans le cas d'un stockage temporaire sur site, les terres devront être stockées selon les règles de l'art et feront l'objet d'une signalisation spécifique. Les aires de stockage temporaire des terres consisteront en une plateforme qui présentera *a minima* les caractéristiques suivantes :

- des merlons périphériques sur 0,5 m de hauteur, réalisés avec des matériaux extraits sur le site (hors zones impactées) ;
- une étanchéité continue de fond par une membrane de 500 µm d'épaisseur au minimum, soudé, ancré et lesté en périphérie.

Afin de protéger les terres contre les intempéries (vents, pluie) et limiter les accumulations d'eaux pluviales, les tas seront systématiquement bâchés.

Chaque tas stocké sera étiqueté par un panonceau fiché dans le tas afin de faciliter son repérage pour son évacuation ou son confinement ultérieure. Chaque panonceau indiquera les références du lieu de provenance. La traçabilité de chaque lot de matériaux devra être parfaitement assurée.

#### 7.8.3.4 Protection des fouilles

Après excavation et dans l'attente du remblaiement, les fouilles seront protégées des éventuelles intrusions par la mise en place d'un barriérage (type barrière HERAS). Les barrières devant être attachées entre elles.

#### 7.8.3.5 Evacuation hors site des terres impactées en hydrocarbures ou PCE

Pour l'évacuation hors site des terres impactées, l'entreprise de travaux sera responsable de l'obtention des certificats d'acceptation préalable (CAP) et de la conformité des matériaux livrés avec les seuils d'acceptation des filières retenues. Elle devra réaliser des vérifications de la qualité des déblais, préalablement au chantier ou pendant la durée du chantier, pour valider l'adéquation entre le centre choisi et les concentrations réelles.

En cas de demande des centres de traitement ou des installations de stockage de déchets, l'entreprise pourra être amenée à réaliser des tests de lixiviation complémentaires.

Il est recommandé de réaliser un suivi qualité des opérations pour garantir une traçabilité du devenir des terres (BSD).

La traçabilité des terres excavées devra être assurée par :

- la tenue d'un registre chronologique de suivi de la production des volumes par lots et de classification de matériaux, de leur expédition (date, exutoire) ou valorisation et de la réception (en installation de stockage ou en réemploi), Les BSD (bordeaux de suivi de déchets pour les déchets non dangereux et dangereux) seront par ailleurs établis et seront intégrés au registre ;
- ce registre sera "conservé pendant au moins trois ans et devra permettre "d'identifier précisément la destination ou le lieu de valorisation des terres excavées".

**Remarque :** une base de données électronique centralisée appelée « registre national des terres excavées et sédiments » a été mise en place par "le Ministre chargé de l'Environnement" et vise à enregistrer les données transmises électroniquement par les personnes produisant ou traitant des terres excavées et sédiments (y compris les personnes effectuant une opération de valorisation de terres excavées et sédiments et les personnes exploitant une installation de transit ou de regroupement de terres excavées et sédiments).

Cette transmission doit avoir lieu, au plus tard, le dernier jour du mois suivant l'expédition, la réception ou le traitement (y compris la valorisation) des terres excavées et sédiments, "et chaque fois que cela est nécessaire pour mettre à jour ou corriger une donnée".

Dorénavant, les éliminations de déchets dangereux doivent être enregistrées via l'outil Trackdéchets, la dématérialisation est obligatoire à compter du 1er juillet 2022, plus aucun BSDD ou BSDA sera autorisé.

#### 7.8.3.6 Limitation des nuisances

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

Ainsi, les mesures suivantes devront être mises en place lors de réalisation des travaux de dépollution :

- nettoyage régulier des éventuelles salissures sur la voirie pouvant générer des accidents de circulation ;
- limitation des nuisances au voisinage :
  - vibrations et bruits ;
  - respect des horaires de travail ;
  - utilisation de matériel et d'engins conformes à la réglementation en matière de bruit ;
- poussières et odeurs :
  - bâchage des camions après chargement des terres polluées ;
  - limitation de la circulation des engins en cas de grands vents afin d'éviter les envols de poussières ;
  - arrosage des pistes de circulation afin d'éviter l'envol de poussières par temps sec.

#### 7.8.4 Qualité attendue des terres d'apport saines

Il est recommandé d'utiliser au maximum les terres présentes sur site (hors pollution concentrée en hydrocarbures totaux ou PCE) afin de limiter les opérations d'apports de terres.

Le cas échéant, les terres saines qui seront mises en œuvre devront respecter les valeurs limites présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 11 : Qualité chimique des terres d'apport pour les futurs espaces verts**

Brut / Eluat	Famille	Substances	Valeurs limites préconisées
			(en mg/kg)
Brut	Métaux	Arsenic (As)	25
		Cadmium (Cd)	0,45
		Chrome (Cr)	90
		Cuivre (Cu)	20
		Mercure (Hg)	0,1
		Nickel (Ni)	60
		Plomb (Pb)	50
		Zinc (Zn)	100
	HAP	Naphtalène	0,15
		Somme des 16 HAP	25
	Hydrocarbures	Fractions C <sub>5</sub> -C <sub>10</sub>	inférieure à la LQ
		Fractions C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub>	inférieure à la LQ <sup>(*)</sup>
Eluat	BTEX	Somme des BTEX	inférieure à la LQ
		COHV	
		PCB	
		Fraction soluble	
		Carbone organique total	
		Indice phénol	
	Paramètres généraux et anions	Fluorures	10
		Chlorures	800
		Sulfates	1000
		Antimoine	0,06
		Arsenic	0,5
		Baryum	20
		Cadmium	0,04
		Chrome	0,5
		Cuivre	2
		Mercure	0,01
		Molybdène	0,5
		Nickel	0,4
		Plomb	0,5
		Zinc	4
		Selenium	0,1

- LQ = limite de détection analytique
- <sup>(\*)</sup> Pour les HCT, une valeur légèrement supérieure à la LQ pourra être acceptée (jusqu'à 100 mg/kg)

### 7.8.5 Hygiène et sécurité : mesures de protection des travailleurs

L'entreprise devra fournir un PPSPS spécifique au chantier (en cas de présence d'un coordinateur). Même s'il n'y a pas de coactivité, une coordination sécurité est souhaitable au regard de la situation du site.

Nous préconisons également le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et de sécurité du domaine du BTP lors de la réalisation du chantier de gestion des terres impactées, afin de réduire, autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air.

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

- port de chaussures ou bottes de sécurité ;
- port de gants ;
- à proximité des zones de pollutions : port de masque respiratoire filtrant pour limiter l'inhalation de poussières et de composés organiques volatils (notamment hydrocarbures).

Pour les zones de pollutions concentrées, en cas d'excavation, nous recommandons l'utilisation de pelles pressurisées avec des filtres COV. Au vu des polluants présents (hydrocarbures volatils, voir PCE), le port de masque respiratoire filtrant adapté au produit identifié, filtrant les gaz et les particules devra être prévu.

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.

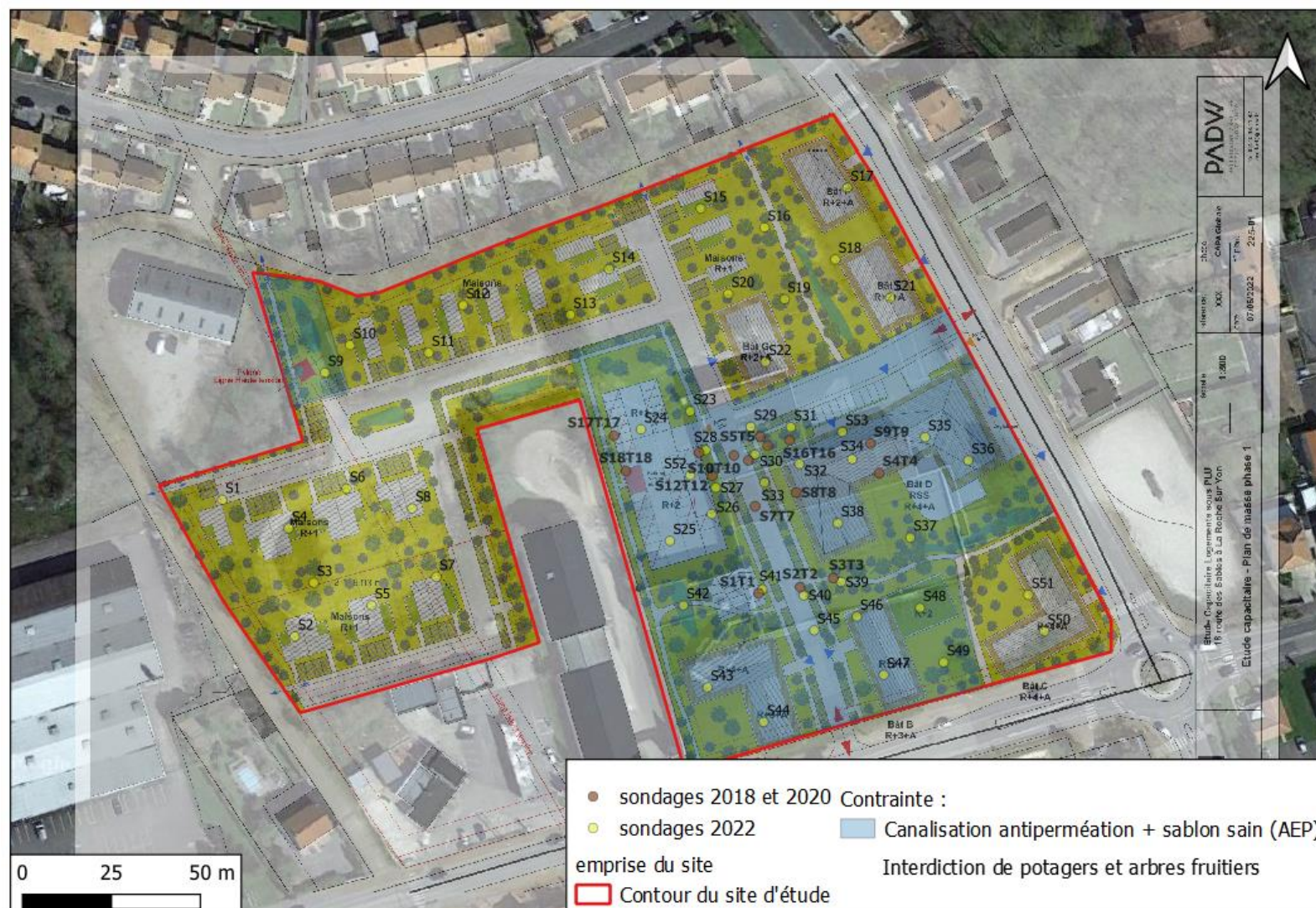
## 7.9 Restriction d'usages

Un dossier de restrictions d'usages devra être établi pour les secteurs concernés par les servitudes. Les restrictions d'usages concernent principalement la partie Est du site au niveau des logements collectifs. Si les terres superficielles impactées en arsenic ne sont pas évacuées hors-site, une interdiction de potager et d'arbre fruitier est à prévoir. Également, pour les zones présentant des teneurs en hydrocarbures résiduels voir PCE, des canalisations AEP anti-perméation entourée par du sablon sain par mesure de précaution sont recommandées. Le récapitulatif est repris dans le **Tableau 12** et la **Figure 17** ci-après.

**Tableau 12 : Restrictions d'usage à mettre en œuvre**

Restrictions relatives aux <u>usages des sols</u>	Restrictions relatives aux <u>usages du sous-sol</u>	Restrictions relatives aux <u>usages des eaux souterraines</u>
<p><b><u>Usages autorisés :</u></b></p> <p>Ceux définis dans le présent plan de gestion sous condition que les mesures de gestion proposées soient appliquées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Logements individuels et collectifs</li> <li>les espaces non recouverts par les bâtiments au droit de la zone de problématique en arsenic (logements collectifs) seront de type : <ul style="list-style-type: none"> <li>voiries/parkings aériens avec un revêtement de type bitume ou équivalent,</li> <li>cheminements piétons avec un revêtement de type stabilisé,</li> <li>espaces verts à usage paysager (pas de cultures ou de jardins potagers) avec couvert végétal d'au moins 30 cm des sols de surface</li> </ul> </li> </ul>	<p><b><u>Usages autorisés :</u></b></p> <p>Les canalisations d'amenée en eau potable devront être mises en place dans des tranchées de matériaux d'apport sains. Dans le cas de figure où les canalisations d'eau potable seraient implantées dans des zones impactées, les canalisations devront être métalliques ou en matériaux anti-perméation (type tricouche par exemple). (cf. <b>Figure 17</b>)</p>	<p><b><u>Usages autorisés :</u></b></p> <p>Aucun usage des eaux souterraines n'est prévu dans le cadre de l'aménagement du site. Tout usage de l'eau au droit du site devra être validé par la réalisation des études adéquates qui devront être validées par l'administration.</p>
<p><b><u>Usages non autorisés :</u></b></p> <p>Ceux qui ne sont pas mentionnés ci-dessus. D'une manière générale, tout changement d'usage nécessitera la réactualisation d'une étude des risques sanitaires et le cas échéant la rédaction d'un nouveau plan de gestion.</p>	<p><b><u>Usages interdits :</u></b></p> <p>Cultures de fruits et légumes en pleine terre au droit de l'ancien garage de la partie est (cf. <b>Figure 17</b>) ;</p> <p>Elevage d'animaux.</p>	
<p><b><u>Prescriptions particulières :</u></b></p> <p>Sur l'ensemble du site, toute affectation des terrains à un ou des usage(s) différent(s) de l'usage de logement collectif et individuel on et/ou toute modification, y compris à usage constant, de la configuration des terrains et/ou des constructions de toute nature qui y sont édifiées ne pourra être opérée que sur la base d'une étude environnementale complémentaire attestant de l'absence de risque pour le nouvel usage projeté, le cas échéant sous réserve de la mise en œuvre de travaux de réhabilitation complémentaires. Cette étude devra être réalisée sous sa responsabilité par la personne à l'initiative du changement d'usage et devra être conforme à la méthodologie préconisée par les pouvoirs publics.</p>	<p><b><u>Prescriptions particulières :</u></b></p> <p>Dispositions particulières de sécurité, d'organisation de chantier et de gestion des déblais en cas de travaux de terrassement.</p>	





**Figure 17 : Localisation des zones de restrictions d'usages**

## 7.10 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 13 : 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	3	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).

## 7.11 Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion

A ce stade de l'étude, 2 scénarios de gestion sont identifiés :

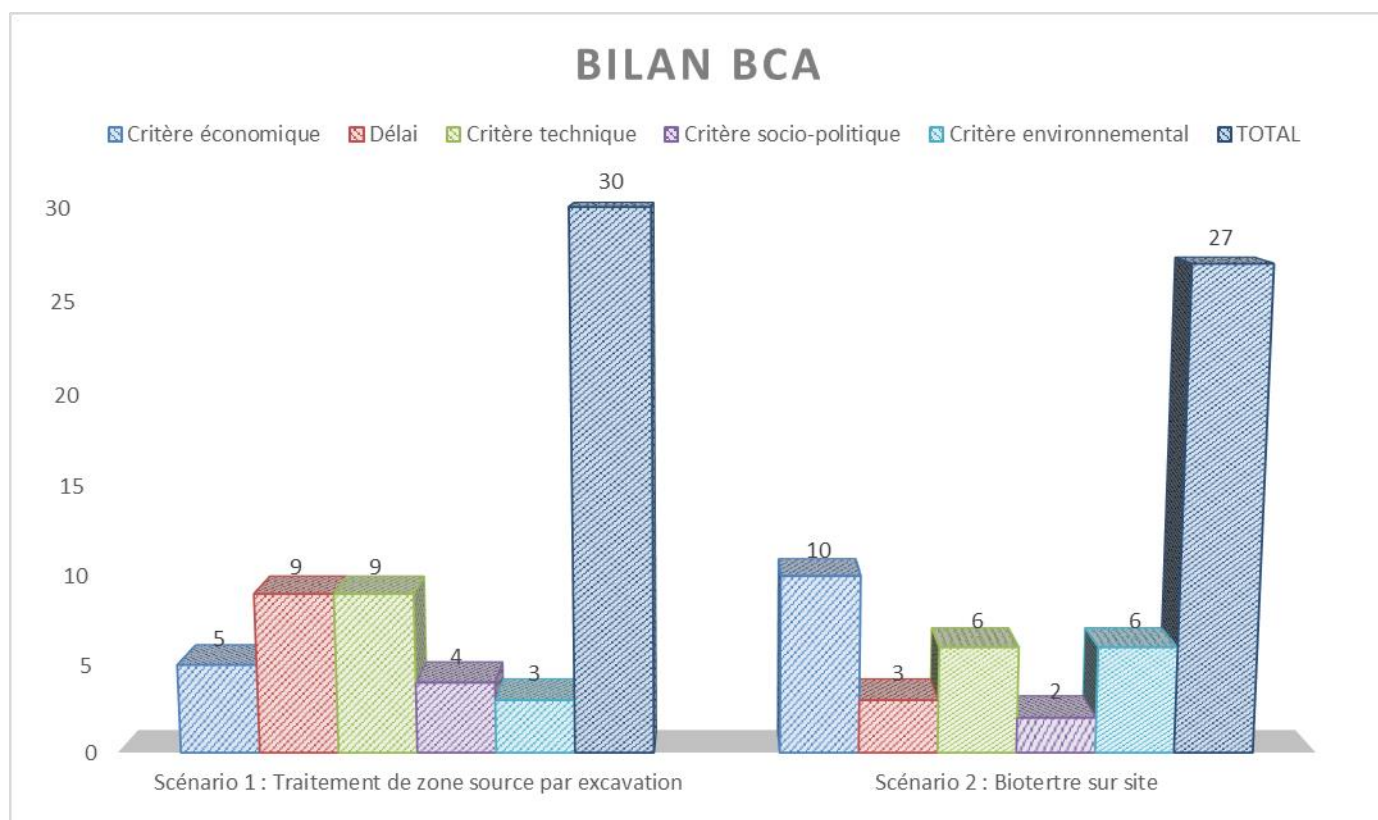
- Scénario 1 : Excavation des sols sur site et évacuation hors site en biocentre ;
- Scénario 2 : Excavation des sols et biotierre sur site.

Pour chaque scénario envisagé, une note est attribuée pour chacun des critères définis au chapitre 7.10, la somme des notes conduits à une note globale du scénario.

Le tableau et le graphe suivants présentent les résultats du bilan coûts-avantages. Les détails des calculs sont fournis en **Annexe 2**.

**Figure 18 : Synthèse du bilan coût avantage pour les 2 scénarios retenus**

	Critère économique	Délai	Critère technique	Critère socio-politique	Critère environnemental	TOTAL
Pondération	5	3	3	2	3	
Scénario 1 : Traitement de zone source par excavation	5	9	9	4	3	30
Scénario 2 : Biotertre sur site	10	3	6	2	6	27



Le scénario 1 par rapport au 2 est légèrement mieux noté en raison essentiellement des critères techniques, du délai de mise en œuvre permettant une efficacité garantie dans un délai court. En cas de mise en place d'un sous-sol, le scénario 1 apparaît également plus adapté.

Les inconvénients liés à cette solution sont le coût, le mauvais bilan carbone, les risques de nuisances pour le voisinage et les riverains ainsi que la forte quantité de déchets produits.

Il est important de rappeler ici que le plan de gestion est un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage et qu'il n'a pas vocation à être conclusif quant au scénario de gestion à mettre en place. La décision finale, son application et les responsabilités qui en découlent reviennent au maître d'ouvrage.



## 8. Conceptualisation de l'exposition après mesures de gestion

Le schéma conceptuel est présenté de façon à visualiser :

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

Il est présenté et discuté dans les paragraphes suivants.

Le schéma conceptuel mis à jour à l'issue du diagnostic environnemental du site et pour les usages futurs envisagés est présenté sur la **Figure 19**.

