



# VILLE DE FUMEL

FUMEL (47)

## Ancien site du crassier de la fonderie Plan de gestion






Rapport RSSPSO00139-02

Août 2012



# VILLE DE FUMEL

## Plan de gestion du site de l'ancien crassier

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport provisoire	Juin 2011	01	B.BOYAVAL /A.BIVER		J. BLOIS		F. TRONEL	
Rapport complété avec le choix scénario d'aménagement	Août 2012	02	A.BIVER/A.JOANDOS		J.BLOIS		F. TRONEL	
		03						
		04						

Numéro de rapport :	RSSPSO00139-02
Numéro d'affaire :	A210744
N° de contrat :	CBXZ080841
Domaine technique :	SP003
Mots clé du thésaurus	POLLUTION DES SOLS PLAN DE GESTION

BURGEAP AGENCE SUD OUEST

Rue des Terres Neuves – Bâtiment 51

33130 BEGLES

Téléphone : 33(0)5.56.49.38.22

Télécopie : 33(0)5.56.49.89.69

e-mail : [agence.de.bordeaux@burgeap.fr](mailto:agence.de.bordeaux@burgeap.fr)

RSSPSO00139-02/CBXZ080841	
BB/AJ/ABI - JBL - FT	
Août 2012	Page 2

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Contexte et objectifs</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Synthèse des études disponibles</b>	<b>7</b>
2.1	Rappel du contexte environnemental	7
2.2	Rappel de l'historique industriel	7
2.3	Synthèse des études environnementales	8
2.4	Investigations réalisées	8
2.5	Synthèse de la qualité des sols	8
2.6	Synthèse de la qualité des eaux souterraines	8
2.7	Synthèse de l'EQRS	9
<b>3</b>	<b>Principe généraux du plan de gestion</b>	<b>10</b>
3.1	Réaménagement envisagé	10
3.2	Rappel sur la gestion des pollutions sur site	10
3.3	Impact sanitaire sur le projet	10
3.4	Impact financier sur le projet	11
3.5	Schéma conceptuel initial	11
3.6	Principe des mesures de gestion proposées	12
<b>4</b>	<b>Action visant au traitement des sources de pollution</b>	<b>12</b>
4.1	Traitement des sols	12
4.2	Traitement des eaux souterraines	15
<b>5</b>	<b>Actions sur les voies de transfert</b>	<b>15</b>
5.1	Mesures de protection des sols	15
5.2	Mesures visant les eaux souterraines	15
5.3	Mesures concernant l'aménagement des réseaux enterrés	15
5.4	Mesures concernant la gestion des terres	15
5.5	Mesures de protection des travailleurs	16
5.6	Contrôle des mesures de gestion	16
<b>6</b>	<b>Revue des techniques disponibles pour la gestion des sources</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Bilan coûts – Avantages</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Projet retenu par la Ville de Fumel</b>	<b>26</b>
8.1	Description du scénario d'aménagement	26
8.2	Phasage du projet	27
<b>9</b>	<b>Solutions de gestion retenues par la Ville de Fumel</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>Estimation des coûts</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>Mise en œuvre des servitudes et restrictions d'usage</b>	<b>29</b>
11.1	Recouvrement des sols	29
11.2	Restrictions relatives à l'usage du site	29
11.3	Restriction d'usage des eaux souterraines	29
11.4	Éléments nécessaires à l'information	29
<b>12</b>	<b>Analyse des risques résiduels prédictive (ARR)</b>	<b>30</b>
12.1	Schéma conceptuel avec mise en place des mesures de gestion	30
12.2	Composés à prendre en compte	34
12.3	Évaluation des concentrations dans les milieux d'exposition	39
12.4	Évaluation de l'exposition par inhalation	43
12.5	Quantification des risques sanitaires	43
12.6	Incertitudes et sensibilité	48

<b>13 Conclusion</b>	<b>55</b>
<b>FIGURES</b>	<b>56</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>57</b>

## TABLEAUX

Tableau 1 : Estimation des volumes de matériaux présentant un risque sanitaire non acceptable et dont une gestion appropriée est recommandée	13
Tableau 2 : Estimation des volumes de matériaux non admissibles en ISDI et ne présentant pas de risque inacceptable et dont une gestion appropriée est recommandée	14
Tableau 3 : Liste des ISDI autorisées à recevoir des matériaux inertes en Lot et Garonne	18
Tableau 4 : Liste des ISDND du Lot et Garonne	18
Tableau 5 : Liste des ISDD les plus proches du site	19
Tableau 6 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion pour les matériaux renfermant des polluants volatils (secteurs A, B, C)	24
Tableau 7 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion pour les matériaux non admissibles en ISDI et ne présentant pas de risque inacceptable et dont une gestion appropriée est recommandée (secteurs D, E, F, G, H, I, J)	25
Tableau 8 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion	28
Tableau 9 : Budget espace-temps des cibles considérées	32
Tableau 10 : Voies d'exposition retenues pour l'ensemble des scénarios	33
Tableau 11 : Choix des substances pour l'ARR	35
Tableau 12 : Concentrations retenues pour l'ARR	37
Tableau 13 : Valeurs toxicologiques de référence retenues pour l'ARR	38
Tableau 14 : Paramètres des sols et de la nappe	39
Tableau 15 : Paramètres des aménagements	40
Tableau 16 : Concentrations de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur	42
Tableau 17 : Risques sanitaires – Scénario « Espaces verts »	44
Tableau 18 : Risques sanitaires – Scénario « Bâtiment de services »	45
Tableau 18 : Risques sanitaires – Scénario « Aire de stationnement ou garage »	46
Tableau 20 : Risques sanitaires – Scénario « Habitation »	46
Tableau 21 : Risques sanitaires – Cumul des scénarios	47

<b>FIGURES</b>		<b>Version</b>
Figure n°1	Localisation de la zone d'étude	
Figure n°2	Contexte géologique	
Figure n°3	Résultats des investigations réalisées sur les sols et les eaux souterraines	
Figure n°4	Schéma conceptuel initial	
Figure n°5	Localisation des secteurs à traiter	
Figure n°6	Localisation des filières de traitement	
Figure n°7	Esquisse du projet d'aménagement	
Figure n°8	Schéma conceptuel du projet d'aménagement avec mesures de gestion	

<b>ANNEXES</b>
- Annexe 1 - Schémas de confinements
- Annexe 2 - Plan foncier pour le projet d'aménagement
- Annexe 3 - Phasage du projet d'aménagement
- Annexe 4 - Concentrations dans les sols et choix des composés
- Annexe 5 - Valeurs toxicologiques de référence
- Annexe 6 - Hypothèses et détails des calculs des risques sanitaires
- Annexe 7 - Résultats des calculs de risque sanitaire
- Annexe 8 - Limites d'utilisation des études de sols

## 1 Contexte et objectifs

La ville de Fumel (47) souhaite réhabiliter un ancien crassier d'origine industrielle situé à l'entrée sud de la commune.

Le projet concerne l'aménagement d'immeubles de logements collectifs, de garages individuels fermés, d'espaces verts publics et de bâtiments commerciaux et artisanaux.

Le site, actuellement en friche (aucun bâtiment), a accueilli un crassier lié à l'activité de fonderie d'une ancienne usine métallurgique aujourd'hui démantelée.

Une étude historique et plusieurs diagnostics de la qualité des sols et des eaux souterraines ont été réalisés. A l'issue de ces investigations, une pollution des sols a été identifiée.

Le plan de gestion présenté dans le présent document, s'attache à décrire la stratégie de gestion à mettre en œuvre sur ce site afin d'assurer la compatibilité entre les pollutions résiduelles et le projet d'aménagement envisagé et d'en évaluer les coûts.

Le présent document constitue le plan de gestion relatif aux grandes lignes de projet d'aménagement portées par la commune de FUMEL.

Le plan de gestion est établi conformément aux circulaires du 8 février 2007 et aborde successivement :

- la synthèse des données environnementales ;
- les mesures de gestion adoptées en vue de traiter les sources de pollution et de maîtriser l'impact des pollutions résiduelles ;
- le bilan coût-avantages ;
- l'analyse des risques résiduels (ARR) prédictive présentant l'acceptabilité sanitaire du projet sur la base des mesures de gestion retenues par la ville de Fumel.

## 2 Synthèse des études disponibles

### 2.1 Rappel du contexte environnemental

#### 2.1.1 Localisation

La parcelle concernée occupe une superficie totale de l'ordre de 50 000 m<sup>2</sup> (parcelles cadastrées n°371 et n° 56 de la section AD) située à l'entrée sud de la commune de FUMEL (47). La situation du projet est précisée sur le plan de la **figure 1**.

#### 2.1.2 Contexte géologique

La structure géologique locale déterminée à partir de la carte géologique de « Fumel », complétée par nos données bibliographiques et les sondages réalisés sur le site, est la suivante (cf. **figure 2**) :

- remblais sablo limoneux renfermant des déchets de fonderie jusqu'à 0,70 m à 1,40 m de profondeur (localement des cendres de pyrites de couleurs violettes-lie de vin entre 1 et 2 m de profondeur) ;
- limons et sables ocre de la « très basse terrasse du Lot » (Würm) sur une épaisseur de 1 à 5 mètres en moyenne ;
- calcaires blancs sur une épaisseur de 30 à 40 mètres (Turonien inférieur).

#### 2.1.3 Contexte hydrogéologique

Au droit du site, la première nappe est la nappe phréatique des alluvions du Lot exploitée notamment pour des usages particuliers en aval hydraulique du site (premier puits à 60 mètres des limites du site).

Le niveau de cette nappe a été mesuré entre 3,50 à 4 m de profondeur.

## 2.2 Rappel de l'historique industriel

La zone du crassier est utilisée depuis 1930 environ.

Le crassier a toujours été utilisé pour le stockage des intrants de l'usine proche (minerai, ferraille (d'origine interne et externe), pyrite, minerai aggloméré) et de décharge pour les déchets (fines de fontes impures, ratés de coulées de fonte, déchets de moules (sables de fonderie, résines formo-phénoliques)).

Il ne subsiste aucune activité industrielle au droit du périmètre étudié.

La principale source potentielle de pollution identifiée au terme de l'étude historique est un ancien remblai d'origine industrielle qui couvre la totalité du site et dans lequel ont été détectés des métaux et métalloïdes, des hydrocarbures totaux, des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des phénols à des concentrations anormales.