### 8.1 Géologie et hydrogéologie

La lithologie rencontrée au droit du site est la suivante :

- entre la surface et 1 à 2 m : des remblais sableux à graveleux (marron/beige) ;
- de 0,6 à 1,5 m : des argiles ou des limons argileux (marron/gris/orange) ;
- de 0,5 à 4,5 m (fin des sondages) : des altérations de granite (beige/orange).

Une nappe superficielle est probablement présente à quelques mètres de profondeur (entre 5 et 10 m). On rappelle néanmoins, qu'aucune venue n'a été mise en évidence lors de la réalisation des sondages jusqu'à 4,5 m de profondeur par GINGER BURGEAP

### 8.2 Synthèse des impacts résiduels dans les différents milieux

Suite au retrait des poches de pollutions en hydrocarbures, il reste :

- des teneurs résiduelles en hydrocarbures (< 1 500 mg/kg.MS au droit des zones de logements collectifs et < 500 mg/kg.%S au droit des zones de logements individuels) ;
- des traces résiduelles en PCE (0,1 à 1 mg/kg selon usage) au nord-ouest en S9 /S10 ;
- la présence de métaux (mercure à 0,14 mg/kg.MS et zinc à 180 mg/kg.MS) en dehors de la zone de problématique en arsenic (recouvertes soit par les futurs bâtiments, voiries ou 30 cm de terres saines) ;

Le milieu eaux souterraines et gaz du sol n'a pas été investigué.

#### 8.2.1 Projet d'aménagement/usage pris en compte/environnement du site

Le projet comprend la réalisation de

- 8 bâtiments de logements collectifs dont un avec un niveau de sous-sol ;
- 23 maisons individuelles avec jardins privatifs ;
- voiries et espaces verts.

#### 8.2.2 Enjeux/cibles à considérer

Les enjeux à considérer **sur site** sont les futurs usagers du site (adultes et enfants en logements individuels ou collectifs).



### 8.3 Voies de transferts depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition

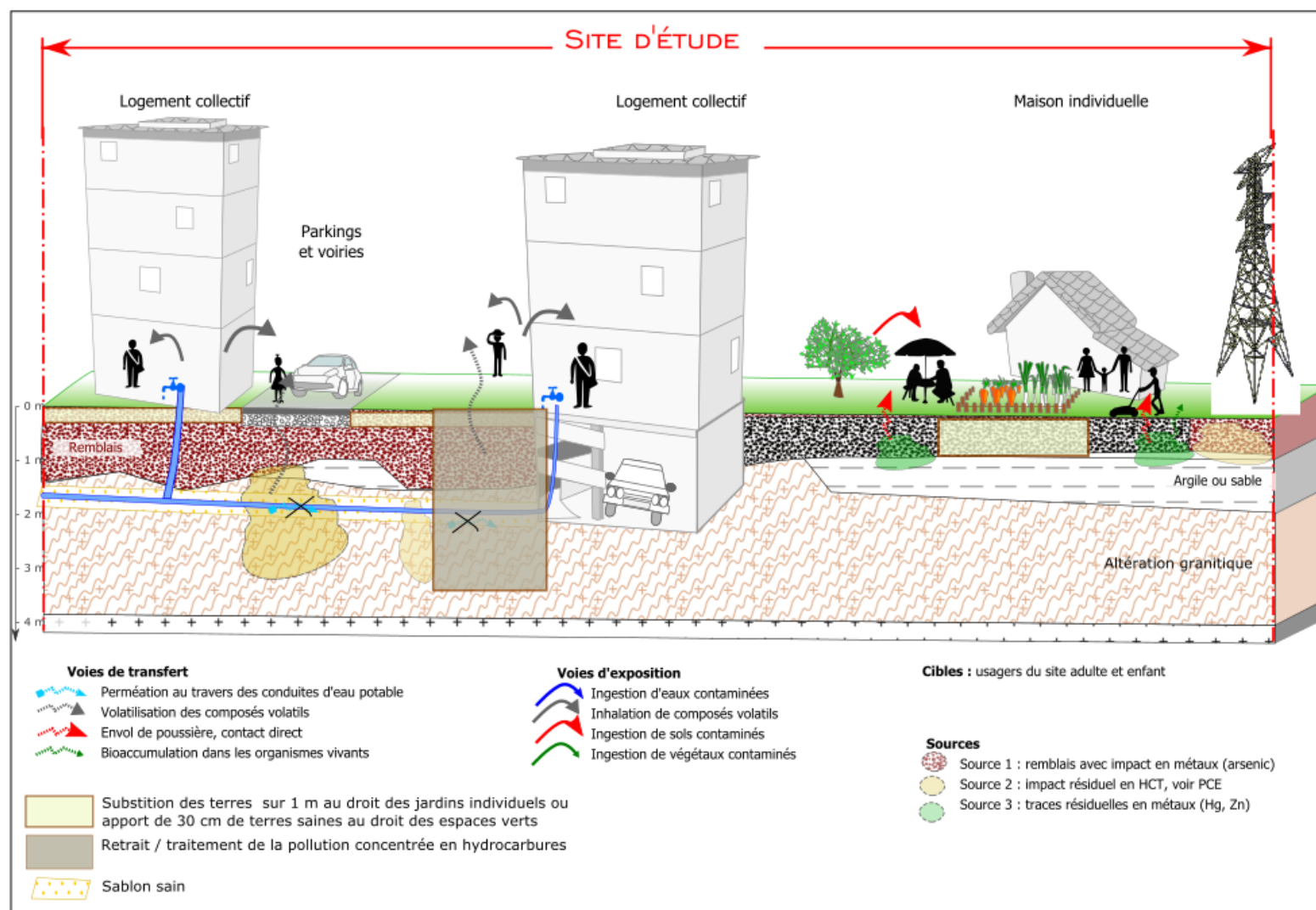
Au droit des zones recouvertes par un bâtiment ou un revêtement spécifique, la voie de transfert à considérer est la volatilisation des composés volatils depuis les sols.

Au droit des espaces non recouverts, les voies de transfert à retenir sont l'envol de poussières contenant des polluants, la volatilisation des composés volatils depuis les sols vers l'air ambiant, ainsi que le transfert vers les végétaux cultivés (pour les zones d'habitats individuelles avec jardins privés).

### 8.4 Voies d'expositions

Au droit des zones recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est l'inhalation de composés volatils issus du milieu souterrain.

Au droit des zones non recouvertes, les voies d'exposition à considérer sont l'inhalation de poussières, l'inhalation de polluants volatils, l'ingestion de sols et poussières contenant des polluants, l'ingestion de végétaux cultivés sur site (pour les futurs potagers).



**Figure 19 : Schéma conceptuel après mesures de gestion (usage futur)**

## 9. Analyse des Risques Résiduels (ARR)

### 9.1 Contexte et méthodologie

Conformément aux textes ministériels relatifs à la gestion des sites et sols pollués de 2007 puis 2017, la compatibilité entre l'état attendu des terrains après mise en œuvre des mesures de gestion proposées et l'usage futur du site doit être vérifiée sur le plan sanitaire.

L'analyse des risques résiduels (ARR) consiste donc à vérifier que l'état des milieux à l'issue des travaux (concentrations résiduelles dans les sols) est compatible avec les usages futurs.

L'ARR qui repose sur le schéma conceptuel final peut être réalisée :

- *a priori* (avant la réalisation des travaux de réhabilitation ou « ARR prédictive »). Les calculs de risques sont menés sur des concentrations résiduelles estimées en tenant compte des performances connues des techniques de dépollution. Dans ce cas, lors du récolement à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées et les caractéristiques des aménagements prévus seront comparées aux données d'entrée de la présente ARR afin de statuer sur la bonne mise en œuvre du plan de gestion. Une ARR prédictive apporte une certaine garantie sur l'acceptabilité sanitaire mais ne remplace pas celle réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation ;
- *a posteriori* (à réception des travaux de réhabilitation ou « ARR fin de travaux »). Dans ce cas, à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées lors du récolement et les caractéristiques des aménagements prévus sont intégrées à l'ARR afin de statuer sur la compatibilité entre les pollutions résiduelles et les usages.

L'ARR est donc ici réalisée *a priori* (avant les travaux de réhabilitation), en considérant les teneurs retenues comme objectifs de dépollution.

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 et travaux réalisés 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.

Ainsi, la sélection des composés à retenir s'est basée sur les éléments suivants :

- **les concentrations résiduelles mesurées dans les sols (objectifs de réhabilitation retenus dans le Plan de Gestion et pour la détermination des zones de pollution concentrées) ;**
- **les voies d'exposition retenues : l'inhalation de vapeur, ainsi que l'ingestion de sols et poussières, l'inhalation de poussières, l'ingestion de végétaux contaminés depuis les sols ;**
- les concentrations caractéristiques de bruit de fond géochimique ou anthropique si elles sont disponibles ;

- les valeurs réglementaires ou guides définies pour l'air extérieur ou intérieur (décret 2002-213 ou OMS, 2000 ou INDEX, 2005 ou ANSES, 2007, 2009, 2010, 2014 ou HCSP, 2012 et également les concentrations habituellement mesurées dans l'air intérieur et extérieur par les observatoires français de la qualité de l'air - OQAI, 2006) ;
- les principales propriétés physico-chimiques des composés : volatilité et solubilité ;
- la toxicité et la cancérogénicité des produits (phrases de risques, classement par l'Union Européenne, le CIRC ou l'US-EPA et éventuellement les valeurs toxicologiques de référence).

Dans ce cadre, deux scénarios ont été retenus

- **Scénario 1 - Habitat individuel avec potager** : prise en compte de l'objectif de réhabilitation (HCT = 500 mg/kg dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 1 mg/kg (LQ), PCE = 0,1 mg/kg) et des teneurs résiduelles relevés dans les sols (métaux, méthanol, acétone, BTEX dont benzène < 0,05 mg/kg (LQ), PCB) ;
- **Scénario 2 - Habitat collectif sans sous-sol** : prise en compte de l'objectif de réhabilitation (HCT = 1 500 mg/kg dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 5 mg/kg, PCE = 0,1 mg/kg) et des teneurs résiduelles relevés dans les sols (métaux, méthanol, acétone, BTEX, PCB) ;
- **Scénario 3 - Habitat collectif avec sous-sol** : prise en compte de l'objectif de réhabilitation (HCT = 1 500 mg/kg dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 5 mg/kg, PCE = 0,1 mg/kg) et des teneurs résiduelles relevés dans les sols (métaux, méthanol, acétone, BTEX dont benzène < 0,05 mg/kg (LQ), PCB) ;
- **Scénario 4 – Espace vert collectif** : prise en compte de l'objectif de réhabilitation (HCT = 1 500 mg/kg dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 5 mg/kg, PCE = 1 mg/kg) et des teneurs résiduelles relevés dans les sols (métaux, méthanol, acétone, BTEX dont benzène < 0,05 mg/kg (LQ), PCB) ;

Ce scénario a été pris en compte principalement pour la zone avec pylône électrique (S9) où la présence de PCE a été relevée à 1 mg/kg.

Pour les quatre scénarios, les teneurs maximales relevées dans les sols de surface et en profondeur ont été prises en compte en cas de remaniement de terres liés aux futurs travaux. Ces scénarios différencient la partie logements individuels et collectifs et prennent en compte la présence ou non de sous-sol.

Les scénarios sont réalisés sur la base des teneurs relevées sur sol brut en l'absence d'élément sur les gaz du sol. Les concentrations retenues sont repris dans les **Tableau 14** au **Tableau 16** suivants :



**Tableau 14 : Scénario 1 - Habitat avec potager - concentrations retenues**

	Concentrations à la source retenues sous le bâtiment		Concentrations à la source retenues en extérieur		
Substances	Sols	Investigations correspondantes et critères de sélection	Sols	Sols de surface	Investigations correspondantes et critères de sélection
mg/kg					
mg/kg					
mg/kg					
METAUX ET METALLOIDES					
Mercure (Hg)	0,14	S9 (0 - 0,5 m)	0,14	0,14	S9 (0 - 0,5 m)
Zinc (Zn)	180	S52 (0,05 - 1 m)	180	180	S52 (0,05 - 1 m)
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES					
toluène	0,17	S42 (0,1 - 1 m)	0,17	0,17	S42 (0,1 - 1 m)
M+p-Xylène	0,26	S42 (0,1 - 1 m)	0,26	0,26	S42 (0,1 - 1 m)
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH					
Aliphatic nC>5-nC6	<LQ	500 mg/kg dont HCC5C10 < LQ - répartition selon échantillon S30 (1,5 - 2)	<LQ	<LQ	500 mg/kg dont HCC5C10 < LQ - répartition selon échantillon S30 (1,5 - 2)
Aliphatic nC>6-nC8	<LQ		<LQ	<LQ	
Aliphatic nC>8-nC10	<LQ		<LQ	<LQ	
Aliphatic nC>10-nC12	3,39		3,39	3,39	
Aliphatic nC>12-nC16	11,63		11,63	11,63	
Aliphatic nC>16-nC35	447,93		447,93	447,93	
Aromatic nC>8-nC10	<LQ		0,00	0,00	
Aromatic nC>10-nC12	1,45		1,45	1,45	
Aromatic nC>12-nC16	3,88		3,88	3,88	
Aromatic nC>16-nC21	3,59		3,59	3,59	
Aromatic nC>21-nC35	28,12		28,12	28,12	
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS					
tétrachloroéthylène (PCE)	0,1	S10 (0 - 1 m)	0,1	0,1	S10 (0 - 1 m)
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES					
Cétones					
Acétone (diméthylcétone - 2- propanone)	0,12	S32 (0,1 - 1 m)	0,12	0,12	S32 (0,1 - 1 m)
Ethers de glycol et alcools					
méthanol	20,1	S16 - 2020 (0,15 - 1 m)	20,1	20,1	S16 - 2020 (0,15 - 1 m)
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS					
PCB (associés a l'aroclor 1254)	0,015	S13 (0 - 0,4 m) - sommés des 7 congénères	0,015	0,015	S13 (0 - 0,4 m) - sommés des 7 congénères

Tableau 15 : Scénario 2 et 3 – logements collectifs

	Concentrations à la source retenues sous le bâtiment		Concentrations à la source retenues en extérieur	
Substances	Sols	Investigations correspondantes et critères de sélection	Sols	Investigations correspondantes et critères de sélection
mg/kg			mg/kg	
METAUX ET METALLOIDES				
Mercure (Hg)	0,14	S9 (0 - 0,5 m)	0,14	S9 (0 - 0,5 m)
Zinc (Zn)	180	S52 (0,05 - 1 m)	180	S52 (0,05 - 1 m)
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES				
toluène	0,17	S42 (0,1 - 1 m)	0,17	S42 (0,1 - 1 m)
M+p-Xylène	0,26	S42 (0,1 - 1 m)	0,26	S42 (0,1 - 1 m)
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH				
Aliphatic nC>5-nC6	0,00	1500 mg/kg dont HCC5C10 < 15 mg/kg - répartition selon échantillon S30 (1,5 - 2)	0,00	1500 mg/kg dont HCC5C10 < 15 mg/kg - répartition selon échantillon S30 (1,5 - 2)
Aliphatic nC>6-nC8	0,64		0,64	
Aliphatic nC>8-nC10	8,21		8,21	
Aliphatic nC>10-nC12	10,08		10,08	
Aliphatic nC>12-nC16	34,55		34,55	
Aliphatic nC>16-nC35	1330,37		1330,37	
Aromatic nC>8-nC10	6,16		6,16	
Aromatic nC>10-nC12	4,32		4,32	
Aromatic nC>12-nC16	11,52		11,52	
Aromatic nC>16-nC21	10,65		10,65	
Aromatic nC>21-nC35	83,51		83,51	
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS				
tétrachloroéthylène (PCE)	0,1	S10 (0 - 1 m)	0,1	S10 (0 - 1 m)
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES				
Cétones				
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	0,12	S32 (0,1 - 1 m)	0,12	S32 (0,1 - 1 m)
Ethers de glycol et alcools				
méthanol	20,1	S16 - 2020 (0,15 - 1 m)	20,1	S16 - 2020 (0,15 - 1 m)
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS				
PCB (associés a l'aroclor 1254)	0,015	S13 (0 - 0,4 m) - sommés des 7 congénères	0,015	S13 (0 - 0,4 m) - sommés des 7 congénères

**Tableau 16 : Scénario 4 – Espace vert collectif**

	Concentrations à la source retenues en extérieur		
Substances	Sols	Sols de surface	Investigations correspondantes et critères de sélection
mg/kg                      mg/kg METAUX ET METALLOIDES			
Mercure (Hg)	0,14	0,14	S9 (0 - 0,5 m)
Zinc (Zn)	180	180	S52 (0,05 - 1 m)
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES			
toluène	0,17	0,17	S42 (0,1 - 1 m)
M+p-Xylène	0,26	0,26	S42 (0,1 - 1 m)
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH			
Aliphatic nC>5-nC6	0,00	0,00	1500 mg/kg dont HCC5C10 < 15 mg/kg - répartition selon échantillon S30 (1,5 - 2)
Aliphatic nC>6-nC8	0,64	0,64	
Aliphatic nC>8-nC10	8,21	8,21	
Aliphatic nC>10-nC12	10,08	10,08	
Aliphatic nC>12-nC16	34,55	34,55	
Aliphatic nC>16-nC35	1330,37	1330,37	
Aromatic nC>8-nC10	6,16	6,16	
Aromatic nC>10-nC12	4,32	4,32	
Aromatic nC>12-nC16	11,52	11,52	
Aromatic nC>16-nC21	10,65	10,65	
Aromatic nC>21-nC35	83,51	83,51	
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS			
tétrachloroéthylène (PCE)	1	1	S10 (0 - 1 m)
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES			
Cétones			
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	0,12	0,12	S32 (0,1 - 1 m)
Ethers de glycol et alcools			
méthanol	20,1	20,1	S16 - 2020 (0,15 - 1 m)
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS			
PCB (associés a l'aroclor 1254)	0,015	0,015	S13 (0 - 0,4 m) - sommés des 7 congénères

### 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 cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) ainsi que les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En ce qui concerne le potentiel cancérogène, 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 4**.

### 9.4 Caractérisation des Relations 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 nationales<sup>1</sup> 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.

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**.

<sup>1</sup> 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),

OEHHHA (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.



Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

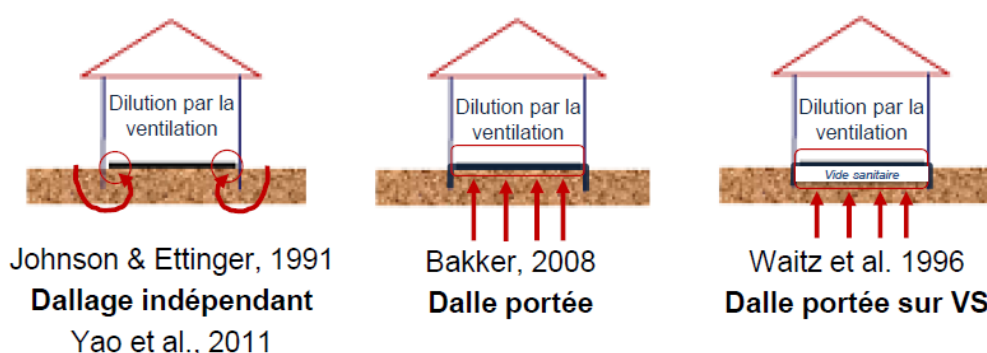
		Effets sans seuil						Effets à seuil							
Substance	CAS N°	ERUo	TYPE CANCER	SOURCE	ERUI	TYPE CANCER	SOURCE	VTRo	ORGANE	SOURCE	SF	VTRI	ORGANE	SOURCE	SF
		(mg/kg/j) <sup>1</sup>			(µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>							(µg/m <sup>3</sup> )			
METAUX ET METALLOIDES															
Mercur (Hg)	multiple	-	-	-	-	-	-	0,00057	rein	EFSA, 2012 retenu par Anses, 2018	100	0,2	SNC	OMS-CICAD 2003	30
Zinc (Zn)	multiple	-	-	-	-	-	-	0,3	sang	US-EPA, 2005	3	-	-		-
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES															
toluène	108-88-3	-	-	-	-	-	-	0,08	hepatique, rein	US-EPA, 2005 retenu par INERIS, 2014	3000	19 000	syst. Nerveux	Anses, 2017	5
m+p-Xylène	1320-20-7	-	-	-	-	-	-	0,2	poids corporel	ATSDR, 2007	1000	100	syst. Nerveux	US EPA 2003 retenu par Anses, 2020	300
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH															
Aliphatic nC>5-nC6	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	non adapté	US-EPA, 2005	1000	3 000	syst. nerveux	Anses, 2014	75
Aliphatic nC>6-nC8	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	non adapté	US-EPA, 2005	1000	3 000	syst. nerveux	Anses, 2014	75
Aliphatic nC>8-nC10	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,1	syst. nerveux syst. hépatique	TPHCWG & MADEP	1000	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000
Aliphatic nC>10-nC12	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,1	syst. nerveux syst. hépatique	TPHCWG & MADEP	1000	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000
Aliphatic nC>12-nC16	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,1	syst. nerveux syst. hépatique	TPHCWG & MADEP	1000	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000
Aliphatic nC>16-nC35	non adéquat	-	-	-	-	-	-	2	tumeurs hépatiques	TPHCWG & MADEP	100	-	-	TPHCWG & MADEP	-
Aliphatic nC>35	non adéquat	-	-	-	-	-	-	20	tumeurs hépatiques	TPHCWG & MADEP	100	-	-	TPHCWG & MADEP	-
Aromatic nC>5-nC7 (benzène)	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	voir benzène	voir benzène	voir benzène	-	voir benzène	voir benzène	voir benzène
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	voir toluène	voir toluène	voir toluène	-	voir toluène	voir toluène	voir toluène
Aromatic nC>8-nC10	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,03	poids	MADEP, 2003	10000	200	poids	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC>10-nC12	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,03	poids	MADEP, 2003	10000	200	poids	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC>12-nC16	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,03	poids	MADEP, 2003	1000	200	poids	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC>16-nC21	non adéquat	-	-	-	-	-	-	0,03	nephrotoxique	TPHCWG & MADEP	1000	-	-	TPHCWG & MADEP	-
Aromatic nC>21-nC35	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	non adapté	TPHCWG & MADEP	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS															
tétrachloroéthylène (PCE)	127-18-4	2,0E-03	hépatique	US-EPA, 2012 retenu par Anses, 2018	2,6E-07	hépatique	US-EPA, 2012 retenu par Anses, 2018	0,014	hépatique	OMS,2011 retenu par Anses, 2018	1000	400	neurotoxicité	Anses, 2018	30
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES															
Cétones															
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	67-64-1	-	-	-	-	-	-	0,9	rein	US-EPA, 2003	1000	30 000	syst. nerveux	ATSDR, 1994	100
Ethers de glycol et alcools															
méthanol	67-56-1	-	-	-	-	-	-	2	developpement	US-EPA 2013	100	20 000	developpement	US-EPA 2013	100
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS															
PCB (associés à l'aroclor 1254)	non adéquat	2	hépatique	US-EPA, 1997	5,7E-04	hépatique	US-EPA 1997	0,00002	sys immunitaire	US-EPA, 1996	300	1	marginiaux	RIVM, 2000	300

## 9.5 Estimation des expositions

### 9.5.1 Concentrations dans les milieux d'exposition

#### 9.5.1.1 Estimation des concentrations dans l'air intérieur et extérieur

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 <sup>[3]</sup> (Waitz et al, 1996) adapté aux situations avec vide sanitaire, le modèle dit de « Johnson and Ettinger » <sup>[4]</sup> (Johnson et 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)<sup>[5]</sup> pour les constructions en dalle portée ou radier (fondation et dalle d'un seul tenant, sans fissuration périphérique).



**Figure 20 : Représentation schématique des différents modèles de calcul des transferts des sols vers l'air intérieur**

Aucune information sur le type de dallage n'a été communiquée. Dans le cadre de l'étude, deux modèles (Bakker et Johnson & Ettinger) seront donc pris en compte pour les habitations et logements collectifs. Volasoil ne sera en revanche pas pris en compte pour le scénario avec sous-sol (non adapté).

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**.

<sup>[3]</sup> 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.

<sup>[4]</sup> 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

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

► Hypothèses retenues - paramètres liés au sol et aux aménagements

Les concentrations dans l'air intérieur sont estimées à partir des concentrations mentionnées dans les **Tableau 14** au **Tableau 16**. Les hypothèses retenues pour la réalisation des calculs de transferts des sols vers l'air intérieur et l'air extérieur, sont rappelées dans les tableaux ci-après.

Tableau 18 : Paramètres retenus liés au sol et pour l’air extérieur – logements individuels et espaces verts extérieurs

Profondeur de la pollution	Unités	Valeurs	Sources de données
Profondeur du toit de la source sous le niveau du sol (sous le sol nu en l'absence de recouvrement ou sous la base du recouvrement)	m	0,1	couche estimé sous terre végétale
Dilution par le vent	Unités	Valeurs	Sources de données
Hauteur de la zone de mélange (adulte)	m	1,5	Hauteur des voies respiratoires des cibles (1 m enfant et 1,5m pour les adultes)
Hauteur de la zone de mélange (enfant)	m	1,0	Hauteur des voies respiratoires des cibles (1 m enfant et 1,5m pour les adultes)
Longueur de la zone de mélange	m	30	estimation
Vitesse moyenne de vent	m/s	2,0	valeur la plus contraignante retenue

Lithologie	Unités	Horizon1	Sources de données
Nature lithologique	m	Limons sableux	d'après lithologie rencontrée sur le site
Epaisseur	m	0,1	estimé sous terre végétale
Porosité	-	25%	utilisé au niveau de la source pour le transfert
Teneur en eau	-	15%	utilisé au niveau de la source pour le transfert
foc	-	0,7%	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant
Masse volumique du sol	kg/l	1,80	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant

Tableau 19 : Paramètres retenus liés au sol et pour l’air extérieur – logements collectifs

Recouvrement de surface	Unités	Valeurs	Sources de données
Nature du recouvrement	-	Terre végétale	recouvrement pour la partie logement collectif
Porosité	-	0,30	epaisseur de recouvrement recommandé
Teneur en eau	-	0,15	
Epaisseur	m	0,30	

Lithologie	Unités	Horizon1	Sources de données
Nature lithologique	m	Limons sableux	terres d'apports
Epaisseur	m	0,3	épaisseur recommandé
Porosité	-	25%	
Teneur en eau	-	15%	
foc	-	0,7%	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant
Masse volumique du sol	kg/l	1,80	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant

Tableau 20 : Paramètres retenus liés au sol pour l’air intérieur

Profondeur de la pollution	Unités	Valeurs	Sources de données
Profondeur du toit de la source en ZNS sous le bâtiment (sous la dalle la plus basse ou sous le VS)	m	0,1	estimé directement sous la dalle du bâtiment*
Paramètres de sol génériques	Unités	Valeurs	Sources de données / Commentaires
Température de référence des sols (proche bâtiment)	°C	15	Utilisée pour calculer les perméabilités à cette température de référence.
Viscosité dynamique	(g/cm/s)	1,8,E-04	Viscosité à la température de référence utilisée pour calculer les perméabilités
Viscosité dynamique	(Pa.h)	4,9,E-09	Viscosité à la température de référence utilisée pour calculer les perméabilités
Caractéristiques du parking ou sous-sol	Unités	Valeurs	Sources de données
Surface	m²	100	hypothèse
Hauteur totale des niveaux de sous-sol / parking	m	2,2	hypothèse
Débit de ventilation (en moyenne journalière)	m3/h	660	Dans les sous-sols, dans la mesure où ceux-ci serviront de parkings, nous considérerons un taux de ventilation de 3 changements d'air par heure (72 j-1). Cette valeur est pénalisante par rapport à celle de 10 changement d'air par heure recommandée par l'IRC (Institut de Recherche en Construction, Canada) pour obtenir de basses teneurs en CO dans les garages ;
Renouvellement d'air calculé	/h	3,00	cf ci-dessus
Taux de transfert considéré entre le sous-sol/ parking et les niveaux de vie au dessus (habitat collectif)	(-)	10%	

J&E (1991)

Paramètres nécessaires pour l'utilisation du modèle de J&E (1991)	Unités	Valeurs	Sources de données
Périmètre	m	16	hypothèse d'une pièce de 4 m sur 4 m
Différence de pression entre l'air intérieur et extérieur (dP)	Pa	4,00	Valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger
Epaisseur de la dalle (Lcrack = Zcrack en l'absence de sous-sol)	m	0,10	hypothèse
Hauteur enterrée des niveaux de sous-sol/ parking (Zcrack)	m	2,2	hypothèse
Taux de fissuration de la dalle du bâtiment (A crack en périphérie)	(-)	2,E-04	valeur par défaut

Waitz et al. (1996 -VOLASOIL)

Paramètres nécessaires pour l'utilisation du modèle Volasoil (Waitz et al. 1996)	Unités	Valeurs	Sources de données
Perméabilité à l'air de la dalle séparant le vide sanitaire du lieu de vie	m²	2,0E-13	Valeur par défaut de Bakker et al., 2008 pour une dalle de bonne qualité
Porosité de la dalle béton	-	0,12	
Teneur en gaz du béton	-	0,05	
Teneur en eau du béton	-	0,07	

Bakker (RIVM, 2008)

Paramètres nécessaires pour l'utilisation du modèle Bakker (2008)	Unités	Valeurs	Sources de données
Différence de pression entre l'air intérieur et extérieur (dP)	Pa	2,00	Valeur par défaut deBakker et al, 2008
Epaisseur de la dalle du sous-sol (si considéré) ou du rez de chaussée (en l'absence de sous-sol)	m	0,10	hypothèse
Perméabilité à l'air de la dalle du sous-sol (si considéré) ou du rez de chaussée (en l'absence de sous-sol)	m²	2,0E-13	Valeur par défaut de Bakker et al., 2008 pour une dalle de bonne qualité
Porosité de la dalle béton (si considéré) ou du rez de chaussée (en l'absence de sous-sol)	-	0,12	
Teneur en gaz du béton du sous-sol (si considéré) ou du rez de chaussée (en l'absence de sous-sol)	-	0,05	
Teneur en eau du béton du sous-sol (si considéré) ou du rez de chaussée (en l'absence de sous-sol)	-	0,07	

Lithologie sous le bâtiment	Unités	Horizon1	Sources de données
Nature lithologique	m	Limons sableux	d'après lithologie rencontrée sur le site
Epaisseur	m	0,1	estimé sous dalle bâtiment
Porosité	-	25%	Utilisé au niveau de la source et pour les transferts
Teneur en eau	-	15%	Utilisé au niveau de la source et pour les transferts
foc	-	0,7%	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant
Masse volumique du sol	kg/l	1,80	Utilisé uniquement au niveau de la source pour le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant

\* pour les logements collectifs sans sous-sol, la source a été prise en compte à 1 m de profondeur conformément aux investigations.

Tableau 21 : Paramètres retenus pour les végétaux

Caractéristiques de l'horizon de culture pollué	Unités	Valeurs
Nature du sol	(-)	Limons sableux
fraction de carbone organique (foc)	(-)	0,7%
Teneur en eau dans les végétaux	Unités	Valeurs
Teneur en eau des fruits	(-)	0,117
Teneur en eau des légumes feuille	(-)	0,117
Teneur en eau des légumes racine	(-)	0,202
Paramètre de transfert - dépôt particulaire	Unités	Valeurs
Fraction de polluant interceptée par les cultures	(-)	0,4
Rendement cultural	kg MS/ m²	0,3
Constante d'efflorescence	j <sup>-1</sup>	0,033
Taux de déposition des poussières sur le champ	kg/m²/j	0,00006
Période de croissance du végétal (6 mois)	j	180



► Concentrations dans l'air intérieur et extérieur

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

Tableau 22 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation avec potager

							Concentrations calculées dans l'air intérieur				Concentrations calculées dans l'air extérieur		
	AIR EXTERIEUR			AIR INTERIEUR							Sans recouvrement		
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	J&E	Volasoil	Bakker	Sans recouvrement extérieur	Adultes	Enfants	Adulte et enfants
Substances	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Bruit de fond logement (P90 - source OQAI)	Valeur réglementaire Décret n° 2011-1727	VGAI ANSES , VRAI HCSP, INDEX, VG OMS	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Concentration de polluant sous forme particulaire calculée dans l'air intérieur, lieux de vie (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)	Concentration de polluant sous forme particulaire calculée dans l'air extérieur (µg/m³)
METAUX ET METALLOIDES													
Mercure (Hg)	-	-	1,00E+00	-	-	-	1,17E-03	5,27E-05	2,16E-03	5,88E-06	5,15E-06	7,73E-06	4,90E-06
Zinc (Zn)	7,18E-02	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,56E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,30E-03
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES													
toluène	9,00	-	-	46,90	-	20000,00	15,08	0,57	29,34	7,14E-06	0,13	0,20	0,00
M+p-Xylène	5,60	-	-	22,00	-	200,00	13,63	0,51	24,88	1,09E-05	0,10	0,15	0,00
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH													
Aliphatic nC>5-nC6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aliphatic nC>6-nC8	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00	0,00	0,00E+00
Aliphatic nC>8-nC10	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00	0,00	0,00E+00
Aliphatic nC>10-nC12	9,80	-	-	62,70	-	-	12,62	0,49	25,90	1,43E-04	0,12	0,18	1,19E-04
Aliphatic nC>12-nC16	-	-	-	-	-	-	3,35	0,13	6,88	4,89E-04	0,03	0,05	4,07E-04
Aliphatic nC>16-nC35	-	-	-	-	-	-	2,96	0,11	6,08	0,02	0,03	0,04	0,02
Aromatic nC>8-nC10	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00	0,00	0,00E+00
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	-	-	-	5,71	0,22	11,74	6,11E-05	0,06	0,08	5,09E-05
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	-	-	-	1,16	0,05	2,39	1,63E-04	0,01	0,02	1,36E-04
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	-	-	-	0,02	9,13E-04	0,05	1,51E-04	2,30E-04	3,45E-04	1,26E-04
Aromatic nC>21-nC35	-	-	-	-	-	-	8,21E-05	3,70E-06	2,05E-04	1,18E-03	1,14E-06	1,72E-06	9,84E-04
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS													
tétrachloroéthylène (PCE)	2,40	-	250,00	5,20	-	250,00	13,52	0,50	24,84	4,20E-06	0,10	0,15	3,50E-06
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES													
Cétones													
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	-	-	-	-	-	-	2,75	0,12	6,59	5,04E-06	3,48E-02	5,21E-02	4,20E-06
Ethers de glycol et alcools													
méthanol	-	-	-	-	-	-	46,82	3,14	172,95	8,44E-04	1,20	1,80	7,04E-04
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS													
PCB (associés a l'aroclor 1254)	-	-	-	-	-	-	4,63E-07	2,86E-08	1,11E-06	6,30E-07	1,56E-09	2,35E-09	5,25E-07

Commentaires

Les concentrations calculées pour l'air intérieur et extérieur mettent en avant de légers dépassements pour les xylènes (Bakker) et le PCE (Bakker et J&E) des bruits de fond. Les teneurs modélisées pour ces 2 substances restent respectivement 8 à 20 fois inférieures aux valeurs réglementaires. Notons que le calcul est réalisé à partir des concentrations sols qui sont majorantes.

Tableau 23 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation collectif sans sous-sol

							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)	(µg/m³)	J&E	Volasoil	Bakker	Adultes	Enfants
Substances		Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Bruit de fond logement (P90 - source OQAI)	Valeur réglementaire Décret n° 2011-1727	VGAI ANSES , VRAI HCSP, INDEX, VG OMS	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)
METAUX ET METALLOIDES												
Mercure (Hg)		-	-	1,00E+00	-	-	-	1,28E-04	3,04E-06	4,74E-04	1,40E-06	2,10E-06
Zinc (Zn)		7,18E-02	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES												
toluène		9,00	-	-	46,90	-	20000,00	4,76	0,06	9,55	0,06	0,09
M+p-Xylène		5,60	-	-	22,00	-	200,00	2,58	0,03	5,63	0,03	0,05
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH												
Aliphatic nC>5-nC6		-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aliphatic nC>6-nC8		-	-	-	-	-	-	48,96	0,56	94,73	0,66	0,98
Aliphatic nC>8-nC10		-	-	-	-	-	-	61,92	0,71	119,79	0,83	1,24
Aliphatic nC>10-nC12		9,80	-	-	62,70	-	-	7,33	0,08	14,17	0,10	0,15
Aliphatic nC>12-nC16		-	-	-	-	-	-	1,95	0,02	3,77	0,03	0,04
Aliphatic nC>16-nC35		-	-	-	-	-	-	1,72	0,02	3,33	0,02	0,03
Aromatic nC>8-nC10		-	-	-	-	-	-	45,66	0,52	88,31	0,61	0,92
Aromatic nC>10-nC12		-	-	-	-	-	-	3,32	0,04	6,42	0,04	0,07
Aromatic nC>12-nC16		-	-	-	-	-	-	0,68	0,01	1,31	0,01	0,01
Aromatic nC>16-nC21		-	-	-	-	-	-	0,01	1,56E-04	0,03	1,84E-04	2,76E-04
Aromatic nC>21-nC35		-	-	-	-	-	-	6,00E-05	6,33E-07	1,10E-04	7,74E-07	1,16E-06
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS												
tétrachloroéthylène (PCE)		2,40	-	250,00	5,20	-	250,00	2,23	0,03	4,80	0,03	0,04
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES												
Cétones												
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)		-	-	-	-	-	-	1,11	0,01	2,04	0,02	0,02
Ethers de glycol et alcools												
méthanol		-	-	-	-	-	-	27,06	0,31	54,75	0,25	0,38
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS												
PCB (associés a l'aroclor 1254)		-	-	-	-	-	-	4,08E-08	1,65E-09	2,55E-07	4,10E-10	6,15E-10

Commentaires

Les concentrations calculées pour l'air intérieur et extérieur ne mettent pas en avant de dépassement des valeurs de référence retenues dans l'air ambiant.

Tableau 24 : Concentrations en air intérieur et extérieur - Habitation collectif avec sous-sol

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)	(µg/m³)	J&E		Bakker		Adultes	Enfants
	Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS,2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010-1250 (valeur limite/valeur cible)	Valeurs guide OMS	Bruit de fond logement (P90 - source OQAI)	Valeur réglementaire Décret n° 2011-1727	VGAI ANSES , VRAI HCSP, INDEX, VG OMS	Air intérieur du niveau de parking ou sous-sol (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air intérieur du niveau de parking ou sous-sol (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)
METAUX ET METALLOIDES												
Mercure (Hg)	-	-	1,00E+00	-	-	-	1,74E-05	1,74E-06	1,42E-04	1,42E-05	7,22E-07	1,08E-06
Zinc (Zn)	7,18E-02	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES												
toluène	9,00	-	-	46,90	-	20000,00	0,29	0,03	3,34	0,33	0,03	0,05
M+p-Xylène	5,60	-	-	22,00	-	200,00	0,19	0,02	1,90	0,19	0,02	0,02
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH												
Aliphatic nC>5-nC6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aliphatic nC>6-nC8	-	-	-	-	-	-	2,74	0,27	33,73	3,37	0,34	0,51
Aliphatic nC>8-nC10	-	-	-	-	-	-	3,46	0,35	42,66	4,27	0,43	0,64
Aliphatic nC>10-nC12	9,80	-	-	62,70	-	-	0,41	0,04	5,05	0,50	0,05	0,08
Aliphatic nC>12-nC16	-	-	-	-	-	-	0,11	0,01	1,34	0,13	0,01	0,02
Aliphatic nC>16-nC35	-	-	-	-	-	-	0,10	0,01	1,19	0,12	0,01	0,02
Aromatic nC>8-nC10	-	-	-	-	-	-	2,55	0,25	31,45	3,14	0,31	0,47
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	-	-	-	0,19	0,02	2,29	0,23	0,02	0,03
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	-	-	-	0,04	3,76E-03	0,47	0,05	0,00	0,01
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	-	-	-	7,55E-04	7,55E-05	0,01	9,46E-04	9,52E-05	1,43E-04
Aromatic nC>21-nC35	-	-	-	-	-	-	2,48E-06	2,48E-07	3,99E-05	3,99E-06	4,33E-07	6,49E-07
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS												
tétrachloroéthylène (PCE)	2,40	-	250,00	5,20	-	250,00	0,16	0,02	1,63	0,16	0,01	0,02
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES												
Cétones												
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	-	-	-	-	-	-	0,05	4,93E-03	0,75	0,07	0,01	0,01
Ethers de glycol et alcools												
méthanol	-	-	-	-	-	-	0,77	0,08	19,67	1,97	0,18	0,27
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS												
PCB (associés a l'aroclor 1254)	-	-	-	-	-	-	8,79E-09	8,79E-10	7,29E-08	7,29E-09	2,15E-10	3,22E-10

Commentaires

Les concentrations calculées pour l'air intérieur et extérieur ne mettent pas en avant de dépassement des valeurs de référence retenues dans l'air ambiant.

Tableau 25 : Concentrations en air extérieur pour les espaces verts collectifs

				Concentrations calculées dans l'air extérieur		
	AIR EXTERIEUR			Sans recouvrement		
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	Adultes	Enfants	Adulte et enfants
Substances	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)	Air extérieur (µg/m³)	Concentration de polluant sous forme particulaire calculée dans l'air extérieur (µg/m³)
<b>METAUX ET METALLOIDES</b>						
Mercure (Hg)	-	-	1,00E+00	2,97E-06	4,46E-06	4,90E-06
Zinc (Zn)	7,18E-02	-	-	0,00E+00	0,00E+00	6,30E-03
<b>COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES</b>						
toluène	9,00	-	-	0,13	0,20	5,95E-06
M+p-Xylène	5,60	-	-	0,07	0,10	9,10E-06
<b>HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH</b>						
Aliphatic nC>5-nC6	-	-	-	0,00	0,00	0,00
Aliphatic nC>6-nC8	-	-	-	1,39	2,08	2,23E-05
Aliphatic nC>8-nC10	-	-	-	1,75	2,63	2,87E-04
Aliphatic nC>10-nC12	9,80	-	-	0,21	0,31	3,53E-04
Aliphatic nC>12-nC16	-	-	-	0,06	0,08	1,21E-03
Aliphatic nC>16-nC35	-	-	-	0,05	0,07	0,05
Aromatic nC>8-nC10	-	-	-	1,29	1,94	2,15E-04
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	0,09	0,14	1,51E-04
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	0,02	0,03	4,03E-04
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	3,94E-04	5,91E-04	3,73E-04
Aromatic nC>21-nC35	-	-	-	1,96E-06	2,94E-06	2,92E-03
<b>COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS</b>						
tétrachloroéthylène (PCE)	2,40	-	250,00	0,58	0,88	0,00
<b>SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES</b>						
<b>Cétones</b>						
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	-	-	-	0,03	0,05	4,20E-06
<b>Ethers de glycol et alcools</b>						
méthanol	-	-	-	1,20	1,80	7,04E-04
<b>POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS</b>						
PCB (associés a l'aroclor 1254)	-	-	-	9,02E-10	1,35E-09	5,25E-07

Commentaires

Les concentrations calculées pour l'air extérieur ne mettent pas en avant de dépassement des valeurs de référence retenues dans l'air ambiant.



### 9.5.1.1 Estimation des concentrations dans les végétaux

L'ensemble des équations utilisées pour l'évaluation des concentrations dans les végétaux est présenté en **Annexe 5**.

Le tableau ci-dessous présente les concentrations calculées dans les végétaux.

**Tableau 26 : Concentrations calculées dans les végétaux - Habitation avec potager**

	Concentrations calculées dans les végétaux depuis les sols	Concentrations calculées dans les végétaux
Substances	Ajout lié aux dépôts (mg/kg Poids frais)	Concentration calculée dans les feuilles (mg/kg Poids frais)
<b>METAUX ET METALLOIDES</b>		
Mercuré (Hg)	1,65E-05	1,65E-05
Zinc (Zn)	2,12E-02	2,12E-02
<b>COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES</b>		
toluène	2,01E-05	2,01E-05
M+p-Xylène	3,07E-05	3,07E-05
<b>HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH</b>		
Aliphatic nC>5-nC6	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC>6-nC8	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC>8-nC10	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC>10-nC12	4,00E-04	4,00E-04
Aliphatic nC>12-nC16	1,37E-03	1,37E-03
Aliphatic nC>16-nC35	5,29E-02	5,29E-02
Aromatic nC>8-nC10	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC>10-nC12	1,72E-04	1,72E-04
Aromatic nC>12-nC16	4,58E-04	4,58E-04
Aromatic nC>16-nC21	4,23E-04	4,23E-04
Aromatic nC>21-nC35	3,32E-03	3,32E-03
<b>COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS</b>		
tétrachloroéthylène (PCE)	1,18E-05	1,18E-05
<b>SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES</b>		
<b>Cétones</b>		
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	1,42E-05	1,42E-05
<b>Ethers de glycol et alcools</b>		
méthanol	2,37E-03	2,37E-03
<b>POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS</b>		
PCB (associés à l'aroclor 1254)	1,77E-06	1,77E-06

#### Commentaires

Les concentrations calculées dans les dépôts et végétaux ne mettent pas en évidence de teneur significative (absence de valeur de référence).

## 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<sup>3</sup>).  
 $C_j$  : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m<sup>3</sup>).  
 $T$  : 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).

Le détail des calculs est donné en **Annexe 1**.

### 9.5.2.2 Exposition par ingestion

Les quantités de polluant administrées, exprimées en dose journalière d'exposition, sont définies par l'équation générique suivante (guide EDR Ministère en charge de l'environnement/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i * Q_j * T * F}{P * T_m}$$

avec :  
 $DJE_{ij}$  : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie orale (en mg/kg/j)  
 $C_i$  : concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg ou mg/l)  
 $Q_j$  : taux d'ingestion par la voie orale (en kg/j ou l/j)  
 $T$  : durée d'exposition (années)  
 $F$  : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an)  
 $P$  : poids corporel de la cible (kg)  
 $T_m$  : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les doses moyennes journalières induites par l'ingestion sont calculées à partir :

- des concentrations dans les sols de surface présentées dans le **Tableau 14** et **Tableau 15** ;
- des concentrations dans les végétaux présentées dans le **Tableau 22**.

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à **60 kg pour les adultes à partir de 17 ans** (INSERM et OMS). Cette valeur est cohérente avec la moyenne présentée dans le document de synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition (2012<sup>2</sup>) sur la base de l'enquête décennale santé 2002-2003 menée par l'INSEE, de 61 kg.

Pour les enfants d'âge inférieur ou égal à 6 ans, nous retiendrons la moyenne des valeurs issues de ce même document pour cette tranche d'âge, soit **15 kg**.

Le détail des autres paramètres est donné en **Annexe 6**. Le détail des calculs est donné en **Annexe 1**.

### 9.5.2.3 Budget espace-temps (BET)

Le budget espace-temps des cibles considérées est présenté ci-après.

<sup>2</sup> 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.

**Tableau 27 : Budgets espace/temps retenus**

Scénario	Cibles		Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée
	Adultes résident	Enfants résident	
<b>1</b> Logement individuel avec potager (Adultes et enfants)	T = 40 ans 330 jours par an 23,4 h/jour en intérieur 0,6h/jour en extérieur*	T = 6 ans 330 jours par an 23,4 h/jour en intérieur 0,6 h/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 cancérigènes quelle que soit la cible considérée
<b>2</b> Logement collectif sans sous-sol			
<b>3</b> Logement collectif avec sous-sol	T = 40 ans 330 jours par an 23,2 h/jour en intérieur 0,2 h/jour en sous-sol 0,6h/jour en extérieur*	T = 6 ans 330 jours par an 23,4 h/jour en intérieur 0,2 h/jour en sous-sol 0,6h/jour en extérieur*	
<b>4</b> Adulte et enfant de passage dans l'espace vert + travailleur	<b>Adulte travailleur</b>	<b>Adultes de passage</b>	- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérigènes quelle que soit la cible considérée
	T = 42 ans 44 jours par an (1 jour par semaine de travail) 8h/jour en extérieur*	T = 40 ans 330 jours par an 1 h/jour en extérieur*	
		T = 6 ans 330 jours par an 1 h/jour en extérieur*	

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'exposition<sup>3</sup> 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 de l'habitat, il est considéré une durée de 40 années. Elle correspond au centile 98 des valeurs présentées par l'US-EPA (EFH, 1997).

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail (parcelles cessibles), 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 44 jours/an et 2 h/jour correspondent à un entretien régulier d'un jour par semaine de l'espace vert.

Pour les fréquences d'exposition, nous retiendrons le percentile 95 des données présentées dans la synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition. Sur la base des données collectées dans le cadre de la Campagne nationale de logements (CNL) menée entre 2003 et 2005 sur 567 résidences principales, ce document indique que le percentile 95 du temps passé à l'intérieur du logement toutes tranches d'âge confondues est de 23,6 h/jour. Pour le temps passé dans le garage attenant, le percentile 95 est de 0,2 h/jour.

<sup>3</sup> 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 :

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

$$\text{ERI (ingestion)} = \text{DJE} \times \text{ERU}_o$$

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 :

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

$$QD_{i,ING} = \frac{DJE_{i,S}}{RfDi}$$

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 7.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par les circulaires ministérielles de février reprise dans les textes d'avril 2017. L'évaluation du risque concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

**Tableau 28 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation - Habitat avec potager**

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie J&E	1,77E-06	2,66E-07	tétrachloroéthylène (PCE)	0,20	0,20	M+p-Xylène
INHALATION air extérieur sans recouvrement	3,41E-10	7,66E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,00004	0,00006	M+p-Xylène
INHALATION de poussières (intérieur + extérieur)	1,39E-10	2,08E-11	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,00002	0,00002	Mercuré (Hg)
INGESTION de sol et poussières (intérieur + extérieur)	1,31E-08	1,43E-08	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,002	0,01	PCB (associés à l'aroclor 1254)
INGESTION de végétaux contaminés depuis les sols	8,19E-10	1,99E-10	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,0001	0,0002	PCB (associés à l'aroclor 1254)
<b>TOTAL</b>	<b>1,8E-06</b>	<b>2,8E-07</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,20</b>	<b>0,22</b>	M+p-Xylène

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Bakker	3,25E-06	4,88E-07	tétrachloroéthylène (PCE)	0,38	0,38	M+p-Xylène
INHALATION air extérieur sans recouvrement	3,41E-10	7,66E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,00004	0,00006	M+p-Xylène
INHALATION de poussières (intérieur + extérieur)	1,39E-10	2,08E-11	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,00002	0,00002	Mercuré (Hg)
INGESTION de sol et poussières (intérieur + extérieur)	1,31E-08	1,43E-08	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,002	0,01	PCB (associés à l'aroclor 1254)
INGESTION de végétaux contaminés depuis les sols	8,19E-10	1,99E-10	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,0001	0,0002	PCB (associés à l'aroclor 1254)
<b>TOTAL</b>	<b>3,3E-06</b>	<b>5,0E-07</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,39</b>	<b>0,40</b>	M+p-Xylène

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Volasol	6,61E-08	9,92E-09	tétrachloroéthylène (PCE)	0,008	0,008	M+p-Xylène
INHALATION air extérieur sans recouvrement	3,41E-10	7,66E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,00004	0,00006	M+p-Xylène
INHALATION de poussières (intérieur + extérieur)	1,39E-10	2,08E-11	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,00002	0,00002	Mercuré (Hg)
INGESTION de sol et poussières (intérieur + extérieur)	1,31E-08	1,43E-08	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,002	0,01	PCB (associés à l'aroclor 1254)
INGESTION de végétaux contaminés depuis les sols	8,19E-10	1,99E-10	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,0001	0,0002	PCB (associés à l'aroclor 1254)
<b>TOTAL</b>	<b>8,1E-08</b>	<b>2,4E-08</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,010</b>	<b>0,02</b>	M+p-Xylène

**Tableau 29 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Logement collectif sans sous-sol**

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie J&E	2,89E-07	4,34E-08	tétrachloroéthylène (PCE)	0,32	0,32	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air extérieur avec recouvrement	9,28E-11	2,09E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,0001	0,0002	Aromatic nC>8-nC10
<b>TOTAL</b>	<b>2,9E-07</b>	<b>4,3E-08</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	Aromatic nC>8-nC10

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Bakker	6,23E-07	9,35E-08	tétrachloroéthylène (PCE)	0,63	0,63	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air extérieur avec recouvrement	9,28E-11	2,09E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,0001	0,0002	Aromatic nC>8-nC10
<b>TOTAL</b>	<b>6,2E-07</b>	<b>9,4E-08</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,63</b>	<b>0,63</b>	Aromatic nC>8-nC10

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Volasoil	3,78E-09	5,67E-10	tétrachloroéthylène (PCE)	0,004	0,004	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air extérieur avec recouvrement	9,28E-11	2,09E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,0001	0,0002	Aromatic nC>8-nC10
<b>TOTAL</b>	<b>3,9E-09</b>	<b>5,9E-10</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	Aromatic nC>8-nC10

**Tableau 30 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Logement collectif avec sous-sol**

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur parking et sous sol J&E	1,77E-10	2,65E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,0002	0,0002	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie J&E	2,05E-09	3,07E-10	tétrachloroéthylène (PCE)	0,002	0,002	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air extérieur avec recouvrement	4,77E-11	1,07E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,00006	0,00009	Aromatic nC>8-nC10
<b>TOTAL</b>	<b>2,3E-09</b>	<b>3,4E-10</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	Aromatic nC>8-nC10

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur parking et sous sol Bakker	1,82E-09	2,74E-10	tétrachloroéthylène (PCE)	0,002	0,002	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Bakker	2,12E-08	3,17E-09	tétrachloroéthylène (PCE)	0,02	0,02	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION air extérieur avec recouvrement	4,77E-11	1,07E-11	tétrachloroéthylène (PCE)	0,00006	0,00009	Aromatic nC>8-nC10
<b>TOTAL</b>	<b>2,3E-08</b>	<b>3,5E-09</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	Aromatic nC>8-nC10

**Tableau 31 : Synthèse des QD et ERI selon type de modélisation – Espace vert collectif**

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)				Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)			
	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur sans recouvrement	3,67E-09	3,27E-09	7,36E-10	tétrachloroéthylène (PCE)	0,0005	0,0004	0,0007	Aromatic nC>8-nC10
INHALATION de poussières (intérieur + extérieur)	5,58E-12	1,44E-10	2,15E-11	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,00000	0,00003	0,00003	Mercurie (Hg)
INGESTION de sol et poussières (intérieur + extérieur)	2,07E-09	1,39E-08	1,51E-08	PCB (associés à l'aroclor 1254)	0,0004	0,003	0,02	PCB (associés à l'aroclor 1254)
<b>TOTAL</b>	<b>5,7E-09</b>	<b>1,7E-08</b>	<b>1,6E-08</b>	tétrachloroéthylène (PCE)	<b>0,0009</b>	<b>0,003</b>	<b>0,02</b>	Aromatic nC>8-nC10
Risques non significatifs								
Risques significatifs								

Dans le cadre de la présente mission, avec les conditions d'études retenues (notamment la mise en œuvre des mesures de gestion établies dans le Plan de Gestion (prise en compte des objectifs de réhabilitation)), et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

L'état environnemental du site après travaux de réhabilitation et mise en œuvre des mesures de gestion préconisées (cf. Chapitre sur le Plan de Gestion) est compatible avec l'usage futur (quartier résidentiel avec logements individuels et collectifs).

## 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 32 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																
Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond																			
Bruit de fond	Inhalation et Ingestion de sols et/ou poussières	Faible	<p>Dans la mesure où le bruit de fond et ses incidences sanitaires n'ont pas à ce jour fait l'objet d'une procédure de gestion nationale, la présente étude a été menée en ne considérant que la compatibilité vis-à-vis des composés présents en concentrations supérieures au bruit de fond sur le site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude. Cependant, il faut rappeler que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>certaines métaux n'ont pas été retenus car les concentrations dans les sols sont jugées appartenir au bruit de fond. Leur présence sur site et hors site pourrait dans certains cas induire des niveaux de risques qui seraient jugés inacceptables (c'est le cas en particulier de l'arsenic) ;</li> <li>pour les métaux et métalloïdes présents dans les sols à des concentrations supérieures à la gamme du bruit de fond et pris en compte dans la présente étude, une part du risque évalué est lié à un bruit de fond régional ou national ;</li> <li>la présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, etc.) ou de poussières dans l'air atmosphérique de certaines agglomérations (suivis parfois par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air), non liée au site, n'est pas prise en compte ;</li> <li>la présence potentielle dans l'air intérieur de composés organiques volatils (solvants, formaldéhydes, etc.) issus des aménagements et activités dans les locaux, non liée au site, n'est pas prise en compte.</li> </ul>																
Choix et caractéristiques des composés																			
Nature des composés et concentrations retenues	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	<b>Réaliste</b> : prise en compte de l'objectif de dépollution en hydrocarbures totaux et PCE et des traces résiduelles (méthanol, BTEX, acétone, PCB)																
Cas des hydrocarbures	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	<b>Sécuritaire</b> : les teneurs mesurées dans les sols correspondent à l'objectif de dépollution par la méthode TPH selon la répartition de l'échantillon S30 (1,5 – 2,5).																
Valeurs Toxicologiques de référence	Inhalation	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. Le choix des VTR est discuté en <b>Annexe 3</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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, id. 3 000 µg/m3 avec un niveau de confiance moyen/fort.</li> </ul> <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>																
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&gt;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																			
Cas d'un mélange de composés en un même point	Toutes	Fort	<p>Si toutes les concentrations en différents composés sont retrouvées dans un même sondage, on considère être en présence d'un mélange de constituant dont les propriétés vont être dépendantes de l'équilibre triphasique qui se mettra en place dans le milieu sol (phase pure du produit, produit dissous dans l'eau des sols, produit volatilisé dans l'air des sols).</p> <p><b>Réaliste</b> : la prise en compte des substances individuellement conduit à considérer les concentrations à l'équilibre pour chaque substance, ce qui a tendance à augmenter les concentrations et les niveaux de risques</p>																
Source « sol »	Inhalation intérieur et extérieur	Fort	<b>Sécuritaire</b> : objectifs de réhabilitation (cf. Plan de Gestion) retenus ce qui majore le risque en l'absence de sous-sol.																
Source sol de surface	Inhalation et Ingestion de sols et/ou poussières	Fort	<b>Sécuritaire</b> : teneurs maximales retenues en différenciant la partie habitation de la partie collectif																
Profondeur de la source	Toutes	Fort	<p><b>Réaliste</b> : 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 et des paramètres de sols favorables au transfert de vapeur, afin de ne pas majorer de manière irréaliste le risque sanitaire, nous retiendrons la profondeur de 10 cm par défaut.</p> <p>Pour les logements collectifs sans sous-sol il a été considéré une pollution à partir d'1m de profondeur comme constaté sur le terrain.</p>																



Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue				
			Caractéristiques des sols				
Lithologie	Toutes	Fort	Réaliste : des limons sableux ont été pris en compte au vu de la lithologie rencontrée au droit du site.				
Perméabilité, porosité, teneur en gaz des sols	Toutes	Fort	Réaliste : En l'absence de mesures sur site, la perméabilité intrinsèque retenue pour le calcul, estimée à partir de la bibliographie est de 1.10-8 cm² pour les limons sableux. Cette perméabilité intrinsèque correspond à des sols de nature sableuse ou limono-sableuse. Des variations de cette perméabilité peuvent exister dans l'espace. Compte tenu de la nature des sols impactés, cette approche apparait réaliste				
Fraction de carbone organique	Toutes	Moyen	Sécuritaire : La fraction de carbone organique dans les sols au niveau de la source de pollution prise en compte est de 0,2%, elle correspond aux terrains sableux sur les coupes de sondages. Cette valeur est issue de la base de données du logiciel RISC 4.0.				
			Paramètres d'aménagement				
Couverture de sol extérieur	Inhalation extérieur	Fort	Réaliste : Absence de recouvrement pour la partie logement individuel et espace vert collectif et recouvrement de 30 cm pour les logements collectifs				
Mode constructif	Inhalation dans l'air intérieur	Fort	Sécuritaire : Les calculs de transfert des pollutions du sol 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. Les modèle de Bakker et al. (2008) ou Waitz et al. (1996) (qui permettent de prendre en compte la perméabilité de la dalle ont également été pris en compte) en l'absence d'information sur le type de fondation.				
Taille et caractéristique du bâtiment et du dallage	Inhalation dans l'air intérieur	Faible	Sécuritaire : En intérieur, pour la remontée de vapeurs dans les bâtiments, il a été considéré un local de 16 m² (4x4 m). Le fait de prendre en compte des pièces de taille réduites dans le cadre des calculs de risques sanitaire constitue une approche sécuritaire.				
Taux de ventilation du bâtiment	Inhalation dans le bâtiment	Fort		Lieu	Renouvellement (h-1)	d'air	Source de la valeur retenue
				Logements (en l'absence de connaissance des systèmes installés)	0,3 h-1		Associé au débit minimal de la réglementation pour la ventilation VMC simple flux Hygro A ou B Référence : Arrêté modifié du 28 octobre 1983
				Vide sanitaire (de prime abord, valeur incertaine nécessitant une étude spécifique par la maîtrise d'œuvre)	3 m³/h/m²		Débit conventionnel correspondant à une surface des grilles de 3 cm²/m² Référence : Avis de bureaux de contrôle pour des vides sanitaires sans canalisation de gaz.
				Sous sol	3 h-1		Dans les sous-sols, dans la mesure où ceux-ci serviront de parkings, nous considérerons un taux de ventilation de 3 changements d'air par heure (72 j-1). Cette valeur est pénalisante par rapport à celle de 10 changement d'air par heure recommandée par l'IRC (Institut de Recherche en Construction, Canada) pour obtenir de basses teneurs en CO dans les garages ;
				Ces taux influencent de manière inversement linéaire les concentrations dans les bâtiments et donc les risques induits. Si de tels débits n'étaient pas atteints, le maître d'ouvrage devra mettre à jour l'ARR et éventuellement mettre en place des mesures de gestion			
Vieillessement du bâtiment, des systèmes et équipements	Inhalation dans les bâtiments	Fort	Le vieillissement du bâtiment ne peut être anticipé dans la présente ARR. 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. 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.				
Durée d'exposition des cibles	Inhalation intérieur et extérieur	Faible	Réaliste : dans le cas d'une durée d'exposition plus grande, les niveaux de risque pour les effets à seuil restent inchangés. Pour les effets sans seuil, les niveaux de risque restent acceptables.				

## 9.1 Conclusion de l'analyse de risques résiduels

Avec les conditions d'études retenues (notamment, la gestion des pollutions concentrées définies dans le Plan de Gestion), 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 dans le cadre du Plan de Gestion, est compatible avec l'usage prévu (quartier résidentiel avec logements collectifs et logements individuels)

**Soulignons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la réhabilitation du site étudié (cf. Plan de Gestion), et devant prévoir notamment :**

- la purge des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
- la substitution par des terres saines sur 1 m au droit des logements individuels présentant un impact en arsenic ;
- le maintien du recouvrement pérenne et systématique au droit des logements collectifs (partie sud), afin de supprimer tout contact direct avec les futurs usagers ;
- l'enfouissement des canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) en-dehors de sols présentant une pollution résiduelle et l'emploi de canalisations renforcées et posées dans des tranchées comblées de sablon sain au droit de la partie sud.

Toutes modifications de l'usage futur (configuration) et/ou pollution résiduelle non intégrée dans l'ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état environnemental du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).

Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols en fond de fouilles, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (nouvelle ARR en fin de travaux).

## 10. Synthèse et recommandations

Dans le cadre d'un projet d'aménagement de logements collectifs et individuels au droit d'un site localisé 18 route des sables à La-Roche-sur-Yon (85), la société REALITES a missionné GINGER BURGEAP pour la réalisation d'un plan de gestion (réalisé directement à la suite d'une étude historique et d'un diagnostic complémentaire du milieu souterrain)

Le site présente une superficie de 26 500 m<sup>2</sup> environ. Le site est actuellement occupé par un garage poids-lourds (enseigne SDVI), un hangar et des zones recouvertes d'enrobé et de terres battues utilisées pour le stationnement de poids-lourds et l'entreposage de matériel

### ► Projet

Le projet envisagé comprend la réalisation de 8 bâtiments de logements collectifs dont un avec un niveau de sous-sol, de 23 maisons individuelles et la création de voiries et d'espaces verts.

### ► Qualité des milieux

Les investigations réalisées par Ginger BURGEAP au droit du site en 2018, 2020 et 2022 ont mis en évidence :

- **deux zones d'impacts en hydrocarbures sont relevées :**
  - au nord du garage/atelier :
    - la zone d'impact est délimitée verticalement entre 1 et 4 m de profondeur (présence du socle granitique au-delà) avec des teneurs pouvant monter jusqu'à 5500, voir même ponctuellement à 40 000 mg/kg.MS ;
    - elle est délimitée horizontalement au nord, au sud et à l'est par les sondages S28, S29, S31, S16T16, S32, S33 et S27.
      - Pour la partie ouest, le sondage S52 présente un impact limité aux remblais superficiels avec néanmoins 10,82 mg/kg.MS en BTEX et 2800 mg/kg.MS en HCT. Cette pollution semble ponctuelle et distincte de celle constatée à l'intérieur du bâtiment.
    - ces impacts sont principalement composés des fractions lourdes type C<sub>24</sub>C<sub>32</sub> pouvant s'apparenter à des huiles lourdes (éventuellement les huiles de boîtes de vitesses ou huile moteur suite aux éventuelles fuites des cuves enterrées voisines).
  - au droit de la zone de stockage d'huile et du local de préparation de peinture du garage/atelier :
    - la zone d'impact est délimitée verticalement entre 1 et 3 m de profondeur avec des teneurs pouvant monter jusqu'à 1400 mg/kg ;
    - elle est partiellement délimitée horizontalement (absence de sondage au nord et à l'ouest)
    - ces impacts sont principalement composés des fractions lourdes type C<sub>24</sub>C<sub>32</sub> pouvant s'apparenter à des huiles lourdes.
- **un impact en tétrachloroéthylène (PCE) au droit des sondages S9 et S10 au nord-ouest du site (0,1 à 1 mg/kg.MS).**
- **la présence de métaux principalement dans le secteur du bâtiment 1 (futur logement collectif) :**
  - de nombreux dépassements du fond géochimique en arsenic sont relevés (28 à 190 mg/kg.MS) dont l'un se trouve au droit du sondage S1 au droit des futures maisons individuelles (69 mg/kg.MS) ;
  - d'autres métaux sont également relevés de manière ponctuelle et non représentatif de l'ensemble du site :
    - du mercure en S9 (0,14 mg/kg.MS – futur maison individuelle) ;
    - du plomb en S36 (73 à 87 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
    - du zinc en S52 et 43 (180 à 190 mg/kg.MS – secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif) ;
    - du cuivre en S37 (25 mg/kg.MS - secteur du bâtiment 1 / futur logement collectif).

- la présence de naphtalène est relevée au droit de trois sondages S29, S2T2 et S46 (0,14 à 0,22 mg/kg.MS) sans toutefois dépasser le fond géochimique de 25 mg/kg.MS en HAP ;
- la présence de méthanol en S16T16 (20,1 mg/kg.MS) et de l'acétone en S32 et S41 (0,12 à 0,13 mg/kg.MS).

**Le site d'étude présente une qualité médiocre des sols sur la partie est au droit de l'ancienne zone de garage avec la présence d'impact en métaux dans les remblais (principalement de l'arsenic avec une teneur maximal de 190 mg/kg MS) et de 2 zones d'impacts en hydrocarbures (jusqu'à 40 000 mg/kg.MS). Pour la partie ouest et nord, le site présente une bonne qualité des sols à l'exception de la présence de PCE sur la partie nord-ouest en S9 et S10 (0,1 à 1 mg/kg) et d'arsenic en S1 (69 mg/kg).**

## ► Plan de gestion

### Pollution concentrée en hydrocarbures :

**Le volume total des terres impactées à gérer de manière spécifique est estimé, en première approche, à 650 m<sup>3</sup> (non foisonné), soit environ 1 200 tonnes.**

Les objectifs de réhabilitation pour le secteur impacté en hydrocarbures totaux (logements collectifs) sont :

- 1 500 mg/kg.MS pour les hydrocarbures totaux dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < 15 mg/kg.MS ;
- 0,1 mg/kg pour le tétrachloroéthylène (PCE) ;
- BTEX : aucun seuil (prise en compte des teneurs résiduelles après travaux).
  - la teneur en benzène devra être inférieure à la limite de quantification du laboratoire par mesure de précaution (non relevé sur l'ensemble des échantillons analysés).

La problématique en hydrocarbure totaux n'a pas été relevée dans le secteur des logements individuels. Toutefois, étant donné que l'usage est plus sensible, un seuil de 500 mg/kg.MS (dont HC C<sub>5</sub>C<sub>10</sub> < LQ) a été pris en compte par mesure de sécurité.

Pour la mise en place d'un pylône électrique, un seuil à 1 mg/kg.MS a été pris en compte pour le PCE (sondage S9).

Deux scénarios ont été proposés (terrassement et évacuation hors site / terrassement et biotraitement sur site).

### Métaux :

Pour les métaux, aucun seuil de gestion n'est retenu. Une problématique en arsenic est relevée au droit du site (teneur maximale de 190 mg/kg.MS). Nous préconisons en fonction des usages :

- Jardins individuels avec potager : substitutions des terres sur 1 m (retrait des remblais impactés en arsenic sur 1 m et apport de terres saines) ;

**Remarque :** seule les terres du secteur S1 sont concernées et elles sont considérées inertes d'après le pack ISDI réalisé.

- Espaces verts (logements collectifs) : apport de 30 cm de terres saines (nous considérons qu'avec la démolition des bâtiments, aucun décaissement de terres supplémentaires ne sera nécessaire dans le cadre de l'altimétrie du projet).

### Matériaux non inertes :

En dehors des zones de pollutions concentrées, en cas d'excavation des terres, une problématique de matériaux non inertes est à prendre en compte au droit du site en raison de plusieurs dépassements en fluorures / arsenic sur éluât et en hydrocarbures sur brut vis-à-vis de l'arrêté du 12/12/2014. La présence de PCE a également été pris en compte et dépendra du centre d'évacuation sélectionné.

Aucun surcoût n'est annoncé en l'absence de connaissance des terrassements envisagés.



### Gestions des cuves enterrées :

Lors de la précédente étude de 2020, il est précisé au droit de l'actuel garage la présence de 3 cuves enterrées d'huiles neuves (2 x 2500 L et 1 x 3000 L) et 1 cuve enterrée d'huiles usagées (5000 L). Deux d'entre-elle ont fait l'objet ou ont été suspecté de fuite. Les cuves existantes devront ainsi que les canalisations être nettoyées, dégazées puis inertées ou évacuées du site. L'obtention de certificat (dégazage) sera nécessaire. Un coût de gestion d'environ 5 à 10 k€ HT est estimé pour l'atelier.

De 1971 à 2003, une station-service été présente à l'entrée du site, les cuves (4 à 5 cuves de gasoil / essences pour 70 m<sup>3</sup>) ont été présente aux abords de la station-service et ont été nettoyé, dégazé et neutralisé au sable et béton. Ces dernières pourront soit être laissées en place soit être évacuées pour le besoin du projet. En cas d'évacuation un surcoût d'environ 10 à 20 k€ est estimé.

### Récapitulatif des coûts :

Le récapitulatif des coûts est repris dans le dans le **Tableau 33** suivant :

**Tableau 33 : Synthèse des estimations**

<u>Scénario 1</u> Terrassement et évacuation	<u>Scénario 2</u> Terrassement et Bioterre	<u>Gestion des métaux</u>	<u>Matériaux non inertes</u>	<u>Gestions des cuves enterrées</u>	<u>Total</u>
145 à 195 k€ HT	110 à 175 k€ HT	65 k € HT	Non évalué en raison de l'absence de connaissance des terrassements envisagés	15 à 30 k€ HT	205 à 435 k € HT

**Le coût total de la gestion de la pollution et des mesures de gestion simple associées est compris entre 205 et 435 k € HT. Avec un Aléa de 20 %, le coût est estimé entre 245 et 520 k€ HT.**

### Restrictions d'usages :

Un dossier de restriction devra être établi pour les secteurs concernés par les servitudes. Les restrictions d'usages concernent principalement la partie Est du site au niveau des logements collectifs. Si les terres superficielles impactées en arsenic ne sont pas évacuées hors-site, une interdiction de potager et d'arbre fruitier est à prévoir. Également, pour les zones présentant des teneurs en hydrocarbures résiduels voir PCE, des canalisations AEP anti-perméation entourée par du sablon sain par mesure de précaution sont recommandées.

### ► Analyse de risques résiduels prédictive

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée, avec les conditions d'études retenues (notamment, la gestion des pollutions concentrées définies dans le Plan de Gestion), 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 dans le cadre du Plan de Gestion, est compatible avec l'usage prévu (quartier résidentiel avec logements collectifs et logements individuels)

Soulignons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la réhabilitation du site étudié (cf. Plan de Gestion), et devant prévoir notamment :

- la purge des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
- la substitution par des terres saines sur 1 m au droit des logements individuels présentant un impact en arsenic ;
- le maintien du recouvrement pérenne et systématique au droit des logements collectifs (partie sud), par des dallages (enrobé ou dalle bétonnée) voire de la terre saine de 0,3 m d'épaisseur minimum, afin de supprimer tout contact direct avec les futurs usagers ;
- par mesure de précaution, l'enfouissement des canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) en-dehors de sols présentant une pollution résiduelle (notamment en hydrocarbures) et l'emploi de canalisations renforcées et posées dans des tranchées comblées de sablon sain au droit des logements collectifs (partie sud),.

Toutes modifications de l'usage futur (configuration) et/ou pollution résiduelle non intégrée dans l'ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état environnemental du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).

**Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols en fond de fouilles, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (nouvelle ARR en fin de travaux).**

### ► Recommandation

En cas de prise en compte du scénario d'excavation et mise en place d'un traitement par biotertre, la réalisation d'un plan de conception de travaux est recommandée pour vérifier et consolider la faisabilité du scénario (en termes de délai, technique et coût).

Lors des déclarations de changement d'exploitant, il est indiqué que le site est uniquement soumis à la rubrique 2930-1 (Atelier de réparation et d'entretien de véhicules à engins à moteur - déclaration). Il conviendra de s'assurer auprès de l'administration que les cessations des activités précédentes ont été convenablement réalisées et qu'une déclaration de la cessation de l'activité ICPE restante soit bien réalisée avant la mise en œuvre du projet.

Pour l'ancienne zone de station-service qui n'a pas pu être ciblée lors des précédentes investigations (retour des administrations ultérieur aux investigations), nous recommandons la réalisation de sondages complémentaires à 5 m de profondeur à proximité des cuves pour vérifier s'il y a eu ou non des fuites à proximité de ces dernières.

Certaines zones de pollutions concentrées ou zone d'impact ne sont pas clairement délimitées (zone B avec HCT dans l'horizon superficiel 0 – 0,5 m et secteur avec PCE à 1 mg/kg au moins sur le premier mètre). Des investigations complémentaires sont recommandées avec 3 à 4 sondages supplémentaires par zone et la vérification du milieu gaz du sol par la pose d'à minima un piézair par zone. La pose de trois piézomètres pour vérifier le milieu eau souterraine est également recommandée. Enfin, il peut être utile de mieux délimiter l'impact en Arsenic en S1 qui se trouve à proximité d'une maison individuelle par la réalisation de 4 à 6 sondages à 1 m de profondeur.

Vis-à-vis des terres non inertes au droit du site (hors pollution concentrée), nous recommandons :

- **en cas d'évacuation hors site :** de privilégier la conservation des terres non inertes sur site et l'évacuation des terres inertes du site. Cela permettra de limiter les surcoûts d'évacuations en raison

des dépassements observés. Un travail de déblais / remblais est recommandé dans le cadre des futurs travaux de terrassements ;

- **en cas de mouvement de terres** : de privilégier la réutilisation de ces terres pour combler les éventuelles fouilles de pollutions concentrées sous les futurs bâtiment, de les réutiliser sous enrobé ou sous 30 cm de terres saines au droit des futurs espaces verts collectifs voir directement en recouvrement pour les terres présentant uniquement des dépassements sur éluat.

**Une optimisation de la réutilisation des déblais non inertes est à prendre en compte dans le cadre du projet.**

### ► Conservation de la mémoire

La qualité des sols au droit du site sera à garder en mémoire en procédant à une identification pérenne du présent rapport (et futur rapport de récolement en fin de travaux) dans les documents d'urbanisme et fonciers au niveau du « service de la publicité foncière » afin de pouvoir préciser à tout nouvel acheteur/acteur de l'état de pollution sur site et des limites de réalisation de cette étude.

## 11. 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 GINGER BURGEAP.

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 GINGER 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.

5- Un rapport d'étude de pollution et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de GINGER BURGEAP. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'Ouvrage ou pour un autre projet que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de GINGER BURGEAP.

La responsabilité de GINGER BURGEAP ne pourra être engagée en dehors du cadre de la mission objet du présent mémoire si les préconisations ne sont pas mises en œuvre.



# ANNEXES



## **Annexe 1. Attestation de dégazage / neutralisation**

Cette annexe contient 2 pages

SITA Ouest (ex. SONIP)

Pôle Assainissement  
et Maintenance Industrielle

- Travaux Pétroliers  
Z. I. de Jouy
- 44480 - DONGES  
Tél. 02.40.45.30.24  
Fax 02.40.45.30.59

N/ REF. LD/JGU

**SOCIETE ROHE FRANCE**

**Rue de la Gouërie**

**44119 - TREILLIERES**

**DONGES, LE 26 FEVRIER 2003**

SOCIÉTÉ ANONYME  
AU CAPITAL  
DE 1 434 528 €  
  
344 262 702 RCS Nantes  
APE 800 C

**ATTESTATION DE NEUTRALISATION DE CUVES**

Nous soussignés, Société SITA OUEST (Travaux Pétroliers) – Zone Industrielle  
de Jouy à DONGES (44480), certifions avoir procédé au

**NETTOYAGE, DEGAZAGE & NEUTRALISATION AU SABLE ET BETON DE :**

- 3 CUVES DE 10 m3 G.O., SP95 & SP98
- 2 CUVES DE 20 m3 SCA & G.O.

(au cours de nos travaux du 10 au 14 Février 2003).

A SAS SYDAMI – Route des Sables d'Olonne à LA ROCHE SUR YON (85000).