## 2.3 Synthèse des études environnementales

Le site étudié a fait l'objet de plusieurs études environnementales :

- 1995 : SADEFA - rapport BURGEAP Ras1773/A4409/C395135 intitulé « Diagnostic de pollution » ;
- novembre 2007 : PREFECTURE 47 – rapport BURGEAP RBX556/A19745/CBXZ071174 intitulé « Pose de piézomètres, prélèvements et analyses d'eau souterraine » ;
- avril 2008 : PREFECTURE 47 – rapport BURGEAP RBX576/A19745/CBXZ071174 intitulé « prélèvement et analyse des eaux souterraines - campagne des hautes eaux 2008 » ;
- novembre 2008 : VILLE DE FUMEL - rapport BURGEAP RBX632/A21074/CBX080841 intitulé « Diagnostic de pollution synthèse de l'état de pollution du site et schéma conceptuel » ;
- juin 2009 : VILLE DE FUMEL - rapport BURGEAP RBX721/A21074/CBX090402 intitulé « Contrôle de la qualité des eaux souterraines - campagne des hautes eaux 2009 » ;
- novembre 2009 : VILLE DE FUMEL – rapport BURGEAP RBX759/A21074/CBXZ080841 intitulé « EQRS – outils d'aide à la décision ».

## 2.4 Investigations réalisées

Depuis 2007, les investigations suivantes ont été menées :

- 79 sondages à 2 m de profondeur ont été réalisés au droit du site et des remblais potentiellement polluants identifiés au cours de l'étude historique ;
- 3 piézomètres ont été installés afin de capter la nappe phréatique (1 amont et 2 aval).

L'ensemble des sondages et piézomètres réalisés est reporté en **figure 3**.

## 2.5 Synthèse de la qualité des sols

Les analyses réalisées sur les sols ont révélé :

- la présence généralisée de remblais de crasses de fonderie sur l'ensemble du site ;
- ces remblais sont impactés dès la surface par des métaux et métalloïdes (majoritairement cadmium, cuivre, plomb et zinc et dans une moindre mesure arsenic, chrome, mercure et nickel), des hydrocarbures totaux, des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des phénols ; à noter que des hydrocarbures volatils ont été mis en évidence au droit de quelques points de sondages ;
- la présence d'une couche de remblais contenant des cendres de pyrite dans le quart nord-est du site à partir d'environ 1 mètre de profondeur sous les autres remblais ; cet horizon présente de fortes teneurs en éléments traces métalliques (arsenic, cadmium, cuivre, mercure, plomb, zinc et plus ponctuellement chrome et nickel) ;
- le terrain naturel constitué de limons plus ou moins sableux ou argileux a été rencontré dans certains sondages à partir de 0,7 mètre de profondeur. Cet horizon apparaît contaminé en métaux (cuivre et zinc essentiellement) par les remblais sus-jacents.

## 2.6 Synthèse de la qualité des eaux souterraines

Les investigations ont permis de détecter la présence de traces d'arsenic et de phénols dans les eaux souterraines lors des campagnes de 2007 et 2008 à des teneurs légèrement supérieures au seuil « eau destinée à la consommation humaine » (arrêté de janvier 2007).

Cependant, les analyses réalisées entre octobre 2007 et avril 2009 semblent montrer une atténuation des concentrations en arsenic notamment. Les teneurs mesurées en avril 2009 (voir figure 3.3) sont toutes inférieures au seuil des eaux destinées à la consommation humaine.

La nappe phréatique s'écoule en direction du sud-ouest avec un gradient faible d'environ 1 à 2 % (figure 3.3).

## 2.7 Synthèse de l'EQRS

La réalisation des scénarios « espaces verts », « bâtiment de service », « garage fermé » et « habitation à l'étage » ne nécessite pas la dépollution du site, les risques sanitaires étant acceptables mais sont soumis à certaines contraintes.

Pour le scénario « habitation de plain- pied », une dépollution des terrains reconnus impactés (mailles 9, 72, 79) ou une implantation en dehors de ces secteurs avec contrôle préalable de la qualité des terrains au droit de ce secteur projeté sera nécessaire.

### Synthèse des contraintes et recommandations par scénario (autres que les hypothèses prises en compte)

	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3	SCENARIO 4 Logements collectifs	
	Espaces verts	Bâtiment de services	Garage fermé	Habitation de plain- pied	Habitation à l'étage
Contrainte : couverture des sols en surface (ou excavation des sols impactés)	Oui étant donnée l'hétérogénéité des remblais de surface			Oui	
Contrainte : excavation des sols impactés par des composés volatils				Oui	

Ces contraintes viennent nécessairement en complément des mesures prises en compte au stade des hypothèses de calcul qui sont rappelées ci-après et applicables pour chacun des scénarii :

- absence de jardin individuel et potager,
- canalisations d'amené d'eau potable imperméables aux polluants et/ou en tranchée de remblai sain,
- pas d'usage de la nappe,
- pas de terrassement et excavation (remise en surface éventuelle) des sols du crassier sans étude préalable.
- Bien que les risques sanitaires soient acceptables pour les espaces verts (avec la prise en compte des concentrations moyennes mesurées), compte tenu des variations de concentrations en polluants dans les sols de surface, une couverture des sols impactés en surface par une couche de terre végétale saine (au droit des espaces verts), un revêtement ou un dallage (au droit des voiries ou parkings extérieurs) a été recommandée.

### 3 Principe généraux du plan de gestion

Le plan gestion est établi « a priori » et de manière « générique » de façon à intégrer l'aspect pollution dès la conception de l'avant-projet.

L'objectif du plan de gestion est de déterminer les moyens à mettre en œuvre, d'une part, pour supprimer les sources de pollution lorsque cela est possible, et d'autre part, pour assurer la compatibilité entre les pollutions résiduelles et le projet d'aménagement du site.

Dans une logique d'assainissement des « zones sources » et dans l'optique d'une amélioration de l'état des milieux, la réglementation précise qu'indépendamment de tout risques sanitaires, les sources de pollution facilement accessibles devront être, autant que faire se peut, éliminées sur la base d'un bilan coût avantages dans le cadre d'un **plan de gestion** (circulaires au 8 février 2007).

Le présent plan de gestion est présenté dans l'état actuel des connaissances du site. Il pourra faire l'objet d'évolution en fonction des adaptations éventuelles du projet d'aménagement.

#### 3.1 Réaménagement envisagé

Le plan de gestion concerne le réaménagement du site pour un objectif d'usage d'espaces verts publics, de bâtiments commerciaux et artisanaux, d'immeubles de logements collectifs et de garages individuels fermés.

#### 3.2 Rappel sur la gestion des pollutions sur site

La présence de la pollution et sa nature pourraient avoir deux conséquences principales sur un projet d'aménagement :

- un impact sanitaire potentiel vis-à-vis des futurs occupants,
- un impact financier lié au coût de traitement des terres impactées.

#### 3.3 Impact sanitaire sur le projet

Nous rappelons qu'un risque sanitaire implique la présence concomitante des trois éléments suivants :

- une source de pollution,
- un mode de transfert vers et dans les milieux,
- une cible.

Dès lors qu'un de ces facteurs n'existe pas, le risque n'est pas à prendre en compte et l'évaluation des risques potentiels, pour le milieu et l'usage donnés, est sans objet.

Concernant l'impact sanitaire de la pollution pour les futurs occupants, il faut distinguer les composés non volatils et volatils.

##### 3.3.1 Composés non volatils ou faiblement volatils

Dans la famille des composés pas ou peu volatils (métaux lourds, HAP excepté le naphtalène), plusieurs composés métalliques et les HAP ont été mesurés au droit du site à des teneurs supérieures au bruit de fond.

Ces terres impactées par les métaux et les HAP ne présentent des risques sanitaires pour les futurs usagers que si elles sont directement accessibles, c'est à dire en surface où le contact direct avec les sols impactés est possible.

Ces risques peuvent être éliminés par une couverture de ces terres en surface soit par du béton (au droit des bâtiments), soit par de l'enrobé (au droit des voiries), soit par une couche de terre saine d'environ 30 cm d'épaisseur (au droit des espaces verts sans végétaux autoproduits). Une fois ces dispositions prises, la présence des métaux et HAP ne présentera pas de risques sanitaires pour les futurs occupants.

**Ainsi, si les terres impactées par ces composés peu volatils sont recouvertes, la voie de transfert sera coupée et les risques sanitaires supprimés.**

### 3.3.2 Composés volatils

Dans la famille des composés volatils (BTEX, naphtalène, HCT), le benzène, le xylène et le naphtalène ont été retrouvés à des concentrations significatives dans les sols au droit de trois sondages (9, 72 et 79).

Ces composés pourraient présenter des risques sanitaires par inhalation à l'intérieur de futurs bâtiments dans l'hypothèse d'un scénario d'aménagement d'habitation de plain-pied.

**Ces risques pourraient être éliminés en ne construisant aucun logement de plain-pied (ou habitations en étage) dans le périmètre des terres impactées par des composés volatils (EQRS rapport BURGEAP - RBX759/A21074/CBXZ080841).**

## 3.4 Impact financier sur le projet

Compte tenu de la nature et de la qualité des remblais, l'aménagement du site nécessitera la mise en œuvre d'un plan de gestion des terres impactées. Les mesures de gestion pourraient comprendre :

- le confinement des sols par recouvrement ;
- le traitement de remblais fortement impactés
  - par le benzène, le xylène et le naphtalène en filières agréées ;
  - par les métaux (cendres de pyrites notamment).
- la vérification des teneurs résiduelles en polluants en fonds de fouilles.

Cette stratégie permettra d'enlever les sources de pollution, de s'assurer de l'absence de risques sanitaires résiduels et de rendre le site compatible à l'usage prévu par le projet d'aménagement.

L'impact financier est détaillé au chapitre 7 (bilan coût avantage).

## 3.5 Schéma conceptuel initial

Les éléments recueillis au cours des différentes études de sols permettent d'établir le schéma conceptuel initial du site, c'est à dire de présenter et décrire les relations entre :

- les sources de pollutions identifiées,
- les milieux concernés et les modes de transferts,
- les cibles à protéger.