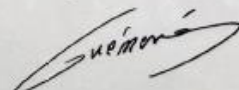
**MESURES D'EXPLOSIVITE :**

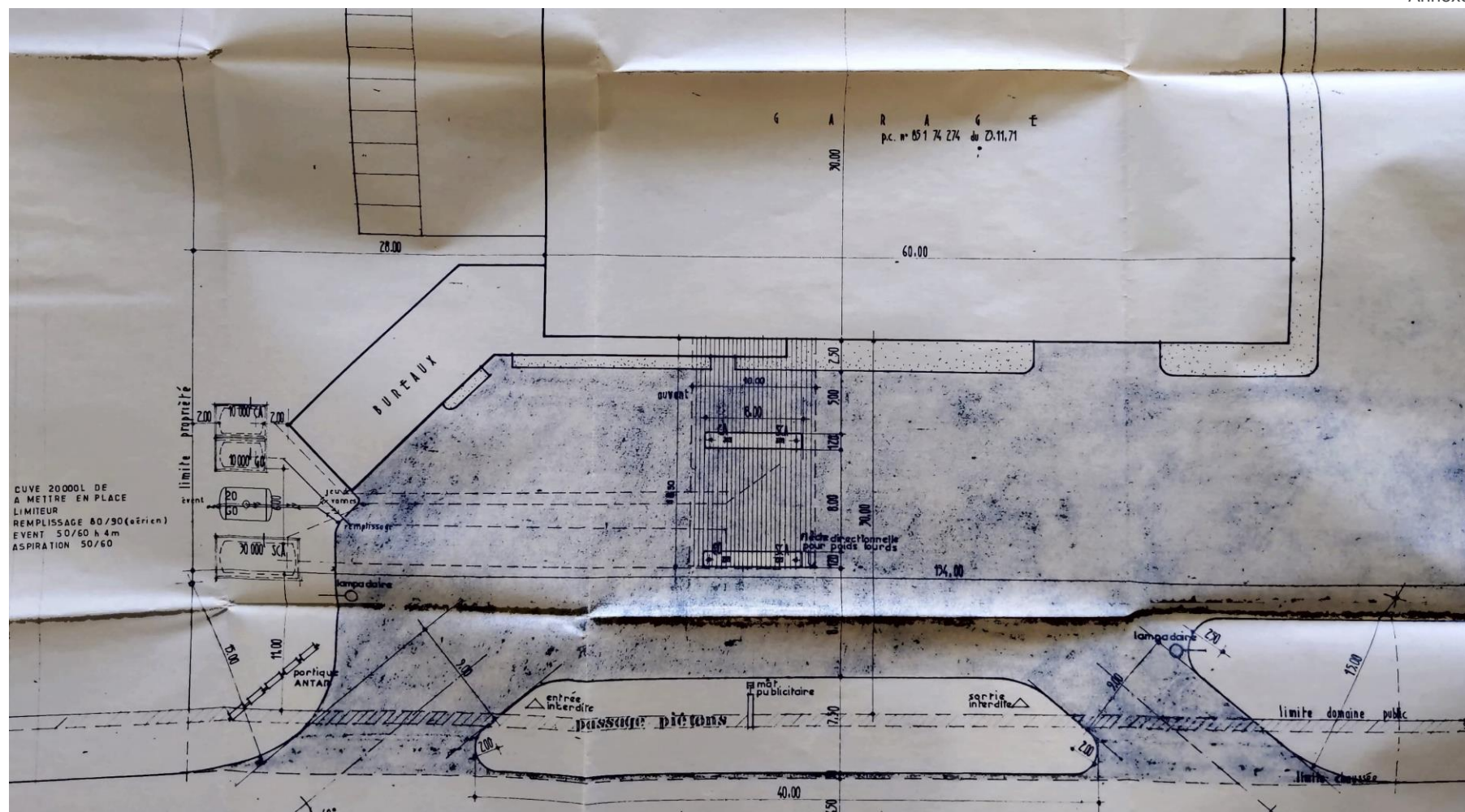
- Explosimètre M.S.A. - Type "ORION P "
- N°série A6 9669 E 02 contrôlé le 17/07/02

**RESULTATS DES MESURES :**

- Sans trace de gaz

Po L. DALLAVALLE  
Responsable d'Exploitation





## **Annexe 2. Détail du Bilan coût avantage**

Cette annexe contient 1 page



		Scénario 1 : Traitement de zone source par excavation	Scénario 2 : Biotertre sur site	Pondération
<b>Critère économique : coût traitement + surveillance + investigations complémentaires + travaux annexes</b>				
0	> 200 k €			
1	150 - 200 k€	1		
2	100 - 150 k€		2	
3	< 100 k€			
Note		5	10	5
<b>Durée hors surveillance</b>				
0	16 mois			
1	10-13 mois		1	
2	6-10 mois			
3	3-6 mois	3		
4	<3 mois			
Note		9	3	3
<b>Critère technique : Fiabilité / atteinte des objectifs</b>				
0	Technique incertaine			
1	Technique moyennement expérimentée - efficacité à déterminer			
2	Technique expérimentée - efficacité à déterminer dans le contexte du site		2	
3	Technique éprouvée - efficacité élevée garantie	3		
Note		9	6	3
<b>Critère socio-politique : acceptabilité sociale</b>				
0	Pas de traitement de la zone source			
1	Zone source résiduelle / traitement partiel de la source concentrée		1	
2	Impacts résiduels, suppression de la zone source concentrée	2		
3	Plus de zone source			
Note		4	2	2
<b>Critère environnemental : Impact environnemental</b>				
0	Evolution possible de la pollution concentrée avec impact éventuel hors site			
1	Fort impact environnemental (bilan carbone élevé) + nuisance voisinage	1		
2	Impact environnemental modéré (consommation énergétique)		2	
3	Faible impact environnemental			
4	Absence d'impact environnemental			
Note		3	6	3
Note totale		30	27	2

## **Annexe 3. Données toxicologiques**

Cette annexe contient 6 pages

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

### 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 préoccupante 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 : Nocif grave 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 mortel 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	Mention de danger	classement cancérogénéicité			EFFETS TOXIQUES A SEUIL		
		Pv	S	symboles		UE	CIRC (IARC)	EPA	Organe cible (oral)	Organe cible (inh°)	
METAUX ET METALLOIDES											
Mercure (Hg)	7439-97-6	non adéquat	non adéquat	SGH06, SGH08, SGH09	H360D, H330, H372, H400, H410	R1B	3	C à D		rein	SNC
Zinc (Zn)	7440-66-6 (poudre)	non adéquat	non adéquat	SGH02 (pyrophorique) SGH09	H250, H260 (pyrophorique) H400, H410	-	-	D		sang	-
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				non adapté	syst. nerveux
Aliphatic nC>6-nC8	"	++	+							non adapté	syst. nerveux
Aliphatic nC>8-nC10	"	+	-							syst. nerveux syst. hépatique	syst. Hépatique
Aliphatic nC>10-nC12	"	+	-							syst. nerveux syst. hépatique	syst. Hépatique
Aliphatic nC>12-nC16	"	-	--							syst. nerveux syst. hépatique	syst. Hépatique
Aliphatic nC>16-nC35	"	-	--							tumeurs hépatiques	-
Aliphatic nC>35	"	--	--							tumeurs hépatiques	-
Aromatic nC>5-nC7 benzène	"	++	++							-	-
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	"	-	-							nephrotoxique	-
Aromatic nC>21-nC35	"	--	--							non adapté	-
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS											
PCB (VTR associées a l'aroclor 1254)	215-648-1 1336-36-3		-	SGH08, SGH09	H373, H400, H410	-	1	B2		sys immunitaire	marginaux
		<b>LEGENDE Volatilité :</b> ++ :Pv > 1000 PA (COV) + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) - : 10 >P> 10-2 Pa (non COV) -- : 10-2 >P> 10-5 Pa (non COV)		<b>LEGENDE Solubilité :</b> ++ : 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

Cette annexe contient 7 pages.

## 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 nationales<sup>4</sup> (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 seuil<sup>5</sup>) 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/m<sup>3</sup> 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)
- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)

<sup>4</sup> 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

<sup>5</sup> Cancérogènes épigénétiques ou non génotoxiques



- CAA (Concentration dans l'Air Admissible – OMS);

En France, la dénomination retenue par l'ANSES<sup>6</sup> 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 cancérogène 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)<sup>-1</sup>,
- l'excès de risque unitaire par inhalation : ERUi en (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

#### 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'OEHA 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, 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

<sup>6</sup>ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

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<sup>ème</sup> 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]<sup>7</sup> dans lequel figurent des valeurs guides pour la qualité de l'air.

<sup>7</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

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)<sup>8</sup>. 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 naphtalène, 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.

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>

<sup>8</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 october 2005.

## ► 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**

Cette annexe contient 16 pages.

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 Quirk 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:

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

Avec :

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

$D_{\text{eff}}$  : coefficient de diffusion effectif (cm<sup>2</sup>/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 Quirk détaillées ci-après

$C_{\text{vs}}$  : concentration de vapeur dans la source (g/cm<sup>3</sup>)

$Q_{\text{sol}}$  : débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment (cm<sup>3</sup>/s), calculé à partir de la différence de pression et de la perméabilité des sols sous dallage

$D_{\text{crack}}$  : coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm<sup>2</sup>/s), calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des sols sous dallage par application des équations de Millington et Quirk détaillées ci-après

$A_{\text{crack}}$  : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment (cm<sup>2</sup>), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage

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

$A_B$  : surface des bâtiments (cm<sup>2</sup>)

$L_T$  : distance de la source au dallage (cm)

$Q_b$  : Débit de renouvellement d'air du bâtiment (m<sup>3</sup>/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**  $\Delta P$  : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur ( $g/cm^2 \cdot s^2$ )

$k_v$  : perméabilité intrinsèque des sols ( $cm^2$ )

$\mu$  : 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

$\pi$  : 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  $\Delta P$  :  $40 g/cm \cdot s^2$  (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  $\Delta P$  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 ( $\tau^{-1}$ )** 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,

$\theta$  porosité totale,  
 $\theta_{eau}$  teneur en eau du sol,  
 $\theta_{gaz}$  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)  
 $\rho_b$  : densité du sol ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $F_{oc}$  : 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))  
 $\theta_a$  : teneur en air dans les sols ( $\text{cm}^3$  d'air/  $\text{cm}^3$  de sol)  
 $\theta_w$  : teneur en eau dans les sols ( $\text{cm}^3$  d'eau/  $\text{cm}^3$  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)

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 sur vide sanitaire

### Modèle en source infinie utilisé

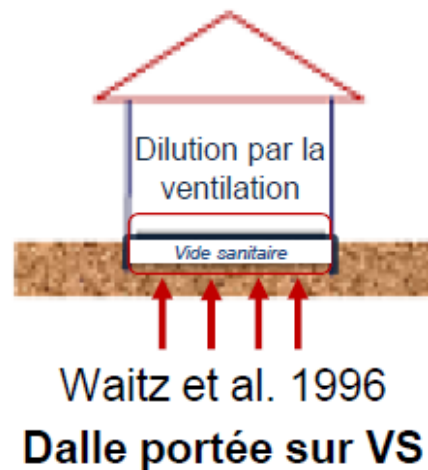
Les équations du logiciel **VOLASOIL** développées par le National Institute of Public Health and the Environment Bilthoven, Pays Bas, sont utilisées pour évaluer le transfert de polluants des gaz du sol vers l'air intérieur d'un bâtiment avec vide sanitaire. VOLASOIL correspond à une amélioration du logiciel CSOIL, conçu pour déterminer les « valeurs d'intervention » dans les sols et dans les eaux, mais jugé peu adapté au calcul de risques sur des sites variés.

Ces équations, détaillées dans le rapport du RIVM n° 715810014 *The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatils compounds*, M.F.W Waitz, J.J Freijer, P Kreule, F.A. Swarjes, mai 1996 ont été réécrites sous excel par nos soins.

Le transport des polluants sous forme vapeur à travers le sol s'effectue grâce aux phénomènes de diffusion (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) et de convection. Le mouvement convectif est dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur, occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation. C'est également un

phénomène de convection qui dirige le transport des vapeurs du vide sanitaire vers l'air intérieur.

Le modèle utilisé considère une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps).



### Concentration dans l'air du sol à la source

La concentration dans l'air du sol à la source, lorsqu'elle n'est pas mesurée directement, correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

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

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc}) \quad (1)$$

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

$\rho_b$  : densité du sol (g/cm<sup>3</sup>)

$F_{oc}$  : 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))

$\theta_a$  : teneur en air dans les sols (cm<sup>3</sup> d'air/ cm<sup>3</sup> de sol)

$\theta_w$  : teneur en eau dans les sols (cm<sup>3</sup> d'eau/ cm<sup>3</sup> de sol)

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

$$C_{wi} = X \cdot S \text{ et } C_{eaudusol} = \frac{C_{airdusol}}{H} \quad (2)$$

**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)

### Flux convectif d'air, du sol vers le vide sanitaire

Le flux de substances volatiles le long de la colonne de sol située sous le vide sanitaire est induit par la combinaison d'un **flux par diffusion moléculaire** et un **flux par convection**.

Le flux par convection,  $Q_{sc}$  ( $m^3/j$ ), dans le sol vers le vide sanitaire est obtenu en appliquant la loi de Darcy :

$$Q_{sc} = K_s \cdot A_c \cdot dP_{cs} / L_s \quad \text{avec} \quad K_s = (k \times 10^{-4}) / \eta \quad (3)$$

Avec  $K_s$  : perméabilité à l'air des sols sous le vide sanitaire ( $m^2/Pa/j$ )  
 $k$  : perméabilité intrinsèque des sols sous le vide sanitaire ( $cm^2$ )  $\eta$  : viscosité dynamique de l'air ( $Pa/j$ )  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $m^2$ )  
 $dP_{cs}$  : différence de pression entre l'air du sol et l'air du vide sanitaire ( $Pa$ )  
 $L_s$  : distance entre le toit de la pollution dans les sols et le vide sanitaire ( $m$ )

La différence de pression entre l'air du vide sanitaire et l'air du sol  $dP_{cs}$  :  $20 \text{ g/cm-s}^2 = 2 \text{ Pa}$  (valeur par défaut de VOLASOIL). Dans le cadre de l'analyse des incertitudes, on notera qu'en présence d'un vide sanitaire, le RIVM préconise de prendre une différence de pression entre le vide sanitaire et le sol de  $1 \text{ Pa}$  (report n°711701021 de mars 2001, Evaluation and revision of the CSOIL parameter set).

Notons cependant qu'en cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), le flux d'air du sol vers le vide sanitaire doit être à l'équilibre (et ne peut être supérieur) avec le renouvellement d'air du vide sanitaire, ainsi la formule (3) est associée à la condition suivante :

$$Q_{sc} \leq A_c \cdot \tau_i \cdot h_i$$

Avec :  $h_c$  : hauteur du vide sanitaire ( $m$ )  
 $\tau_c$  : taux de ventilation du vide sanitaire ( $j^{-1}$ )  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $m^2$ )

### Flux convectif d'air, du vide sanitaire vers l'air intérieur

Le transport de substances volatiles entre le vide sanitaire et l'air intérieur du rez-de-chaussée est dû à un **phénomène de convection**.

Le flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur  $Q_{ci}$  est obtenu en appliquant la loi de Darcy :

$$Q_{ci} = K_f \cdot A_c \cdot dP_{ic} / L_f \quad (4)$$

Avec  $K_f$  : perméabilité à l'air de la dalle qui sépare le vide sanitaire du rez-de-chaussée ( $m^2.Pa^{-1}.j^{-1}$ )  
 $A_c$  : surface de contact du vide sanitaire avec le rez-de-chaussée ( $m^2$ )  
 $dP_{ic}$  : différence de pression entre l'air intérieur et l'air du vide sanitaire ( $Pa$ )  
 $L_f$  : épaisseur de la dalle qui sépare le vide sanitaire du rez-de-chaussée ( $m$ )

La différence de pression entre l'air intérieur et l'air du vide sanitaire  $dP_{ic}$  :  $20 \text{ g/cm-s}^2 = 2 \text{ Pa}$  (valeur par défaut de VOLASOIL).

La perméabilité à l'air de la dalle qui sépare le vide sanitaire du rez-de-chaussée ( $m^2/Pa/j$ ) s'exprime sous la forme suivante :

$$K_f = \frac{f_{of}^2}{8.n.\pi.\eta} \quad (5)$$

Avec  $f_{of}$  : taux de fissures dans la dalle (-) = surface des fissures / surface de la dalle  
 $n$  : nombre de fissures dans la dalle par unité de surface ( $m^{-2}$ )  
 $\eta$  : viscosité dynamique de l'air ( $Pa.j$ ), calculée à partir de la température du sol

Notons cependant qu'en cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), le flux d'air du vide sanitaire vers le rez de chaussée doit être à l'équilibre (et ne peut être supérieur) avec le renouvellement d'air du rez de chaussée, ainsi la formule (4) est associée à la condition suivante :

$$Q_{ci} \leq A_c \cdot \tau_i \cdot h_i$$

**Avec** :  $h_i$  : hauteur du rez-de-chaussée (m)  
 $\tau_i$  : taux de ventilation d'air du rez de chaussée ( $j^{-1}$ )  
 $A_c$  : surface du rez de chaussée ( $m^2$ )

Le nombre de fissures dans la dalle par unité de surface  $n$  a été pris égal à  $0,2 \text{ m}^{-2}$  (valeurs par défaut de Volasoil : 10 fissures pour  $50 \text{ m}^2$ ).

Pour le taux de fissures dans la dalle  $f_{of}$ , dans *The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatils compounds*, le RIVM donne les informations suivantes.

Qualité de la dalle	Taux de fissure dans la dalle $f_{of}$ (-)	Kdalle associée ( $\text{cm}^2$ )
Mauvaise	$10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Normale	$10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Bonne	$10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-9}$

A titre d'information, nous avons reporté dans ce tableau les perméabilités de dalle calculées pour les différentes qualités de dalle, en supposant un nombre de fissures dans la dalle par unité de surface de  $0,2 \text{ m}^{-2}$ .

Nous retiendrons la valeur correspondant à une dalle de bonne qualité :  $f_{of} = 10^{-6}$ , correspondant à une perméabilité de la dalle de  $2 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2$ .

### Flux massique de substances volatiles du sol vers le vide sanitaire

L'équation utilisée afin de calculer le flux massique  $J_{sc}$  ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$ ) est donné par :

$$J_{sc} = \frac{-\frac{Q_{sc}}{A_c} \times C_{as}}{\exp\left(\frac{-Q_{sc} L_s}{D_{sa} A_c}\right) - 1} \quad (6)$$

**Avec** :  $J_{sc}$  : flux massique de polluant du sol vers le vide sanitaire ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$ )  
 $C_{as}$  : concentration en polluant dans l'air du sol à la source ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )  
 $Q_{sc}$  : flux d'air induit par la convection du sol vers le vide sanitaire ( $\text{m}^3/\text{j}$ ) (voir a)  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $\text{m}^2$ )  
 $D_{sa}$  : coefficient de diffusion effective de la substance dans les sols ( $\text{m}^2/\text{j}$ )  
 $L_s$  : distance entre le toit de la pollution dans les sols et le vide sanitaire (m)

Cette équation suppose que la concentration dans l'air du vide sanitaire est négligeable devant la concentration dans l'air du sol à la source.

### Concentration dans le vide sanitaire

La concentration en substances volatiles dans le vide sanitaire est obtenue en réalisant un bilan de masse dans le vide sanitaire, en prenant en considération les dimensions du vide sanitaire et le taux de renouvellement de l'air dans le vide sanitaire (même principe que le modèle boîte). Ce taux de renouvellement est calculé d'une part à partir du taux de ventilation du vide sanitaire (ventilation naturelle ou forcée), et d'autre part à partir du flux de vapeurs du vide sanitaire vers l'intérieur du bâtiment :

$$C_{ca} = \frac{J_{sc}}{h_c \times v v_c} \quad \text{avec} \quad v v_c = \tau_c + \frac{Q_{ci}}{A_c \times h_c} \quad (7)$$

**Avec** :  $C_{ca}$  : concentration en polluant dans le vide sanitaire ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )  
 $J_{sc}$  : flux massique de polluant du sol vers le vide sanitaire ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$ )  
 $h_c$  : hauteur du vide sanitaire (m)

$vv_c$  : taux de renouvellement d'air du vide sanitaire ( $j^{-1}$ )  
 $\tau_c$  : taux de ventilation du vide sanitaire ( $j^{-1}$ )  
 $Q_{ci}$  : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur ( $m^3/j$ )  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $m^2$ )

Notons cependant qu'en cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), la concentration dans le vide sanitaire ne peut être supérieure à la concentration au niveau du terme source, ainsi la condition suivante doit être vérifiée :

$$C_{ca} \leq C_{as}$$

Avec :  $C_{ca}$  : concentration en polluant dans le vide sanitaire ( $mg/m^3$ )  
 $C_{as}$  : concentration en polluant dans l'air du sol à la source ( $mg/m^3$ )

### Flux massique de substances volatiles du vide sanitaire vers l'air intérieur

L'équation utilisée pour calculer le flux massique  $J_{ci}$  ( $mg/m^2/j$ ) est donné par :

$$J_{ci} = \frac{Q_{ci}}{A_c} \times C_{ca} \quad (8)$$

Avec :  $J_{ci}$  : flux massique de polluant du vide sanitaire vers l'air intérieur ( $mg/m^2/j$ ) (voir b)  
 $C_{ca}$  : concentration en polluant dans le vide sanitaire ( $mg/m^3$ )  
 $Q_{ci}$  : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur ( $m^3/j$ )  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $m^2$ )

### Concentration dans l'air intérieur

De même que pour le vide sanitaire, la concentration en substances volatiles dans l'air intérieur est obtenue en réalisant un bilan de masse pour le rez-de-chaussée, avec un taux de renouvellement d'air dans le bâtiment calculé d'une part à partir du taux de ventilation de la pièce considérée, et d'autre part à partir du flux de vapeurs du vide sanitaire vers l'intérieur du bâtiment :

$$C_{ia} = \frac{J_{ci}}{h_i \times vv_i} \quad \text{avec} \quad vv_i = \tau_i + \frac{Q_{ci}}{A_c \times h_i} \quad (9)$$

Avec :  $C_{ia}$  : concentration en polluant dans l'air intérieur ( $mg/m^3$ )  
 $h_i$  : hauteur du rez-de-chaussée (m)  
 $vv_i$  : taux de renouvellement de l'air intérieur ( $j^{-1}$ )  
 $\tau_i$  : taux de ventilation d'air de la pièce considérée ( $j^{-1}$ )  
 $Q_{ci}$  : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur ( $m^3/j$ )  
 $A_c$  : surface du vide sanitaire ( $m^2$ )

### Calcul des coefficients de diffusion effectifs

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

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

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

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

Le coefficient de tortuosité ( $\tau^{-1}$ ) 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 :  $\tau_{\text{eau}}^{-1} = \theta_{\text{eau}}^{7/3} / \theta^2$ ,

Avec :

H     constante de Henry adimensionnelle,

$\theta$      porosité totale,

$\theta_{\text{eau}}$  teneur en eau du sol,

$\theta_{\text{eau}}$  teneur en gaz du sol.

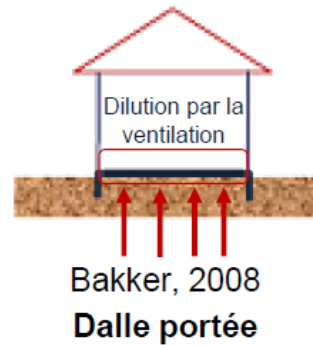
**Cette approche est plus complète que celle proposée par VOLASOIL, qui fait l'hypothèse, dans la zone non saturée, que le coefficient de diffusion dans l'eau est négligeable par rapport au coefficient de diffusion dans l'air, et seul celui-ci est pris en compte.**



## 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 :

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

Avec  $J_T$  : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ )

$F_T$  : flux convectif total à travers le système sol+dalle ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )

$L_T$  : 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 ( $\text{m}^2/\text{h}$ )

$C_{gds}$  : concentration dans les gaz du sol à la source ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

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 ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )

$L_s$  : 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 ( $\text{m}^2/\text{Pa}/\text{h}$ )

$K_f$  : conductivité équivalente de la dalle ( $\text{m}^2/\text{Pa}/\text{h}$ )

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

$$K_s = \frac{L_s}{\sum_{(0 \leq h \leq L_s)} \left[ \frac{L_h}{k_h} \right]} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (3)$$

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 ( $\text{m}^2$ )

$\eta$  : viscosité dynamique du gaz ( $\text{m}^2$ )

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  $\tau_i$  mais également du débit d'air entrant dans le bâtiment à travers les sols  $Q_{soil}$ .

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

Avec  $C_{\text{int}}$  : concentration en polluant dans l'air intérieur ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )  
 $h_i$  : hauteur du rez-de-chaussée (m)  
 $vv_i$  : taux de renouvellement de l'air intérieur ( $\text{j}^{-1}$ )  
 $\tau_i$  : taux de ventilation d'air de l'espace du bâtiment considéré ( $\text{j}^{-1}$ ), valeur issue de la réglementation  
 $J_T$  : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur ( $\text{m}^3/\text{j}$ )  
 $Q_{\text{soil}}$  : flux d'air du sol vers l'air intérieur ( $\text{m}^3/\text{j}$ )  
 $F_T$  : flux convectif total à travers le système sol+dalle ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $A_i$  : surface du bâtiment ( $\text{m}^2$ )

**Pour les sources situées à faible profondeur sous la structure (< quelques mètres) ou des tailles conséquentes de bâtiments (plusieurs centaines de  $\text{m}^2$ ), 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 :**

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

Avec  $J_T$  : flux total du polluant du sol vers l'air intérieur ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $F_T$  : flux convectif total à travers la dalle ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $L_f$  : épaisseur de la dalle (m)  
 $D_f$  : coefficient de diffusion à travers la dalle ( $\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $C_{\text{gds}}$  : concentration dans les gaz du sol ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
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 ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $L_f$  : épaisseur de la dalle (m)  
 $K_f$  : conductivité équivalente de la dalle ( $\text{m}^2/\text{Pa}/\text{h}$ )

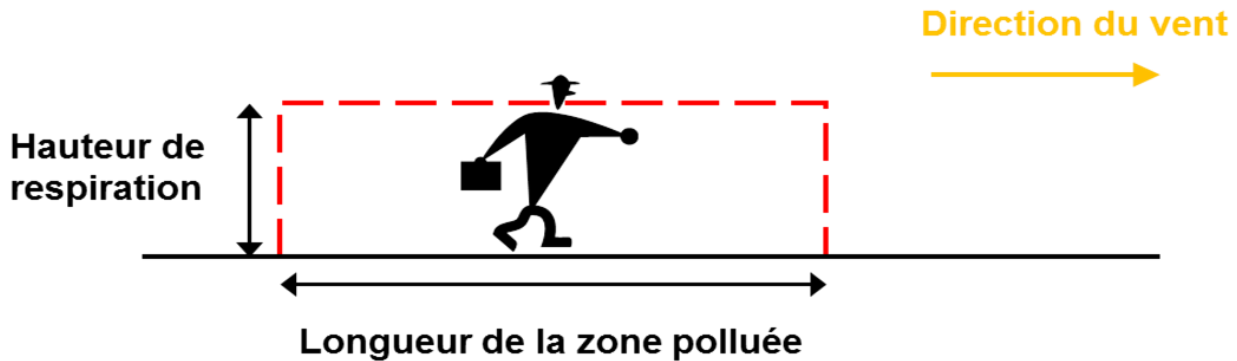
Parmi les paramètres suivants, certains sont retenus pour le modèle.

	Paramètre	Bakker et al (2008)	Source
dPt	Différence de pression entre bâti et sol	4 Pa	Valeur conservatoire par défaut proposée par Johnson et Ettinger (1991)
<del>Kf</del>	Perméabilité de la dalle (si non connue pour des nouvelles constructions)	$2.10^{-7} \text{ cm}^2$	Soit $2.10^{-11} \text{ m}^2$ correspondant à une dalle de qualité « normale » selon Bakker et al. (2008)
Kf	Perméabilité de la dalle (pour des radiers et cuvelage)	$2.10^{-9} \text{ cm}^2$	Soit $2.10^{-13} \text{ m}^2$ correspondant à une dalle de bonne qualité selon Bakker et al. (2008)
<del>Kf</del>	Perméabilité de la dalle (en présence d'une géomembrane en base ou résine de type epoxy)	$2.10^{-11} \text{ cm}^2$	Soit $2.10^{-15} \text{ m}^2$ correspondant à une dalle de très bonne qualité selon Bakker et al. (2008)
	Porosité de la dalle (pour Df)	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 Df)	7%	Valeur par défaut
$L_{\text{crack}}, L_f$	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 ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{m}$ ) 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  $\text{m}^2/\text{s}$ ) dans le sol prend en considération à la fois la diffusion dans la phase aqueuse et dans la phase gazeuse<sup>9</sup> 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.

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

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

<sup>9</sup> 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  $10^4$  fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse (Glotfely & Schomburg, 1991).

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

**Le coefficient de tortuosité ( $\tau^{-1}$ )** 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,
- $\theta$  : porosité totale,
- $\theta_{eau}$  : teneur en eau du sol,
- $\theta_{air}$  : teneur en gaz du sol.

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

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

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

**Avec**  $C_i$  : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)  
 $\rho_b$  : densité du sol (g/cm<sup>3</sup>)  
 $F_{oc}$  : 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))  
 $\theta_a$  : teneur en air dans les sols (cm<sup>3</sup> d'air/ cm<sup>3</sup> de sol)  
 $\theta_w$  : teneur en eau dans les sols (cm<sup>3</sup> d'eau/ cm<sup>3</sup> 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)

### **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 chaleurs<sup>10</sup>

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

<sup>10</sup> <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/frequently-asked-questions-faqs/asphalt-pavement-construction/>

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



## Concentration de substances adsorbées sur les poussières

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

$$C_{part} = C_s \times TSP \times fr \times frs$$

Avec  $C_{part}$  : concentration de polluant sous forme particulaire ( $mg/m^3$ )  
 $C_s$  : concentration dans les sols de surface ( $mg/kg$ )  
 $TSP$  : concentration de particules en suspension ( $kg/m^3$ )  
 $fr$  : fraction des poussières présentes dans l'air pouvant être réellement inhalées  
 $frs$  : fraction de sol dans les poussières (-)

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

### Les paramètres suivants ont été utilisés :

- les concentrations dans les sols de surface ;
- fraction du sol dans les poussières : dans l'air extérieur de 0,5 et dans l'air intérieur de 0,8 (valeurs par défaut du logiciel HESP) ;
- quantités de particules en suspension dans l'air extérieur ( $TSP_e$ ) :  $0,07 \text{ mg}/m^3$  et dans l'air intérieur  $TSP_i$  de  $0,05 \text{ mg}/m^3$  (valeurs par défaut du logiciel HESP) ;
- par ailleurs, la quantité de poussières réellement inhalée dépend de la taille de ces poussières, par défaut, nous considérerons que 75 % des poussières totales dans l'air sont réellement inhalées (valeur par défaut du logiciel HESP).

## Concentration dans les végétaux

Les mécanismes de transfert sont complexes et les facteurs de bioconcentration (BCF) traduisant l'accumulation d'un composé dans une plante varient d'une plante à une autre en fonction des mécanismes de transferts (racines, feuilles, ...) et sont spécifiques de chaque composé.

Les BCF (en poids sec) peuvent être estimés à partir de mesures sur le site, de données de la littérature, ou en l'absence de mesures, calculés par des modèles plus ou moins simples. Généralement, en dehors des métaux et métalloïdes, ces BCF ne sont que peu disponibles dans la littérature.

Nous avons évalué le transfert du polluant du sol vers les plantes à partir des équations suivantes (réécrites par nos soins dans excel), en distinguant la partie racinaire, la partie aérienne (tige et feuille) de la plante, pour les sols (comme pour les eaux) les équations de transfert sont:

$$C_{aerien,i}(\text{poids sec}) = BCF_{sol-aerien}(\text{poids sec}) \times C_{sol}$$

$$C_{racine,i}(\text{poids sec}) = BCF_{sol-racine}(\text{poids sec}) \times C_{sol}$$

où  $C_{sol}$  : concentration dans le sol, en mg/kg MS.  
 $C_{aerien,i}$  : concentration de la substance i dans partie aérienne du végétal (tige et feuille) mg/kg de poids sec  
 $C_{racine,i}$  : concentration de la substance i dans la racine du végétal mg/kg de poids sec

### Rapport poids frais / poids sec

Pour passer de la concentration en poids sec à la concentration en poids frais dans le végétal, le taux d'humidité du végétal doit être considéré. Ce taux varie en fonction des végétaux entre 0,95 pour la salade et 0,74 pour les petits pois). Les valeurs proposées par les modèles intégrés HESP et VOLASOIL sont retenues.

Pour les parties racinaires du végétal (taux d'humidité de 0,798) :

$$C_{racine,i}(\text{poids - humide}) = C_{racine,i}(\text{poids - sec}) \times 0,202$$

Pour les parties aériennes du végétal (taux d'humidité de 0.883) :

$$C_{aerien,i}(\text{poids - humide}) = C_{aerien,i}(\text{poids - sec}) \times 0,117$$

### Végétaux considérés

La bioconcentration et la consommation des végétaux racinaires et aériens (tiges et feuilles) sont considérées en prenant en compte soit les mesures de BCF ou de concentration dans les végétaux (en priorité si celle-ci sont représentatives), soit des BCF estimés à partir des équations décrites ci-après.

En l'absence de méthode d'estimation des BCF dans les fruits, nous avons considéré quand ceux-ci n'étaient pas mesurés qu'ils étaient identiques à ceux dans les végétaux aériens. L'incertitude sur cette hypothèse est forte, il convient donc si cela est nécessaire de réaliser des mesures afin de réduire cette incertitude.

### Sources de polluants considérées

a) La pollution des sols peut être accumulée dans les différentes parties du végétal à partir des racines. Celle-ci a été considérée.

b) La pollution des eaux (arrosage ou eaux de la nappe si les racines des végétaux descendent jusque dans la nappe) peut être accumulée dans les différentes parties du végétal à partir des racines ou des parties aériennes. Celle-ci a été considérée.

c) L'apport par dépôt de poussières polluées est également pris en compte mais il demeure négligeable par rapport à l'accumulation des polluants à partir des racines dans le cadre des évaluations de risques sanitaires liés à un sol pollué. Ce dépôt est pris en compte à partir des équations de HESP réécrites par nos soins sous Excel. On notera qu'un facteur limitant de biodisponibilité des métaux dans le sol pour les végétaux est considéré afin d'évaluer la concentration dans les sols cultivés : la fraction de polluant interceptée par le végétal considérée est de 40 %.

### **CALCUL DES BCF DEPUIS LES SOLS – COMPOSES ORGANIQUES**

Les facteurs de bioconcentration que nous avons pris en compte sont issus des fiches de l'INERIS ou des monographies de INCHEM.

En l'absence de valeurs de BCF pour les substances organiques, ceux-ci ont été évalués à partir des équations développées par :

- Briggs et al. (1982) pour les composés organiques et les parties racinaires des végétaux. L'équation de base a cependant été modifiée pour prendre en compte un facteur d'ajustement de 1% proposé par l'US-EPA (voir détail dans le manuel de RISC 4.0),
- Travis et Arm (1988) pour les composés organiques et les parties aériennes des végétaux.

Les équations utilisées sont données ci-après, elles correspondent à celles utilisées par le modèle intégré RISC 4.0 (distribué par Waterloo Hydrogeologics) et doivent être appliquées à des concentrations dans les sols, il s'agit de BCF exprimés en poids sec:

$$BCF_{sol \rightarrow racine}(enpoids\ sec) = \frac{[10^{(0.778 \cdot \log Kow - 1.52)} + 0.82] \cdot 0.01}{Koc \cdot foc} / 0.202$$

$$BCF_{sol \rightarrow aerien}(enpoids\ sec) = [10^{(1.588 - 0.578 \log Kow)}]$$

Ces BCF sont exprimés en (mg/kg végétal sec) par (mg/kg de sol)

### **CALCUL DES BCF DEPUIS L'EAU – COMPOSES ORGANIQUES**

Les BCF sélectionnés ou calculés pour le milieu sol sont adaptés au milieu eau à partir des équations du modèle intégré RISC 4.0 (Waterloo hydrogeologics), on a ainsi :

$$BCF_{eau \rightarrow racine}(enpoids\ sec) = [10^{(0.778 \cdot \log Kow - 1.52)} + 0.82] / 0.202$$

$$BCF_{eau \rightarrow aerien}(enpoids\ sec) = [10^{(1.588 - 0.578 \log Kow)}] \cdot Koc \cdot foc$$

Ces BCF sont exprimés en (mg/kg végétal sec) par (mg/l d'eau)

### **CALCUL DES BCF DEPUIS LES SOLS ET LES EAUX – COMPOSES INORGANIQUES**

Comme le mentionne RISC 4.0, l'estimation d'un facteur de bioconcentration pour les composés inorganiques à partir de la constantes Kow n'est pas appropriée.

En l'absence de mesures, les valeurs disponibles dans la littérature sont considérées.

## **Annexe 6. Paramètres d'exposition retenus**

Cette annexe contient 2 pages.

## Ingestion de sols et poussières

### **Pour le taux d'ingestion de sols en extérieur :**

Pour les enfants, nous nous baserons sur les travaux de synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition (2012), basés pour ce paramètre sur l'étude de Stanek et al. (2001), qui donne un percentile 95 de **91 mg/jour**.

Pour les adultes, aucune donnée n'étant disponible dans le document de l'INVS, nous retiendrons la valeur sécuritaire couramment utilisée dans les études françaises et d'autres pays de **50 mg/jour**. Néanmoins, cette valeur doit être adaptée aux scénarios d'exposition pertinents (par exemple, l'US EPA recommande, pour des cultures potagères conduisant à **du bêchage**, de retenir une valeur de **200 mg/j** à pondérer selon le nombre de jours d'activité).

Ces données sont par ailleurs dans la fourchette des valeurs décrites dans la littérature : entre 0,6 et 480 mg/j chez l'adulte et entre 2 et 250 mg/j chez l'enfant (cité par KISSEL et al., 1998). La valeur de 480 mg/jour correspond à la réalisation de travaux de jardinage (Hawley 1985), non considérés de manière particulière dans la présente étude.

Les valeurs retenues pour l'ingestion de sols et de poussières en extérieur sont donc de **91 mg/j pour un enfant** en bas âge et **50 mg/j pour un adulte**. Pour des cultures potagères conduisant à **du bêchage**, nous retiendrons la valeur de **200 mg/j** pondérée selon le nombre de jours d'activité. Ces valeurs sont celles recommandées dans les textes relatifs aux sites et sols pollués de 2017.

Ces valeurs sont représentatives d'une journée d'activité en extérieur sans prise en compte d'un temps de présence sur la journée.

Ainsi, à ces taux d'ingestion de sols seront associées les fréquences d'exposition F1 (j/an) et non à des facteurs F2 (h/j) pour les adultes et enfants dans leurs jardins. Par contre, pour les cibles ne venant pas de manière prolongée sur le site (passage, intrusion), un facteur d'abattement correspondant au rapport du nombre d'heure passé sur une journée sera introduit.

**Concernant le taux d'ingestion de poussières (en intérieur)**, à partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (Hawley 1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sols et de poussières de :

- 0,5 mg par jour dans sa pièce de séjour,
- 110 mg par jour, s'il fréquente une zone empoussiérée comme un grenier ou un sous-sol,

La valeur retenue pour l'ingestion de sols et de poussières en intérieur est de **0,5 mg/j** pour un enfant et un adulte.



## Ingestion de végétaux autoproduits

**Le taux de consommation de légumes** provenant du potager sur une année est variable. La base CIBLEX (juin 2003) donne une autarcie de la population française pour la consommation de végétaux de 23 à 26 % pour les légumes feuilles, pommes de terre et légumes racinaires (population non agricole), de 13% pour les légumes fruits. Nous prendrons donc un taux maximaliste de 26%.