Le schéma conceptuel initial est présenté en **figure 4**. Il schématise le projet mis en place sur le site dans son état actuel (avant travaux de dépollution et confinement des sols impactés).

### 3.6 Principe des mesures de gestion proposées

Les études réalisées sur le site ont permis de dégager les grands principes d'une réhabilitation « générique » du site, à savoir :

- l'absence de logements de plain-pied dans le périmètre des sondages 9, 72 et 79 ou le traitement des terres impactées dans ces périmètres ;
- le confinement des pollutions non volatiles (métaux, métalloïdes et HAP (sauf naphtalène)) voire leur traitement lorsqu'elles présentent de fortes concentrations sur une emprise limitée.

## 4 Action visant au traitement des sources de pollution

### 4.1 Traitement des sols

Aucune source de pollution concentrée (terres imprégnées de produits, produits purs...) n'a été mise en évidence dans les sols lors des études environnementales menées sur ce site. D'après les études de sols, la réalisation des scénarios « espaces verts », « bâtiment de service », « garage fermé » et « habitation à l'étage » ne nécessite pas de dépollution du site, le risque étant acceptable.

Pour le scénario « habitat de plain-pied », une dépollution des terrains reconnus impactés par des éléments volatils (sondages S9, S72, S79), ou une implantation en dehors de ces secteurs sera nécessaire. Le volume concerné est présenté dans le tableau 1 suivant.

Etant donnée la présence ponctuelle de sols fortement impactés par les métaux (cendres de pyrites notamment), et l'usage de la nappe pour de l'arrosage par les particuliers autour du site, bien que le réseau actuel de piézomètres, restreint, ne montre pas d'impact sur la nappe, nous recommandons le traitement des secteurs présentant des teneurs en métaux dépassant le centile 95 des teneurs mesurées sur sites (voir **figure 5**) ; Ainsi les volumes concernés sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 1 : Estimation des volumes de matériaux présentant un risque sanitaire non acceptable et dont une gestion appropriée est recommandée**

Sous-zone (sondages concernés)	Surface concernée (m <sup>2</sup> )	Tranche impactée (m)	Volume impacté à extraire (m <sup>3</sup> )	Localisation et remarque(s)
<i>Matériaux renfermant du naphthalène</i>				
A (S9)	≈ 625	1,3 – 2,0	≈ 440	Maille au sud du site présence également de métaux
B (S72)	≈ 625	0 – 0,5	≈ 315	Maille au Nord-ouest du site présence également de xylènes et de métaux
<i>sous-total 1</i>	<i>≈ 1 250</i>	-	<i>≈ 755</i>	-
<i>Matériaux renfermant du benzène et naphthalène</i>				
C (S79)	≈ 625	1,1 – 2,0	≈ 565	Partie Nord Ouest du site. Présence également de xylènes, phénol (0,63 mg/kg) et d'ETM (Cd 1,2 mg/kg ; Pb 170 mg/kg et Zn 1800 mg/kg)
<i>sous-total 2</i>	<i>≈ 625</i>	-	<i>≈ 565</i>	-
<b>TOTAL</b>	<b>≈ 1 875</b>	-	<b>≈ 1 320</b>	-

Le volume total de matériaux à gérer est estimé à environ **1 500 m<sup>3</sup>** soit près de **2 700 tonnes**.

**Tableau 2 : Estimation des volumes de matériaux non admissibles en ISDI et ne présentant pas de risque inacceptable et dont une gestion appropriée est recommandée**

Sous-zone (sondages concernés)	Surface concernée (m <sup>2</sup> )	Tranche impactée (m)	Volume impactée à extraire (m <sup>3</sup> )	Localisation et remarque(s)	Métaux incriminants
<i>Matériaux renfermant uniquement des ETM</i>					
<b>D</b> (S17)	≈ 625	0,15 - 0,25	≈ 65	Maille au centre Est du site, en surface	Ni
<b>E</b> (S19)	≈ 625	0,1 - 0,5	≈ 250	Maille au centre Sud du site, en surface	Pb
<b>F</b> (S27)	≈ 625	0,2 - 1,3	≈ 690	Maille à l'Est du site, depuis surface	Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn
<b>G</b> (S39 et S42)	≈ 1 250	0,1 - 1,5	≈ 1 750	Partie Sud Ouest du site, en surface	Cd, Ni, Pb, Zn
<b>H</b> S50, S52, S53	≈ 1 875 à 3 125	≈ 1,0 - 1,7	≈ 1 320 à 2 190	Partie Nord du site (cendres de pyrites), en surface	Cd, Cu, Mn, Hg, Pb, Zn
<b>I</b> (S67)	≈ 625	0 - 0,6	≈ 375	Maille au nord du site, en surface	Ni
<b>J</b> (S70 et S71)	≈ 1 250	0,0 - 1,0	≈ 1 250	Partie au Nord Ouest du site, en surface	Ni, Zn
<i>sous-total</i>	<i>≈ 6 250 à 8 125</i>	-	<i>≈ 5 700 à 6 570</i>	-	
<b>TOTAL</b>	<b>≈ 6 250 à 8 125</b>	-	<b>≈ 5 700 à 6 570</b>	-	

Le volume total de matériaux à gérer est estimé à environ **6 600 m<sup>3</sup>** soit près de **11 900 tonnes** en considérant environ 3 500 m<sup>3</sup> de matériaux à extraire pour atteindre les matériaux souillés.

Au final, les volumes totaux suivants ont été estimés :

- matériaux renfermant uniquement du benzène et/ou naphtalène : 1 500 m<sup>3</sup> soit environ 2 700 t ;
- matériaux renfermant uniquement des ETM : 6 600 m<sup>3</sup> soit environ 11 900 t.

Le volume global de matériaux à gérer est estimé à environ **13 100 m<sup>3</sup>** soit près de **23 600 t** en considérant environ 5 000 m<sup>3</sup> de matériaux à extraire pour atteindre les matériaux souillés.

La localisation de ces zones impactées est présentée sur la **figure 5**.

## 4.2 Traitement des eaux souterraines

Aucune source de pollution concentrée (produits purs, flottants...) n'a été mise en évidence dans les eaux souterraines. Un impact sur la qualité des eaux souterraine en phénol et arsenic notamment a cependant été identifié lors des campagnes de 2007 et 2008. Néanmoins on constate une nette diminution des teneurs en métaux et indice phénols depuis 1995 et 2007, voire 2009.

Nous ne recommandons pas de traitement de la nappe. Cependant nous recommandons de poursuivre la surveillance des eaux souterraines a minima au droit du réseau existant.

## 5 Actions sur les voies de transfert

### 5.1 Mesures de protection des sols

Les mesures de gestion qui accompagnent la réalisation du projet concernent le recouvrement de l'ensemble des surfaces en respectant les modalités suivantes :

- pour les immeubles de logements collectifs, les bâtiments à usage commercial et artisanaux et les garages individuels fermés, la mise en place de dallage béton, de voiries (enrobé) ou de tout autre matériau qui assure le confinement des sols ;
- pour les espaces verts collectifs, la mise en place d'au moins 0,30 m de terres de substitution saine.

### 5.2 Mesures visant les eaux souterraines

En raison de l'impact de l'ancienne activité industrielle sur la qualité des eaux souterraines, l'usage de la nappe phréatique sera interdit au droit du site.

La surveillance de la qualité des eaux souterraine sera poursuivie (notamment en phase travaux), afin de s'assurer de la décroissance des teneurs en polluants observée depuis 1995 et 2007.

Par ailleurs, étant donné l'usage des eaux souterraines par des particuliers pour de l'arrosage en aval du site, nous recommandons :

- un contrôle de la qualité des eaux dans les puits de particuliers.

### 5.3 Mesures concernant l'aménagement des réseaux enterrés

Afin d'éviter la contamination des eaux potables acheminées à travers des canalisations mises en place dans le sous-sol du site, les canalisations d'adduction d'eau potable seront protégées et installées au sein d'un sablon propre suivant les règles de l'art.

### 5.4 Mesures concernant la gestion des terres

**L'excavation et le déplacement de terres polluées feront l'objet d'un suivi adapté et d'une traçabilité** (notamment en phase travaux : pieux éventuels...). Des analyses en fond de fouille permettront de vérifier la qualité des terres laissées en place.

En cas de découverte inopinée de pollution résiduelle (indice visuel ou olfactif) durant la phase de travaux, des mesures de sécurité appropriées et de traitement de la zone devront être mises en œuvre.

## 5.5 Mesures de protection des travailleurs

Les entreprises amenées à être en contact avec les sols de ce site respecteront les consignes suivantes.

Compte-tenu de la pollution constatée, le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et de sécurité du domaine du BTP a été préconisé lors de la réalisation du chantier, afin de réduire autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air, notamment : port de chaussures ou bottes de sécurité, port de gants adaptés aux contaminations de type métaux et hydrocarbures, si besoin port de masque respiratoire filtrant adapté au produit filtrant les gaz et les particules.

Par ailleurs, l'entreprise de travaux retenue devra tout mettre en œuvre pour limiter l'envol de poussières contaminées provoqué par les passages des engins et du matériel de terrassement.

## 5.6 Contrôle des mesures de gestion

Conformément aux prescriptions des circulaires ministérielles de février 2007 relatives à la réhabilitation des sites pollués, les travaux d'assainissement des sols seront contrôlés par un organisme extérieur.

Il conviendra d'assurer notamment :

- le contrôle de la qualité des sols constituant le fond et les bords de fouilles après extraction des terres souillées des secteurs des sondages S9, S72 et S79 en recherchant les paramètres suivants : benzène, xylène et naphtalène. Les concentrations résiduelles dans les sols seront, pour un scénario de logement de plain pied, inférieures à :
  - benzène et xylène : limite de quantification du laboratoire : 0,05 mg/kg ;
  - naphtalène : 0,44 mg/kg.
- le contrôle de l'épaisseur des terres d'apport au droit des futurs espaces verts ;
- le contrôle de l'origine des terres d'apport ;
- le contrôle de la qualité des terres rapportées en remblaiement des fouilles et en couverture des espaces verts en recherchant les paramètres pris en compte dans l'étude des risques sanitaires ;
- une traçabilité, le contrôle des bordereaux de suivi de déchets et plan de récolement.

## 6 Revue des techniques disponibles pour la gestion des sources

Les techniques de traitement sont de trois types :

- hors site : traitement dans une filière en dehors du site après excavation des matériaux ;
- in-situ : traitement des matériaux en place (sans excavation) ;
- sur site : traitement sur le site après excavation des matériaux.

Gestion des terres impactées par le benzène, xylènes et naphtalène (secteurs A, B, C) :

Du fait de la présence presque généralisée d'ETM associée à ces composés, donc du fait de la nature même des composés, pour la plupart peu volatils (hors benzène et naphtalène), peu solubles et peu bio-accessibles et devant les préconisations de l'EQRS (excavation des matériaux renfermant du benzène et/ou du naphtalène), il n'a pas été retenu de méthodes de traitement in-situ.

Gestion des terres impactées par les ETM :

L'EQRS n'a pas identifié de risque sanitaire par rapport aux différents scénarii d'aménagement, cependant l'hétérogénéité des remblais et la présence ponctuelle de fortes teneurs en ETM amène à recommander une

gestion des terres les plus impactées et une couverture de l'ensemble des remblais qui sera adaptée à l'usage envisagé (couverture de terre végétale saine, enrobé, dalle béton,...).

En conséquence, seules les possibilités de gestion des matériaux impactés par excavation et élimination hors site ou sur site ont été étudiées. Elles intègrent les techniques de confinement permettant une réduction des impacts potentiels sur la santé malgré une conservation des matériaux sur site.

Par ailleurs, parmi les techniques de traitement sur site, en raison des caractéristiques des matériaux impactés (nature, profondeur, etc.) et en particulier des volumes en jeux, certaines sont inadaptées (lavage des terres par solvants, stabilisation, phytoremédiation etc.), et ont donc été écartées.

Sont présentées dans les paragraphes suivants, les techniques les plus appropriées aux problématiques relevées sur site.

## 6.1 Traitement hors site

### 6.1.1 Principe

Les matériaux du site peuvent potentiellement, en fonction du type de substances et de leur concentration respective, être évacués vers les différentes filières suivantes :

- en enfouissement :
  - installations de stockage de déchets dangereux (ISDD), autrefois appelées centres d'enfouissement technique de classe 1 (CET 1 ou K1) ;
  - installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) auparavant nommées centres d'enfouissement technique de classe 2 (CET 2 ou K2) ;
  - installations de stockage de déchets inertes (ISDI), auparavant nommés centres d'enfouissement technique de classe 3 (CET 3 ou K3) ;
- en traitement thermique :
  - au sein d'usines d'incinération ou de cimenteries ;
  - au sein d'une unité de désorption thermique ;
- en traitement biologique : au sein de biocentres pour valorisation ultérieure des terres, en couverture de centre de stockage notamment.

Le principe de ces solutions de gestion est le suivant :

- excavation des matériaux souillés ;
- stockage provisoire sur une aire aménagée ;
- tri en fonction de l'exutoire (guidé par des mesures de terrain et/ou des analyses en laboratoire d'échantillons représentatifs de lots de matériaux) ;
- évacuation par transport routier vers l'installation de stockage ayant accepté au préalable de recevoir les matériaux ;
- remblaiement éventuel des zones excavées (en fonction du projet futur).

## 6.1.2 Exutoires potentiels

### → Installations de stockage de déchets inertes<sup>1</sup> (ISDI)

Le Plan Départemental pour la gestion des déchets du BTP en Lot et Garonne recensait 8 sites de stockage de déchets inertes (classe 3 ou remblaiement de carrières). Les caractéristiques des deux centres les plus proches sont rappelées dans le tableau suivant et leur localisation est présentée en **figure 6**.

**Tableau 3 : Liste des ISDI autorisées à recevoir des matériaux inertes en Lot et Garonne**

ISDI	Adresse	Distance au site	Exploitant
Déchèterie de RABIE	Rabié 47110 Sainte Livrade sur Lot	≈ 39 km	BIANCATO
TOVO SA	Château d'Allot 47550 BOE	≈ 61 km	TOVO

### → Installations de stockage de déchets non dangereux<sup>2</sup> (ISDND)

Selon le Plan Départemental pour l'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés (PDEDMA) du Lot et Garonne de mars 2003, plusieurs ISDND existent dans le Lot et Garonne, cependant plusieurs installations sont arrivées en fin de vie depuis 2003. Celles-ci sont rappelées dans le tableau suivant et leur localisation est présentée en **figure 6**.

**Tableau 4 : Liste des ISDND du Lot et Garonne**

ISDND	Adresse	Distance au site	Capacité
SMAV	L'Albié - Montflanquin (47)	≈ 20 km	29 000 t/an
SMICTOM Lot et Garonne Baise	Nicole (47)	≈ 66 km	30 000t/an

*Remarques : Ces sites sont recensés encore en activité mais sont en principe en fin d'autorisation.*

### → Installations de stockage de déchets dangereux<sup>3</sup> (ISDD)

Selon les données de la DREAL Aquitaine (Plan de réduction et d'élimination des déchets dangereux en Aquitaine (Predda), il n'existe pas d'installation de stockage de déchets dangereux en Lot-et-Garonne. En conséquence, les centres les plus proches, situés hors du département, sont précisés dans le tableau suivant et localisé en **figure 6** :

<sup>1</sup> Déchets minéraux non pollués répondant aux critères de l'arrêté ministériel du 28 octobre 2010.

<sup>2</sup> Déchets non toxiques provenant des entreprises, commerçants et artisans (papiers, cartons, bois, textiles...) et comprenant également les déchets ménagers.

<sup>3</sup> Déchets pouvant générer des nuisances pour l'homme et pour l'environnement.

**Tableau 5 : Liste des ISDD les plus proches du site**

ISDD	Adresse	Distance au site	Capacité
OCCITANIS	Graulhet (81)	≈ 118 km	50 000 t/an
SITA	Bellegarde (30)	≈ 465 km	180 000 m3 /an
SEDA	Champteusse sur Baconne (49)	≈ 605 km	55 000 t/an
SECHE ECO INDUSTRIES	Changé (53)	≈ 637 km	250 000 t/an

**→ Incinération**

Les usines d'incinération les plus proches du site sont celles de la SIAP à Bassens (33) et SOLAMAT-MEREX à Rognac (13). Elles permettent de dégrader les composés organiques par combustion à haute température et concentrer les métaux dans les résidus d'épuration des fumées et dans les résidus solides de la combustion.

D'un point de vue économique, il peut être plus avantageux d'incinérer des déchets en cimenterie lorsque la composition du déchet le permet. Il en existe 3 dans les environs du site (**voir figure 6**). Elles sont implantées à Bussac-Forêt (17), à La Couronne (16) et à Martres-Tolosanes (31), la première étant gérée par les entreprises Calcia et les deux autres par la société Lafarge.

La cimenterie de Martres-Tolosanes, la plus proche, est susceptible d'accepter des terres polluées répondant à certains critères notamment sur les paramètres en métaux.

**→ Centre de désorption thermique**

Le procédé de désorption thermique s'applique essentiellement à des polluants volatilisables. Le traitement des matériaux renfermant ce type de composés peut être réalisé sur site, par utilisation d'unités mobiles de traitement. Le principe est le suivant :

- excavation, tri et stockage des matériaux à traiter ;
- évacuation des matériaux à traiter en centre de désorption thermique ;
- traitement des matériaux (passage dans un four rotatif) avec traitement des fumées ;
- remblayage des zones excavées.

Le recensement des centres de désorption thermique a donné les résultats suivants (**voir figure 6**) :

- GRS VALTECH à Saint-Pierre-de-Chandieu (69) - capacité de 80 000 t/an ;
- ARF à Vendeuil (02) - capacité de 24 000 t/an.

*Remarques : L'efficacité du traitement des fumées de l'installation conditionne fortement l'admissibilité de certains polluants (HAP, COHV, PCB, etc.). Cette technique est par ailleurs non viable pour des matériaux très fins ou très humides, critère peu contraignant pour les matériaux du site.*

**→ Biocentres**

Les biocentres à proximité du site ont été recensés. La société OCCITANIS détient le plus proche à Graulhet (81) implanté à 118 km du site.

Viennent ensuite ceux des sociétés suivantes (**voir figure 6**) :

- SITA FD (Bellegarde, 30), à environ 465 km,

- SEDA (Champteussé-sur-Baconne, 49), à environ 605 km,
- SECHE ENVIRONNEMENT (Changé, 53), à environ 637 km,
- BIOGENIE EUROPE (Echarcon, 91), à environ 617 km.

### Principales contraintes et limites

Les critères et procédures d'admission des déchets dans les centres sont définis par la réglementation en vigueur et par les conditions d'acceptation propres à chaque installation. En effet, chaque centre dispose de ses propres seuils d'acceptation qui sont principalement fixés en considérant le potentiel de lixiviation des matériaux.

Une demande d'acceptation préalable des terres ou des déchets doit être faite auprès des centres avant toute évacuation. En cas d'acceptation, le centre émet un certificat d'acceptation préalable (CAP).

La stabilisation (ou inertage) peut être nécessaire comme prétraitement pour les matériaux renfermant des ETM à des teneurs supérieures aux seuils d'acceptation des ISDD. Son principe repose sur la mise en contact des matériaux à traiter avec un réactif chimique ou un liant hydraulique, pour les rendre moins lixiviables et permettre ainsi leur acceptation en ISDD.

## 6.1.3 Traitement sur site

### 6.1.3.1 Confinement superficiel

Le confinement superficiel est une solution de gestion qui s'applique généralement aux matériaux renfermant des composés non volatils, en particulier les ETM à faible potentiel de lixiviation. La pérennité de ce mode de gestion doit être garantie dans le temps.

Le principe de ce type de mesure est le suivant :

- pose d'un grillage avertisseur au droit de la zone retenue pour le confinement avant dépôt de matériaux à confiner ;
- excavation des matériaux impactés et stockage sur la zone prévue pour le confinement superficiel (où le grillage avertisseur a été posé) ;
- pose d'un grillage avertisseur pour délimiter les matériaux impactés (excavés ou en place) vis-à-vis des terres saines de surface avant leur dépôt ;
- recouvrement des sols à l'aide de matériaux réputés non-souillés (0,3 m au minimum) et enherbement ou mise en place de surfaces étanches (bitumées ou bétonnées pouvant éventuellement accueillir un bâtiment).