Ne connaissant pas les végétaux cultivés à l'avenir sur le site (légumes-racines, légumes-feuilles, verger...), nous avons considéré un mélange de végétaux défini par la base de données CIBLEX pour des enfants et adultes vivant en région Centre. Les résultats sont repris dans le tableau suivant. Les légumes graines (céréales) sont supposés provenir pour une part négligeable de l'autoproduction. Les légumes tiges sont pris en compte avec les légumes feuilles.

	Consommation totale				Autoconsommation prise en compte	
	légumes-fruits (g/j)	légumes racines y compris pomme de terre (g/j)	légumes-feuilles (g/j)	légumes graines (g/j)	Quantité de légumes feuilles (g/j)	Quantité de légumes racines (g/j)
Adultes	190	90	42	190	10.92	23.4
Enfants	130	65	17	120	4.42	16.9

La fraction de polluant réellement ingéré a été prise égale à 100%.

## **Annexe 7. Détails des calculs de dose et de risque**

Cette annexe contient 4 pages.

Espace vert collectif

	Inhalation air extérieur sans recouvrement						Inhalation de poussière (intérieur et extérieur)						Ingestion de sol et poussière en intérieur et en extérieur					
	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil non cancérogènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte Travailleur	Adulte de passage	Enfant de passage
SUBSTANCES																		
METAUX ET METALLOIDES																		
Mercure (Hg)	non calculé	non calculé	non calculé	5,97E-07	5,60E-07	8,40E-07	non calculé	non calculé	non calculé	7,38E-07	2,00E-05	2,00E-05	non calculé	non calculé	non calculé	2,65E-05	1,86E-04	1,35E-03
Zinc (Zn)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	6,48E-05	4,57E-04	3,31E-03
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES																		
toluène	non calculé	non calculé	non calculé	2,76E-07	2,58E-07	3,87E-07	non calculé	non calculé	non calculé	9,44E-12	2,55E-10	2,55E-10	non calculé	non calculé	non calculé	2,29E-07	1,62E-06	1,17E-05
M+p-Xylène	non calculé	non calculé	non calculé	2,71E-05	2,54E-05	3,81E-05	non calculé	non calculé	non calculé	2,74E-09	7,41E-08	7,41E-08	non calculé	non calculé	non calculé	1,40E-07	9,89E-07	7,17E-06
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH																		
Aliphatic nC>5-nC6	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>6-nC8	non calculé	non calculé	non calculé	1,86E-05	1,74E-05	2,61E-05	non calculé	non calculé	non calculé	2,24E-10	6,05E-09	6,05E-09	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	non calculé	7,05E-05	6,61E-05	9,92E-05	non calculé	non calculé	non calculé	8,66E-09	2,34E-07	2,34E-07	non calculé	non calculé	non calculé	8,86E-06	6,25E-05	4,53E-04
Aliphatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	non calculé	8,34E-06	7,82E-06	1,17E-05	non calculé	non calculé	non calculé	1,06E-08	2,87E-07	2,87E-07	non calculé	non calculé	non calculé	1,09E-05	7,67E-05	5,56E-04
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	non calculé	2,22E-06	2,08E-06	3,12E-06	non calculé	non calculé	non calculé	3,64E-08	9,85E-07	9,85E-07	non calculé	non calculé	non calculé	3,73E-05	2,63E-04	1,91E-03
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	7,18E-05	5,06E-04	3,67E-03
Aromatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	non calculé	2,60E-04	2,44E-04	3,66E-04	non calculé	non calculé	non calculé	3,25E-08	8,78E-07	8,78E-07	non calculé	non calculé	non calculé	2,22E-05	1,56E-04	1,13E-03
Aromatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	non calculé	1,89E-05	1,77E-05	2,66E-05	non calculé	non calculé	non calculé	2,28E-08	6,16E-07	6,16E-07	non calculé	non calculé	non calculé	1,55E-05	1,10E-04	7,94E-04
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	non calculé	3,86E-06	3,62E-06	5,43E-06	non calculé	non calculé	non calculé	6,07E-08	1,64E-06	1,64E-06	non calculé	non calculé	non calculé	4,15E-05	2,92E-04	2,12E-03
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	3,84E-05	2,70E-04	1,96E-03
Aromatic nC>21-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS																		
tétrachloroéthylène (PCE)	3,67E-09	3,27E-09	7,36E-10	5,87E-05	5,51E-05	8,26E-05	1,65E-13	4,24E-12	6,36E-13	2,64E-09	7,13E-08	7,13E-08	1,30E-10	8,70E-10	9,45E-10	7,71E-06	5,44E-05	3,94E-04
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES																		
Cétones																		
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	non calculé	non calculé	non calculé	4,66E-08	4,37E-08	6,55E-08	non calculé	non calculé	non calculé	4,22E-12	1,14E-10	1,14E-10	non calculé	non calculé	non calculé	1,44E-08	1,01E-07	7,35E-07
Ethers de glycol et alcools																		
méthanol	non calculé	non calculé	non calculé	2,42E-06	2,26E-06	3,40E-06	non calculé	non calculé	non calculé	1,06E-09	2,87E-08	2,87E-08	non calculé	non calculé	non calculé	1,09E-06	7,65E-06	5,54E-05
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS																		
ANIONS ET CATIONS																		
TOTAL	3,67E-09	3,27E-09	7,36E-10	0,0005	0,0004	0,0007	5,58E-12	1,44E-10	2,15E-11	9,3E-07	0,00003	0,00003	2,07E-09	1,39E-08	1,51E-08	0,0004	0,003	2,19E-02

Habitations individuelles avec potagers

	Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur des lieux de vie				Inhalation air intérieur - VOLASOIL - air intérieur des lieux de vie				Inhalation air intérieur - Bakker - air intérieur des lieux de vie				Inhalation air extérieur sans recouvrement				Inhalation de poussière (intérieur et extérieur)				Ingestion de sol et poussière en intérieur et en extérieur				Ingestion de végétaux contaminés depuis les sols			
	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident
SUBSTANCES																												
METAUX ET METALLOIDES																												
Mercure (Hg)	non calculé	non calculé	5,14E-03	5,14E-03	non calculé	non calculé	2,32E-04	2,32E-04	non calculé	non calculé	9,52E-03	9,52E-03	non calculé	non calculé	5,82E-07	8,74E-07	non calculé	non calculé	1,99E-05	1,99E-05	non calculé	non calculé	1,86E-04	1,35E-03	non calculé	non calculé	1,16E-05	1,88E-05
Zinc (Zn)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	4,57E-04	3,31E-03	non calculé	non calculé	2,85E-05	4,61E-05
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES																												
toluène	non calculé	non calculé	7,00E-04	7,00E-04	non calculé	non calculé	2,65E-05	2,65E-05	non calculé	non calculé	1,36E-03	1,36E-03	non calculé	non calculé	1,55E-07	2,32E-07	non calculé	non calculé	2,54E-10	2,54E-10	non calculé	non calculé	1,62E-06	1,17E-05	non calculé	non calculé	1,01E-07	1,63E-07
M+p-Xylène	non calculé	non calculé	1,20E-01	1,20E-01	non calculé	non calculé	4,49E-03	4,49E-03	non calculé	non calculé	2,19E-01	2,19E-01	non calculé	non calculé	2,27E-05	3,40E-05	non calculé	non calculé	7,37E-08	7,37E-08	non calculé	non calculé	9,89E-07	7,17E-06	non calculé	non calculé	6,17E-08	9,99E-08
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH																												
Aliphatic nC>5-nC6	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>6-nC8	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	1,11E-02	1,11E-02	non calculé	non calculé	4,31E-04	4,31E-04	non calculé	non calculé	2,28E-02	2,28E-02	non calculé	non calculé	2,74E-06	4,11E-06	non calculé	non calculé	9,62E-08	9,62E-08	non calculé	non calculé	2,58E-05	1,87E-04	non calculé	non calculé	1,61E-06	2,61E-06
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	2,96E-03	2,96E-03	non calculé	non calculé	1,15E-04	1,15E-04	non calculé	non calculé	6,07E-03	6,07E-03	non calculé	non calculé	7,28E-07	1,09E-06	non calculé	non calculé	3,30E-07	3,30E-07	non calculé	non calculé	8,85E-05	6,42E-04	non calculé	non calculé	5,52E-06	8,94E-06
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1,70E-04	1,24E-03	non calculé	non calculé	1,06E-05	1,72E-05
Aromatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	0,00E+00	0,00E+00	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	2,52E-02	2,52E-02	non calculé	non calculé	9,76E-04	9,76E-04	non calculé	non calculé	5,17E-02	5,17E-02	non calculé	non calculé	6,22E-06	9,33E-06	non calculé	non calculé	2,06E-07	2,06E-07	non calculé	non calculé	3,69E-05	2,67E-04	non calculé	non calculé	2,30E-06	3,72E-06
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	5,12E-03	5,12E-03	non calculé	non calculé	1,99E-04	1,99E-04	non calculé	non calculé	1,05E-02	1,05E-02	non calculé	non calculé	1,27E-06	1,90E-06	non calculé	non calculé	5,50E-07	5,50E-07	non calculé	non calculé	9,84E-05	7,13E-04	non calculé	non calculé	6,13E-06	9,93E-06
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	9,10E-05	6,59E-04	non calculé	non calculé	5,67E-06	9,19E-06
Aromatic nC>21-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS																												
tétrachloroéthylène (PCE)	1,77E-06	2,66E-07	2,98E-02	2,98E-02	6,61E-08	9,92E-09	1,11E-03	1,11E-03	3,25E-06	4,88E-07	5,47E-02	5,47E-02	3,41E-10	7,66E-11	5,73E-06	8,60E-06	4,21E-13	6,32E-14	7,09E-09	7,09E-09	8,70E-11	9,45E-11	5,44E-06	3,94E-05	5,42E-12	1,32E-12	3,39E-07	5,49E-07
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES																												
Cétones																												
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	non calculé	non calculé	8,08E-05	8,08E-05	non calculé	non calculé	3,47E-06	3,47E-06	non calculé	non calculé	1,94E-04	1,94E-04	non calculé	non calculé	2,62E-08	3,93E-08	non calculé	non calculé	1,13E-10	1,13E-10	non calculé	non calculé	1,01E-07	7,35E-07	non calculé	non calculé	6,33E-09	1,02E-08
Ethers de glycol et alcools																												
méthanol	non calculé	non calculé	2,06E-03	2,06E-03	non calculé	non calculé	1,39E-04	1,39E-04	non calculé	non calculé	7,62E-03	7,62E-03	non calculé	non calculé	1,36E-06	2,04E-06	non calculé	non calculé	2,85E-08	2,85E-08	non calculé	non calculé	7,65E-06	5,54E-05	non calculé	non calculé	4,77E-07	7,72E-07
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS																												
ANIONS ET CATIONS																												
TOTAL	1,77E-06	2,66E-07	0,20	0,20	6,61E-08	9,92E-09	0,008	0,008	3,25E-06	4,88E-07	0,38	0,38	3,41E-10	7,66E-11	0,00004	0,00006	1,39E-10	2,08E-11	0,00002	0,00002	1,31E-08	1,43E-08	0,002	1,26E-02	8,19E-10	1,99E-10	0,0001	0,0002

Logement collectif avec sous-sol

	Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur du sous- sol ou parking					Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur des lieux de vie					Inhalation air intérieur - Bakker - air intérieur du parking ou du sous-sol					Inhalation air intérieur - Bakker - air intérieur des lieux de vie					Inhalation air extérieur avec recouvrement			
	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident		Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident		Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident		Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident		Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident
SUBSTANCES																								
METEAUX ET METALLOIDES																								
Mercure (Hg)	non calculé	non calculé	6,57E-07	6,57E-07		non calculé	non calculé	7,62E-06	7,62E-06		non calculé	non calculé	5,34E-06	5,34E-06		non calculé	non calculé	6,19E-05	6,19E-05		non calculé	non calculé	8,15E-08	1,22E-07
Zinc (Zn)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES																								
toluène	non calculé	non calculé	1,16E-07	1,16E-07		non calculé	non calculé	1,35E-06	1,35E-06		non calculé	non calculé	1,32E-06	1,32E-06		non calculé	non calculé	1,53E-05	1,53E-05		non calculé	non calculé	3,76E-08	5,64E-08
M+p-Xylène	non calculé	non calculé	1,41E-05	1,41E-05		non calculé	non calculé	1,63E-04	1,63E-04		non calculé	non calculé	1,43E-04	1,43E-04		non calculé	non calculé	1,66E-03	1,66E-03		non calculé	non calculé	3,70E-06	5,55E-06
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH																								
Aliphatic nC>5-nC6	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>6-nC8	non calculé	non calculé	6,87E-06	6,87E-06		non calculé	non calculé	7,97E-05	7,97E-05		non calculé	non calculé	8,47E-05	8,47E-05		non calculé	non calculé	9,83E-04	9,83E-04		non calculé	non calculé	2,54E-06	3,81E-06
Aliphatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	2,61E-05	2,61E-05		non calculé	non calculé	3,02E-04	3,02E-04		non calculé	non calculé	3,21E-04	3,21E-04		non calculé	non calculé	3,73E-03	3,73E-03		non calculé	non calculé	9,64E-06	1,45E-05
Aliphatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	3,08E-06	3,08E-06		non calculé	non calculé	3,58E-05	3,58E-05		non calculé	non calculé	3,80E-05	3,80E-05		non calculé	non calculé	4,41E-04	4,41E-04		non calculé	non calculé	1,14E-06	1,71E-06
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	8,19E-07	8,19E-07		non calculé	non calculé	9,50E-06	9,50E-06		non calculé	non calculé	1,01E-05	1,01E-05		non calculé	non calculé	1,17E-04	1,17E-04		non calculé	non calculé	3,03E-07	4,54E-07
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	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	9,60E-05	9,60E-05		non calculé	non calculé	1,11E-03	1,11E-03		non calculé	non calculé	1,18E-03	1,18E-03		non calculé	non calculé	1,37E-02	1,37E-02		non calculé	non calculé	3,55E-05	5,33E-05
Aromatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	6,98E-06	6,98E-06		non calculé	non calculé	8,09E-05	8,09E-05		non calculé	non calculé	8,62E-05	8,62E-05		non calculé	non calculé	1,00E-03	1,00E-03		non calculé	non calculé	2,59E-06	3,88E-06
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	1,42E-06	1,42E-06		non calculé	non calculé	1,64E-05	1,64E-05		non calculé	non calculé	1,75E-05	1,75E-05		non calculé	non calculé	2,03E-04	2,03E-04		non calculé	non calculé	5,27E-07	7,90E-07
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	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	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé		non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS																								
tétrachloroéthylène (PCE)	1,77E-10	2,65E-11	2,97E-06	2,97E-06		2,05E-09	3,07E-10	3,45E-05	3,45E-05		1,82E-09	2,74E-10	3,07E-05	3,07E-05		2,12E-08	3,17E-09	3,56E-04	3,56E-04		4,77E-11	1,07E-11	8,03E-07	1,20E-06
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES																								
Cétones																								
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	non calculé	non calculé	1,24E-08	1,24E-08		non calculé	non calculé	1,44E-07	1,44E-07		non calculé	non calculé	1,88E-07	1,88E-07		non calculé	non calculé	2,18E-06	2,18E-06		non calculé	non calculé	6,20E-09	9,30E-09
Ethers de glycol et alcools																								
méthanol	non calculé	non calculé	2,92E-07	2,92E-07		non calculé	non calculé	3,38E-06	3,38E-06		non calculé	non calculé	7,41E-06	7,41E-06		non calculé	non calculé	8,60E-05	8,60E-05		non calculé	non calculé	2,01E-07	3,01E-07
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS																								
ANIONS ET CATIONS																								
TOTAL	1,77E-10	2,65E-11	0,0002	0,0002	0,00E+00	2,05E-09	3,07E-10	0,002	0,002		1,82E-09	2,74E-10	0,002	0,002		2,12E-08	3,17E-09	2,24E-02	2,24E-02		4,77E-11	1,07E-11	0,00006	0,00009



Logement collectif sans sous-sol

	Inhalation air intérieur - J&E - air intérieur des lieux de vie				Inhalation air intérieur - VOLASOIL - 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 Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident
SUBSTANCES																
METEAUX ET METALLOIDES																
Mercure (Hg)	non calculé	non calculé	5,61E-04	5,61E-04	non calculé	non calculé	1,33E-05	1,33E-05	non calculé	non calculé	2,07E-03	2,07E-03	non calculé	non calculé	1,58E-07	2,38E-07
Zinc (Zn)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES																
toluène	non calculé	non calculé	2,19E-04	2,19E-04	non calculé	non calculé	2,63E-06	2,63E-06	non calculé	non calculé	4,39E-04	4,39E-04	non calculé	non calculé	7,31E-08	1,10E-07
M+p-Xylène	non calculé	non calculé	2,26E-02	2,26E-02	non calculé	non calculé	2,99E-04	2,99E-04	non calculé	non calculé	4,92E-02	4,92E-02	non calculé	non calculé	7,20E-06	1,08E-05
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH																
Aliphatic nC>5-nC6	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>6-nC8	non calculé	non calculé	1,43E-02	1,43E-02	non calculé	non calculé	1,63E-04	1,63E-04	non calculé	non calculé	2,76E-02	2,76E-02	non calculé	non calculé	4,94E-06	7,41E-06
Aliphatic nC>8-nC10	non calculé	non calculé	5,41E-02	5,41E-02	non calculé	non calculé	6,19E-04	6,19E-04	non calculé	non calculé	1,05E-01	1,05E-01	non calculé	non calculé	1,87E-05	2,81E-05
Aliphatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	6,40E-03	6,40E-03	non calculé	non calculé	7,32E-05	7,32E-05	non calculé	non calculé	1,24E-02	1,24E-02	non calculé	non calculé	2,22E-06	3,33E-06
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	1,70E-03	1,70E-03	non calculé	non calculé	1,95E-05	1,95E-05	non calculé	non calculé	3,29E-03	3,29E-03	non calculé	non calculé	5,89E-07	8,84E-07
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	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	2,00E-01	2,00E-01	non calculé	non calculé	2,28E-03	2,28E-03	non calculé	non calculé	3,86E-01	3,86E-01	non calculé	non calculé	6,91E-05	1,04E-04
Aromatic nC>10-nC12	non calculé	non calculé	1,45E-02	1,45E-02	non calculé	non calculé	1,66E-04	1,66E-04	non calculé	non calculé	2,81E-02	2,81E-02	non calculé	non calculé	5,02E-06	7,54E-06
Aromatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	2,96E-03	2,96E-03	non calculé	non calculé	3,37E-05	3,37E-05	non calculé	non calculé	5,71E-03	5,71E-03	non calculé	non calculé	1,02E-06	1,53E-06
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	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	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS																
tétrachloroéthylène (PCE)	2,89E-07	4,34E-08	4,87E-03	4,87E-03	3,78E-09	5,67E-10	6,36E-05	6,36E-05	6,23E-07	9,35E-08	1,05E-02	1,05E-02	9,28E-11	2,09E-11	1,56E-06	2,34E-06
SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES																
Cétones																
Acétone (diméthylcétone - 2-propanone)	non calculé	non calculé	3,23E-05	3,23E-05	non calculé	non calculé	3,44E-07	3,44E-07	non calculé	non calculé	5,94E-05	5,94E-05	non calculé	non calculé	1,18E-08	1,77E-08
Ethers de glycol et alcools																
méthanol	non calculé	non calculé	1,18E-03	1,18E-03	non calculé	non calculé	1,37E-05	1,37E-05	non calculé	non calculé	2,39E-03	2,39E-03	non calculé	non calculé	2,85E-07	4,27E-07
POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS																
ANIONS ET CATIONS																
TOTAL	2,89E-07	4,34E-08	0,32	0,32	3,78E-09	5,67E-10	0,004	0,004	6,23E-07	9,35E-08	0,63	0,63	9,28E-11	2,09E-11	0,0001	0,0002

## Annexe 8. Glossaire

Cette annexe contient 2 pages.

**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.