Un schéma de principe de ce type de confinement est présenté en **annexe 1**.

*Remarque : tout projet de construction accueillant du public sur cette zone de confinement devra faire l'objet d'une étude de faisabilité préalable.*

#### Principales contraintes et limites :

Le recouvrement superficiel implique une servitude garantissant la pérennité du recouvrement de surface, et très fréquemment, une surveillance de la qualité des eaux souterraines dont il faudra étudier les caractéristiques au préalable.

Cette technique permet une maîtrise des voies de transfert, mais ne supprime pas la présence des ETM en concentrations significatives (conservation sur site).

### 6.1.3.2 Confinement complet

Le confinement complet s'adresse davantage aux matériaux impactés par :

RSSPSO00139-02/CBXZ080841	
BB/AJ/ABI - JBL - FT	
Août 2012	Page 20

- des ETM à fort potentiel de lixiviation ;
- des hydrocarbures volatils (benzène).

Le principe de cette solution de gestion est le suivant :

- la mise en œuvre du dispositif de confinement (sols imperméables, membranes, géotextiles et éventuellement drains, évents et dispositifs de traitement associés) ;
- la réalisation d'une aire de stockage provisoire pour le tri et l'essorage des terres (si excavation en milieu saturé) ;
- l'excavation des matériaux et leur dépose sur l'aire de stockage provisoire ;
- la réalisation d'un prétraitement si nécessaire pour diminuer le potentiel de lixiviation ;
- la reprise et dépose sur la zone de confinement ; l'installation d'un système de récupération et de traitement des lixiviats et des biogaz ;
- la fermeture du confinement par une géomembrane imperméable et le recouvrement par de la terre végétale ;
- l'enherbement de la zone.

Un schéma de principe en coupe du confinement complet envisageable est présenté en **annexe 1**.

Principales contraintes et limites :

Au préalable, une étude détaillée de conception devra être réalisée. Une surface importante sera nécessaire, celle-ci étant fonction des hauteurs de stockage envisagées. A titre d'exemple, il sera nécessaire de disposer d'une surface de l'ordre de 2 000-2 500 m<sup>2</sup> pour le stockage et le terrassement des 6 500 m<sup>3</sup> de matériaux susceptibles d'être confinés, générant un merlon d'environ 3 m de hauteur.

Le confinement complet implique de prendre des mesures de prévention avec un entretien régulier de l'ouvrage (contrôle de l'érosion, de la végétation), un suivi de la qualité des eaux souterraines et l'établissement d'une servitude interdisant toute activité susceptible d'endommager le dispositif.

Cette technique implique un changement de la topographie de la zone et une cohérence avec le projet d'aménagement global du site, en accueillant par exemple un couvert végétal (enherbement, arbustes, etc.), un parking aérien ou un champ de panneaux solaires. Elle ne peut s'appliquer qu'au droit de zones non-inondables et au-dessus de la zone de battement de la nappe.

Les zones de confinement sont généralement dépourvues d'usage mais il est possible de faire évoluer leur forme pour les insérer dans un aménagement paysager. Souvent utilisées comme murs antibruit, elles sont par ailleurs propices à accueillir des panneaux photovoltaïques.

**6.1.3.3 Biotertre**

Cette technique est employée pour traiter des composés organiques biodégradables et permet après traitement, leur réutilisation. Le principe de ce traitement repose sur :

- l'aménagement de la zone destinée à accueillir le biotertre (nivellement, pose de membrane, fosse de collecte des eaux météoriques, etc.) ;
- l'excavation des matériaux souillés et leur stockage éventuel sur une aire de stockage provisoire ;
- la réalisation d'un prétraitement des matériaux souillés si nécessaire (criblage, ajout de matière organique, correction du ph, etc.) ;
- la mise en forme des matériaux souillés éventuellement prétraités sur la zone du biotertre ;
- la mise en place d'un système de ventilation et d'humidification ainsi que l'apport de nutriments spécifiques des polluants à dégrader ;
- la mise en place d'un système de récupération et de traitement des lixiviats ;

- la couverture du biotertre à l'aide d'une membrane et son lestage.

Pour améliorer les performances d'un tel traitement, il est impératif d'aboutir à des tas de terre ayant une granulométrie la plus homogène possible. Plusieurs opérations préalables à la réalisation du biotertre peuvent être envisagées, seules ou combinées :

- l'émottage et le broyage pour fragmenter les agrégats et augmenter l'accessibilité des polluants aux micro-organismes ;
- le criblage ou le tamisage pour séparer les gravats et les pierres ne nécessitant pas de traitement biologique ;
- l'homogénéisation des matériaux à traiter.

L'apport d'un compost (25 à 35 % en masse par rapport à la terre), en fournissant aux micro-organismes en place une matière organique plus facilement métabolisable que la pollution en place, pour favoriser leur croissance et augmenter l'activité microbienne. Il représente en plus un élément structurant ajouté à la terre dont le rôle est d'assurer une meilleure circulation des flux gazeux et liquides à l'intérieur du tas.

Principales contraintes et limites :

Ce mode de gestion peut durer quelques mois comme plusieurs années selon l'importance et la nature des pollutions à traiter. Un suivi régulier doit avoir lieu pour contrôler la diminution des teneurs en polluants et maintenir le milieu dans de bonnes conditions de dégradation.

#### **6.1.3.4 Désorption thermique**

Le procédé de désorption thermique s'applique essentiellement à des polluants volatilisables et permet leur réutilisation après traitement. Le traitement des matériaux renfermant ce type de composés peut être réalisé sur site, par utilisation d'unités mobiles de traitement. Le principe est le suivant :

- mise en place d'une unité mobile de désorption thermique et d'une plateforme de stockage temporaire ;
- excavation, tri et stockage des matériaux à traiter ;
- traitement des matériaux (passage dans un four rotatif) avec traitement des fumées ;
- remise en place des matériaux sur site.

Principales contraintes et limites :

Des critères d'acceptation contraignants peuvent être appliqués pour certains composés, notamment en fonction de l'efficacité du traitement des fumées propre à chaque installation.

Cette technique ne peut être utilisée pour des matériaux très fins ou très humides.

## 7 Bilan coûts – Avantages

Le **tableau 6** présente le bilan coûts-avantages des solutions étudiées concernant la gestion des sols contaminés pouvant entraîner des risques inacceptables, à savoir :

- l'absence d'habitation de plain-pied dans le périmètre des sondages S9, S72 et S79 ;
- le traitement sur site (hors secteur habitation de plain-pied) des terres contaminées ;
- l'évacuation et l'élimination hors site des terres contaminées.

Le **tableau 7** présente le bilan coûts-avantages des solutions étudiées concernant la gestion des sols contaminés n'entraînant pas de risques inacceptables, mais non admissibles en ISDI à savoir :

- leur confinement superficiel sur site ;
- leur confinement complet sur site ;
- leur traitement hors site.

**Tableau 6 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion pour les matériaux renfermant des polluants volatils (secteurs A, B, C)**

Principe de traitement envisagé	Éléments de coûts	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Absence d'habitation de plain-pied dans le périmètre des sondages 9, 72 et 79	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de surcoût</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aucun terrassement et aucun traitement (hors recouvrement)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choix des scénarii d'aménagement contraints dans ces 3 secteurs (Pas de scénario de logement de plain pied)</li> <li>Maintien sur site des sols renfermant des composés volatils</li> </ul>
Traitement sur site par biotertre (hors secteur d'habitation de plain-pied) des terres contaminées	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût limité : 25 à 40 €/tonne (HT)</li> <li>Soit un coût estimé : 68 000 à 108 000 €</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'évacuation hors site</li> <li>Permet de s'adapter à chacun des scénarii urbains envisagés</li> <li>Matériaux potentiellement réutilisables après traitement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien sur site des sols renfermant des composés volatils avec occupation d'une surface dédiée</li> <li>Mise en place de servitudes garantissant la pérennité du biotertre</li> <li>Remblaiement des zones excavées avec des terres de substitution renfermant moins de 0,05 mg/kg de benzène et de xylène et moins de 0,44 mg/kg de naphtalène</li> </ul>
Evacuation et élimination hors site des terres contaminées en ISDND ou biocentre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût élevé : 60 à 75 €/tonne (HT) pour du biocentre ou ISDND*</li> <li>Soit un coût estimé : 162 000 à 202 500 € HT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permet de s'adapter à chacun des scénarii urbains envisagés</li> <li>Elimination des composés qui induisent le risque sanitaire pour certains scénarii envisagés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bilan environnemental défavorable en raison des nombreux transports requis</li> <li>Coût</li> </ul>

\*L'élimination des matériaux renfermant du benzène, xylène et naphtalène et leur évacuation en biocentre ou en Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) : 60 à 75 € H.T. /t

**Tableau 7 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion pour les matériaux non admissibles en ISDI et ne présentant pas de risque inacceptable et dont une gestion appropriée est recommandée (secteurs D, E, F, G, H, I, J)**

Principe de traitement envisagé	Eléments de coûts	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Recouvrement superficiel des sols en place sur site (6 600 m <sup>3</sup> – 11 900 tonnes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût limité : 5,5 €/m<sup>3</sup></li> </ul> Coût estimé : 36 300 € HT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de difficulté technique particulière</li> <li>Envisageable pour des volumes importants</li> <li>Moins onéreux qu'une gestion hors site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraintes pour le réaménagement</li> <li>Mise en place de servitudes garantissant la pérennité du confinement</li> <li>Maintien sur site des sols renfermant des ETM</li> </ul>
Recouvrement superficiel des sols sur site après excavation (6 600 m <sup>3</sup> – 11 900 tonnes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût limité : 8 €/m<sup>3</sup> Le remblayage correspond au 2,5 € de différence</li> </ul> Coût estimé : 52 800 € HT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de difficulté technique particulière</li> <li>Envisageable pour des volumes importants</li> <li>Moins onéreux qu'une gestion hors site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraintes pour le réaménagement</li> <li>Matériaux de recouvrement important à excaver</li> <li>Mise en place de servitudes garantissant la pérennité du confinement</li> <li>Remblayage des zones excavées</li> <li>Maintien sur site des sols renfermant des ETM</li> </ul>
Excavation et acheminement vers une alvéole de confinement prévue à cet effet (6 600 m <sup>3</sup> – 11 900 tonnes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût modéré : 20 à 30 €/tonne (HT)</li> </ul> Coût estimé : 357 000 € HT	<ul style="list-style-type: none"> <li>S'affranchit de l'impact sur la nappe</li> <li>Pas de difficulté technique particulière</li> <li>Envisageable pour des volumes importants</li> <li>Moins onéreux qu'une gestion hors site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraintes pour le réaménagement</li> <li>Matériaux de recouvrement important à excaver</li> <li>Mise en place de servitudes garantissant la pérennité du confinement</li> <li>Remblayage des zones excavées</li> <li>Maintien sur site des sols renfermant des ETM</li> </ul>
Excavation et élimination en ISDND hors site des terres contaminées par les ETM Critères sur lixiviats peuvent être acceptables mais peut-être pas sur brut	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût élevé : 70 à 90 € /tonne (HT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de difficulté technique particulière</li> <li>Évacuation hors site des matériaux souillés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Onéreux pour des grands volumes</li> <li>Bilan carbone élevé</li> <li>Remblayage des zones excavées</li> </ul>
Excavation et élimination en ISDD hors site des terres contaminées par les ETM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût élevé : 90 à 130 € /tonne (HT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de difficulté technique particulière</li> <li>Évacuation hors site des matériaux souillés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Très onéreux pour des grands volumes</li> <li>Bilan carbone élevé</li> <li>Remblayage des zones excavées</li> </ul>

## 8 Projet retenu par la Ville de Fumel

### 8.1 Description du scénario d'aménagement

Le cabinet d'urbanisme TRACES URBAINS a réalisé pour la Ville de Fumel une étude d'aménagement urbain du site du crassier en février 2012 proposant 3 variantes d'orientation d'aménagement.

La Ville de Fumel a exprimé son choix de projet d'éco-quartier de la variante 2 avec les suggestions suivantes :

- relier le plan d'aménagement avec les propriétés de la ville de Fumel (plan du foncier en **annexe 2**),
- créer un parc paysager de 2 à 3 hectares.

Ainsi ce projet (cf **Figure 7**) prévoit la construction de 6 îlots :

- 3 îlots sont implantés en façade ou proches de l'avenue de l'usine (RD710). Ils sont a priori à vocation de bâtiments d'activités tertiaires pour les plus exposés à la vue et à vocation artisanale pour les bâtis en second plan.
- 3 îlots sont implantés le long de la coulée verte ou sont proches de celle-ci. Ils sont à vocation d'habitation profitant ainsi au maximum du parc paysager et de la coulée verte.

Le parc paysager de 3 ha pénètre totalement le quartier : îlot tertiaire et îlot d'habitation. Il se raccroche aux espaces publics créés ou requalifiés.

Un axe majeur Est/Ouest est créé se raccrochant au quartier Est grâce à la maîtrise foncière de la ville. Ainsi, un maille planté fait le lien entre la placette existante au cœur de ce quartier ouvrier et le nouveau quartier. Une ouverture forte est aménagée à l'est.

Deux pénétrantes secondaires nord/sud sont créées à partir de l'avenue de l'usine pour se raccorder au nouvel axe est/ouest. Ces 2 pénétrantes desservent l'ensemble des îlots constructibles. Ainsi l'ensemble des bâtiments peuvent être uniquement desservis à partir de ces 2 voies nord/sud créées pouvant se raccorder uniquement aux voiries existantes requalifiées : rue Emile Barthe à l'ouest et rue « cour métairie basse ». Le barreau est/ouest ne sert qu'à désenclaver les quartiers et à décharger la RD710.

L'ensemble des îlots sont résidentialisés et comprennent leurs propres aires de stationnement et accès.

Les bâtiments sont orientés est/ouest de façon à laisser des transparences à travers les îlots depuis la RD710 ou la coulée verte. Il pourra être aménagé entre les bâtiments (tertiaires ou habitations) des aires de stationnements plantées, des jardins collectifs.

Les bâtiments ont une hauteur maximum de R+2 pouvant se décliner soit :

- en maisons urbaines sans jardin de 2 étages,
- en appartement de plain-pied au RDC (avec terrasses extérieure « dures ») surmonté d'un appartement en duplex. Le logement de plain-pied pouvant être pour personne âgées ou à mobilité réduite.

Les bâtiments tertiaires restant à R+2, permettent de garder au quartier une identité de maisons de ville et n'écraseront pas ainsi les habitations en second plan par rapport à l'entrée de ville de la RD710.

La hauteur de R+2 est à la dimension d'un arbre arrivé à maturité, ainsi bâti et parc paysager créeront une unité d'échelle.

**Aucun jardin privatif n'est envisagé, seules des terrasses « dures » seront envisagées pour les RDC.**

La surface constructible du site est de 29 480 m<sup>2</sup> environ, surface du terrain constituant les différents îlots d'habitat et d'activités.

La surface du parc paysager est de 21 080 m<sup>2</sup> environ.

La surface nécessaire aux voiries et espaces publics est de 21 630 m<sup>2</sup> environ.

Les surfaces constructibles permettent de construire en R+2 :

- Bâtiments à destination de l'habitation : 10 487m<sup>2</sup> de SHON (Surface Hors Œuvre Nette), surface équivalente à 123 logements environ.
- Bâtiments à destination d'activités de bureaux et d'artisanat : 8 700 m<sup>2</sup> (SHON).

## 8.2 Phasage du projet

Les aménagements pourront être réalisés en quatre phases successives (voir plan en **annexe 3**) :

**Phase 1 :** construction des bâtis à destination des activités tertiaires.

Cette phase ne nécessite pas de voiries créées à court terme. Les bâtiments peuvent être desservis par les parkings existants sur l'avenue de l'usine. **Le cœur d'îlot au droit des secteurs impactés A, B, C, D, E, F, G est aménagé en espace vert.**

Les aires de stationnement peuvent être créées en cœur d'îlot hors mailles polluées, dans ce cas elles tiendront compte des parkings existants. A long terme les voiries périphériques à l'îlot devront être réalisées pour une optimisation du fonctionnement.

**Phase 2 :** Parc paysager, garages pour riverains et bâtiments d'habitation est et ouest.

Cette phase utilise la rue Emile Barthe pour desservir parc paysager, garage et logements ouest et la rue « Cour Métairie basse » pour accéder aux logements situés dans la partie est. Là encore aucune création de voirie n'est nécessaire à court terme.

**Phase 3 :** réalisation de 2 îlots de logements et des voiries les desservant.

Voirie Nord/sud et prolongement de la rue cour métairie basse pour être requalifiée en maille plantée et espace public d'entrée de quartier en lien avec la place métairie basse.

**Phase 4 :** création et requalification des voiries et espaces publics.

Création de l'axe Est/Ouest en prolongement du maille réalisé en phase 3, requalification de la placette métairie basse, requalification des voiries : avenue de l'usine, Emile Barthe et parkings en façade de l'avenue de l'Usine.

## 9 Solutions de gestion retenues par la Ville de Fumel

Concernant le traitement des pollutions métalliques en surface, la Ville de Fumel fait le choix d'un confinement superficiel des secteurs D, E, G, I, J. Une couverture de l'ensemble des sols du site est de toute façon prévue.

Concernant la gestion de la pollution par composés volatils des secteurs A, B, C, la Ville de Fumel fait le choix d'orienter son projet avec un recouvrement simple sans aménagement d'habitat au droit de ces secteurs. Le projet retenu prévoit l'aménagement d'espaces verts au droit de ces secteurs.

Concernant le traitement des pollutions métalliques présentes en profondeur :

- il apparaît que la solution la plus adaptée est le confinement complet (après excavation et confinement sur site) (cf **annexe 1**) pour le traitement des horizons de cendres de pyrites lixiviables des secteurs F et H. La Ville de Fumel n'a pas encore fait le choix de ce traitement. Le coût est présenté mais cette mesure de gestion n'est pas retenue dans l'ARR prédictive.

Par ailleurs, nous recommandons la poursuite de la surveillance des eaux souterraines au droit des 3 piézomètres existants. De plus, la mise en place de piézomètres complémentaires au niveau des secteurs F et H permettrait de mieux appréhender l'impact éventuel de ces cendres de pyrite sur la qualité des eaux souterraines et ainsi d'affiner les recommandations en terme de gestion de ce secteur.

## 10 Estimation des coûts

Le tableau ci-dessous synthétise les coûts des mesures de gestion.

**Tableau 8 : Bilan coûts/avantages des solutions de gestion**

Mesure de gestion	Coût
<p>Traitement pollution métallique de surface : Confinement physique superficiel par apport de terre saine (30 cm de recouvrement) au droit de tous les espaces verts (incluant les secteurs impactés A, B, C, D, E, G, I, J).</p> <p>La surface des espaces verts est de <u>21 080 m<sup>2</sup></u>, soit un volume rapporté de 6 350 m<sup>3</sup> de terre saine</p> <p><i>Coût unitaire de 5 à 6 €/m<sup>3</sup> HT</i></p>	<p>Environ 6 350 m<sup>3</sup></p> <p><b>32 à 42 k€ HT</b></p>
<p>Traitement zones composés volatil : Recouvrement simple sans aménagement d'habitat de plain-pied au droit des secteurs A, B et C</p>	<p><b>Coût déjà intégré dans le confinement superficiel</b></p>
<p><i>Traitement des horizon de cendres : Si la Ville de Fumel retient cette mesure :</i></p> <p><i>Les excavations et traitement par confinement sur site complet des terres impactées des secteurs F et H (2 900 m<sup>3</sup>)</i></p> <p><i>Coût comprenant 10% de Moe et 10% d'aléas et fonction du volume effectivement impacté</i></p>	<p><b>145 à 220 k€ HT</b></p> <p><i>y compris ingénierie de suivi des travaux et aléas</i></p>
<b>TOTAL</b>	<b>177 à 262 k€ HT</b>

## 11 Mise en œuvre des servitudes et restrictions d'usage

En lien avec les principes des mesures de gestion présentés ci-dessus, des servitudes devront être envisagées **afin de garantir dans le temps le respect de ces règles et recommandations**. Les objectifs de ces servitudes sont les suivants :

- l'assurance de la protection de la santé humaine et de l'environnement au cours du temps (dont les éventuelles précautions pour la réalisation de travaux d'affouillement, passage de canalisations d'eau, etc.) ;
- l'assurance qu'une éventuelle modification de l'usage ne sera possible que si elle est conforme aux définitions des servitudes ou si elle s'accompagne de nouvelles études et/ou de travaux garantissant la compatibilité avec cet usage ;
- la protection de l'exploitant du site lors d'éventuels changements d'usage des sols qui ne seraient pas de son fait. Ces éventuels changements d'usage de site pourraient résulter par exemple de modifications de la politique locale d'urbanisme ou de décisions de propriétaires successifs du site ;
- la pérennité de la maintenance ou la surveillance d'un éventuel confinement ;
- la surveillance de la qualité des eaux sur site pendant une période suffisante d'au moins 4 années.

Les servitudes et restrictions d'usage seront à définir en fonction des solutions de réhabilitation choisies. La conservation en mémoire de ces données devra être assurée par tout moyen approprié (annexion à des règlements ou documents d'urbanisme) et en cas de nécessité, la révision éventuelle des servitudes devra être assurée.

### 11.1 Recouvrement des sols

En raison de la présence de métaux, HAP, HCT et BTEX au sein des horizons superficiels de remblais hétérogènes, il convient de recouvrir l'ensemble des surfaces afin d'éviter le contact direct avec ces sols (voir § 5.1).

### 11.2 Restrictions relatives à l'usage du site

Le plan de gestion a été établi pour un projet à vocation d'un usage d'habitations collectives, de bâtiments à usage commercial ou artisanal, de garages individuels fermés et d'espaces verts collectifs.

Toute modification de l'usage du site fera l'objet d'une révision du plan de gestion.

La plantation d'espèces végétales à baies ou fruits comestibles sera interdite (absence de jardin individuel et potager).

### 11.3 Restriction d'usage des eaux souterraines

L'usage des eaux de la nappe phréatique sera interdit dans le périmètre du site.

### 11.4 Eléments nécessaires à l'information

Dans tous les cas, il sera nécessaire de garder en mémoire la qualité environnementale du site (inscription aux documents d'urbanisme, au règlement du lotissement, à l'acte de vente et/ou aux hypothèques), et notamment la présence de l'ancien remblai issu de l'activité métallurgique et des confinements réalisés.

## 12 Analyse des risques résiduels prédictive (ARR)

### 12.1 Schéma conceptuel avec mise en place des mesures de gestion

Le schéma conceptuel est présenté de façon à visualiser :

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

Il est présenté en **figure 8** et discuté dans les paragraphes suivants.

#### 12.1.1 Mesures de gestion retenues

Les mesures de gestion retenues par la Ville de Fumel sont :

- le confinement superficiel pour les pollutions, a priori non lixiviables des secteurs D, E, G, I, J. Une couverture de l'ensemble des sols du site est de toute façon prévue.
- Concernant la gestion de la pollution par composés volatils des secteurs A, B, C, le recouvrement simple sans aménagement d'habitat de plain-pied au droit de ces secteurs. Le projet retenu prévoit l'aménagement d'espaces verts au droit de ces secteurs.

#### 12.1.2 Sources résiduelles de pollution

Les milieux impactés au droit du site sont :

- les sols, constitués de remblais en surface, avec la présence d'hydrocarbures totaux, de HAP dont du naphthalène, de BTEX (benzène, toluène, xylènes), de métaux et de phénols ;
- les eaux souterraines avec la présence de traces en métaux.

#### 12.1.3 Cibles potentielles

Le plan de gestion concerne le réaménagement du site pour un objectif d'usage d'espaces verts publics, de bâtiments commerciaux et artisanaux, d'immeubles de logements collectifs et de garages individuels fermés.

Seront donc pris en compte les scénarios d'aménagement suivants :

1. des espaces verts public ;
2. des bâtiments tertiaires à usage commercial ou artisanal ;
3. des aires de stationnement (en plein air ou garages individuels fermés) ;
4. des logements (en rez-de-chaussée et en étage).

##### 12.1.3.1 Scénario 1 : espaces verts

Pour le scénario « espaces verts », les cibles à considérer sont :

- les adultes se promenant dans le parc : présence 1 h/jour, 330 jours par an, pendant 40 ans ;
- les enfants se promenant dans le parc : présence 1 h/jour, 330 jours par an, pendant 6 ans.

#### 12.1.3.2 Scénario 2 : commerces ou artisanat

Pour le scénario « bâtiment tertiaire (commerce et artisanat) », les cibles à considérer sont :

- les adultes travaillant dans le bâtiment : présence 8 heures par jour, 220 jours par an, pendant 40 ans.

Les clients des commerces (adultes et enfants) ne sont pas pris en compte, leur temps d'exposition étant très inférieur par rapport à celui des employés.

#### 12.1.3.3 Scénario 3 : aires de stationnement (plein air ou garages fermés)

Pour le scénario « aire de stationnement », les cibles à considérer sont :

- les adultes garant leur voiture : présence 0,5 heure par jour, 330 jours par an, pendant 40 ans ;
- les enfants qui accompagnent les adultes garant leur voiture : présence 0,5 h/jour, 330 jours par an, pendant 6 ans.

#### 12.1.3.4 Scénario 4 : habitations

Pour le scénario « habitation », les cibles à considérer sont :

- les adultes présents dans les logements : présence 19 heures par jour, 330 jours par an, pendant 40 ans ;
- les enfants présents dans les logements : présence de 20 heures par jour, 330 jours par an, pendant 6 ans, de 0 à 6 ans.

### 12.1.4 Budget espace-temps et caractéristiques des cibles

Le budget espace-temps pour les cibles considérées est détaillé dans les tableaux ci-après. Nous ne considérerons, dans la présente étude, que les expositions chroniques.

Les sources de données utilisées sont d'une part les valeurs considérées par l'INERIS pour le calcul des Valeurs de Constat d'Impact pour un usage sensible d'un site (en particulier pour les fréquences de présence en intérieur et extérieur de l'habitation) et d'autre part les valeurs issues de l'étude INSEE, 1999<sup>4</sup> ou de la base de données CIBLEX (ADEME, 2003).

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 40 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail) ; la variabilité de cette durée d'exposition est cependant importante.

Pour les durées d'exposition dans le contexte de l'habitat, nous avons considéré une durée de 40 années. Elle correspond au centile 98 des valeurs présentées par l'US-EPA (EFH, 1997) ; la variabilité de cette durée d'exposition est cependant importante.

Compte tenu des incertitudes quant aux durées d'exposition dans le cadre de l'habitat ou du travail, l'approche retenue (40 ans) répond au principe de prudence ; elle sera néanmoins discutée dans les incertitudes.

---

<sup>4</sup> Enquête sur l'emploi du temps 1998-1999, Paris, INSEE 1999, Division : condition de vie des ménages.

**Tableau 9 : Budget espace-temps des cibles considérées**

	Scénario 1 Espaces verts		Scénario 2 Bâtiment à usage commercial ou artisanal	Scénario 3 Garage fermé		Scénario 4 Habitation	
	Adultes	Enfants	Travailleurs adultes	Adultes	Enfants	Résidents adultes	Résidents enfants
Durée d'exposition (T)	40 ans	6 ans	40 ans	40 ans	6 ans	40 ans	6 ans
Fréquence d'exposition (F1 en jour/an)	330 j/an	330 j/an	220 j/an	330 j/an	330 j/an	330 j/an	330 j/an
Fréquence en intérieur (F2-int en heure/jour)	-	-	8 h/j	0,5h/j	0,5 h/j	19 h/j	20 h/j
Fréquence en extérieur (F2-ext en heure/jour)	1 h/j	1 h/j	-			1 h/j	1 h/j

Les périodes de temps sur lesquelles l'exposition est moyennée ( $T_m$ ) sont prises égales à :

- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérogènes quelle que soit la cible considérée,
- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérogènes quelle que soit la cible considérée.

### 12.1.5 Modes de transfert de la source vers les autres milieux

Un risque est défini par l'existence simultanée d'une source de contamination, d'un vecteur de transfert de la contamination, d'un milieu d'exposition et d'une cible. Si l'un de ces éléments n'existe pas, alors aucun risque n'est caractérisable.

Compte tenu des pollutions mises en évidence et du projet de réaménagement du site, le seul mode de transfert de la source vers les autres milieux qui subsiste est la volatilisation depuis les sols non saturés et dispersion atmosphérique ou transfert au travers des parois d'un bâtiment ou d'un garage. Les milieux d'exposition sont l'air atmosphérique et l'air intérieur d'un bâtiment ou d'un garage.

Ont été exclus :

- le contact direct avec les sols impactés (inhalation des poussières en intérieur et en extérieur, ingestion des sols, contact cutané). En effet, tous les sols sont recouverts par des bâtiments, du dallage, de la voirie ou des terres saines sur au moins 30 cm d'épaisseur au droit des espaces verts ;
- la volatilisation depuis la nappe, compte tenu de l'absence de composés volatils dans les eaux souterraines ;
- le contact direct avec les eaux souterraines. Nous considérons qu'il n'y aura pas d'usage des eaux souterraines au droit du site ;
- la migration via les eaux souterraines hors site, non étudiée dans le cadre de cette étude ;
- la perméation au travers de conduites d'amenée d'eau potable enterrées dans les sols pollués (le milieu d'exposition est l'eau du robinet dans les aménagements au droit du site). Nous considérons que soit les conduites seront imperméables aux polluants, soit elles seront enterrées dans les fosses remplies de remblais sains ;

- la consommation des végétaux autoproduits. Nous considérons l'absence de jardins potagers sur le site.

### 12.1.6 Milieux d'exposition retenus

Les voies d'administration des polluants dans l'organisme sont de trois types : inhalation, ingestion et contact cutané. Les voies retenues pour chaque cible et pour chacun des 10 modes d'exposition proposés par le guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000 sont détaillées dans le tableau suivant.

**Tableau 10 : Voies d'exposition retenues pour l'ensemble des scénarios**

Récepteur	Mode d'exposition	Sélection pour l'évaluation	Raison de la sélection ou de l'exclusion
<b>Adultes et enfants</b>	Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Présence de polluants volatils dans les sols
	Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Les sols pollués sont recouverts par du bâti, de la voirie ou des terres saines
	Inhalation de vapeur d'eau polluée	Non	Eau de la nappe polluée non utilisée sur le site. Pas de perméation des polluants au travers des conduites d'amenée d'eau potable
	Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Les sols pollués sont recouverts par du bâti, de la voirie ou des terres saines
	Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur le site	Non	Pas de cultures potagères sur le site
	Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés, chassés ou pêchés sur le site	Non	Pas d'élevage sur le site
	Ingestion d'eau contaminée	Non	Eau de la nappe polluée non utilisée sur le site. Pas de perméation des polluants au travers des conduites d'amenée d'eau potable
	Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Les sols pollués sont recouverts par du bâti, de la voirie ou des terres saines
	Absorption cutanée d'eau contaminée	Non	Eau de la nappe polluée non utilisée sur le site. Pas de perméation des polluants au travers de conduites d'amenée d'eau potable
	Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Considéré comme négligeable devant l'inhalation de vapeurs

## 12.2 Composés à prendre en compte

### 12.2.1 Sélection des composés

La synthèse des investigations sur le site combinée aux scénarios d'expositions choisis permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés. La sélection des composés à prendre en compte est basée sur les éléments suivants :

- les concentrations mesurées dans les différents milieux (sols, eaux souterraines),
- les concentrations du bruit de fond géochimique si elles sont disponibles,
- les CMA dans les eaux potables (code de la santé publique ou valeurs guides de l'OMS, 2011),
- les valeurs guides de concentrations dans l'air (décret 2002-213 ou OMS, 2000),
- 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).

Par ailleurs, pour l'évaluation des risques sanitaires, nous avons pris en compte uniquement les composés détectés dans les sols. En absence de composés volatils dans la nappe et d'un usage des eaux souterraines sur le site, celle-ci n'a pas été prise en compte dans l'étude.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des éléments de choix des composés.

*Remarque : seuls les composés mis en évidence au moins 1 fois à des concentrations supérieures aux valeurs de référence sont présentés dans le tableau ci-dessous.*

Tableau 11 : Choix des substances pour l'ARR

CAS n°R	Volatilité Pv	solubilité S	Classement symboles	Phrase de risque	classement cancérogénéicité			Valeurs de référence dans les sols (mg/kg) * bruit de fond naturel	Concentration maximale mesurée dans les sols (mg/kg)	Type de sols et profondeur	SELECTION et argumentaire
					UE	CIRC (IARC)	EPA				Voie inhalation de gaz

**METAUX ET METALLOIDES**

Aluminium (Al)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	-	-	-
Arsenic (As)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	T	R23, R25	canc. Cat2	1	A
Cadmium (Cd)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	T	R22, R40, R49 R48/23/25	canc: 2 à 3 mut et repro :2	1	prob canc
Chrome III (CrIII)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	mut : 2	3	D
Cuivre (Cu)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	-	3	D
Manganèse (Mn)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	Xn (dioxyde)	R20/22 (dioxyde)	-	-	D
Mercuré (Hg)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	T	R23, R33	-	2B à 3	C à D
Nickel (Ni)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	Xn, T	R40, R43, R49	1 à 3	1 à 2B	A
Plomb (Pb)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	T	R20/22, R33, R61/63	1 à 3	1 à 3	B2
Zinc (Zn)	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	-	-	D

-	310000	limons (1,3 m)
1-25 *	180	cedres de pyrite (1 m)
0,05 - 0,45 *	75	remblais (surface)
10-90 *	620	cedres de pyrite (1 m)
2-20 *	4200	cedres de pyrite (1 m)
680 (médiane) 110 - 4600 *	1900	cedres de pyrite (1,4 m)
0,02 - 0,2 *	1,8	cedres de pyrite (1 m)
2 - 60	300	remblais (surface)
9 - 50 *	9900	remblais (surface)
10 - 100 *	23000	remblais (surface)

non (composés non volatils)
oui (composé volatil)
non (composés non volatils)

**HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES**

Naphtalène	91-20-3	+	+	-	R22	3 (en 2004)	2B	C
Acenaphthène	83-29-9	-	+	-	-	-	-	-
Fluorène	86-73-7	-	+	-	-	-	3	D
Phénanthrène	85-01-8	-	+	-	-	-	3	D
Anthracène	120-12-7	--	-	-	-	-	3	D
Fluoranthène	206-44-0	--	-	-	-	-	3	D
Pyrène	129-00-0	-	-	-	-	-	3	D
Benzo(a)anthracène	56-55-3	--	--	T	R45	Carc: 2	2A	B2
Chrysène	218-01-9	--	-	-	R45	Carc: 2	3	B2
benzo(b)fluoranthène	205-99-2	--	--	T, N	R45	Carc: 2	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	207-08-9	--	--	T, N	R45	Carc: 2	2B	B2
Benzo(a)pyrène	50-32-8	--	--	T	R45, R46, R60, R61	Carc: 2 Mut et Repr :2	2A	B2
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	--	--	T	R45	Carc: 2	2A	B2
benzo(g,h,i) pérylène	191-24-2	--	--	-	-	-	3	D
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	--	-	-	-	-	2B	B2

0,15 * (sol urbain - ATSDR)	1,3	
	0,12	
	1,2	
	8,8	
	2,3	
	11	
	9,5	
	4,7	
25 * (somme des 16 HAP- sol urbain - ATSDR)	4,1	remblais (surface)
	3,3	
	1,9	
	4,1	
	0,41	
	2,6	
	2,8	

oui (composé volatil)
non (composés peu ou pas volatils)

**COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES**

benzène	71-43-2	++	++	F, T	R45, R46 ; R11 R48/23/24/25 ;	car. Cat (1)	1	A
toluène	108-88-3	++	++	F, Xn	R11 ; R48/R20 R63 ; R65 ; R67	repr. Cat (3)	3	D
xylènes	1320-20-7	+	++	Xn, Xi	R10 ; R20/21 ; R38	-	3	-

limite de quantification du laboratoire	0,07	
	0,11	remblais (surface)
	0,11	

oui (composés volatils)
----------------------------

**HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH**

Aliphatic nC10-nC12	"	+	-	white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) : Xn, F	tout type d'hydrocarbures : R10/11, R65, S23, S24, S62			
Aliphatic nC12-nC16	"	-	--					
Aliphatic nC16-nC35	"	-	--					
Aliphatic >nC35	"	--	--					
Aromatic nC10-nC12	"	+	+					
Aromatic nC12-nC16	"	-	+					
Aromatic nC16-nC21	"	-	-					
Aromatic nC21-nC35	"	--	--					

limite de quantification du laboratoire	6,00	
	21,00	remblais (surface)
	1338,00	
	160,00	
	6,00	
	21,00	
	58,00	
	1280,00	

oui (composés volatils)
non (composés non volatils)
oui (composés volatils)
non (composés non volatils)

**SUBSTANCES ORGANO-SOLUBLES**

phénol	108-95-2	+	++	T, Xn, C	R23/24/25, R48/20/21/22, R34	mut cat 3	3	D
--------	----------	---	----	----------	------------------------------	-----------	---	---

-	2,60	remblais (surface)
---	------	--------------------

oui (composé volatil)
--------------------------

**AUTRES SUBSTANCES**

Cyanures totaux	57-12-5	dépend de la forme sous laquelle les cyanures sont présents		-	-	-	-	-
sulfates	non adéquat	non adéquat	non adéquat	-	-	-	-	-

-	1,7	remblais (surface)
-	8340	cedres de pyrite (1,4 m)

non (cyanures non détectés sous leur forme volatile et absence de VTR)
non (composé non volatil)

**LEGENDE Volatilité :**

++ : Pv > 1000 Pa (COV)  
 + : 1000 Pa > Pv > 10 Pa (COV)  
 - : 10 Pa > Pv > 10-2 Pa (non COV)  
 -- : 10-2 Pa > Pv > 10-5 Pa (non COV)

**LEGENDE Solubilité :**

++ : S > 100 mg/l  
 + : 100 > S > 1 mg/l  
 - : 1 > S > 0.01 mg/l  
 -- : S < 0.01 mg/l

**LEGENDE Risques :**

voir annexe 5 toxicologique

**LEGENDE Valeurs de références**

\* valeur réglementaire  
 \*\* valeur guide non réglementaire  
 \*\*\* valeur de bruit de fond

Les polluants pris en compte pour les calculs de risques sanitaires sont fonction des voies d'exposition considérées.

Pour l'inhalation de vapeurs, les composés retenus sont :

- les hydrocarbures (classes C10 à C16). Les hydrocarbures de plus de 16 atomes de carbone ne sont pas considérés comme volatils ;
- le naphtalène, seul HAP volatil ;
- le benzène, le toluène et les xylènes ;
- les phénols (l'indice phénol a été considéré comme correspondant au phénol) ;
- le mercure, dont il ne peut être exclu qu'il puisse être présent dans les sols sous une forme volatile.

N'ont pas été retenus :

- les métaux et métalloïdes, excepté le mercure, car non volatils ;
- les HAP peu ou pas volatils ;
- les cyanures en l'absence de VTR pour l'inhalation. Par ailleurs, les cyanures n'ont pas été détectés dans les sols sous leur forme volatile (cyanures libres).

L'incidence de ces non prises en compte sera discutée dans le paragraphe 12.6 dédié aux incertitudes.

## 12.2.2 Concentrations retenues dans les sols

Au droit de l'ensemble du site étudié, les milieux sources considérés sont les sols.

Selon le scénario, il s'agira :

- de l'ensemble des sols (toute profondeur) pour l'exposition par inhalation de vapeurs au droit des espaces verts, des bâtiments à usage commercial ou artisanal et des aires de stationnement (aériennes ou garages fermés) ;
- de l'ensemble des sols (toute profondeur), excepté les sols au droit des secteurs A, B et C, au droit des habitations. En effet l'usage habitation a été écarté au droit de ces zones en raison de la pollution résiduelle des sols qui subsiste.

Compte tenu du nombre important d'analyses, les concentrations prises en compte pour l'évaluation des expositions au droit des espaces verts et des aires de stationnement extérieure correspondent aux concentrations moyennes mesurées dans les sols au droit de l'ensemble du site. Par ailleurs, seules les concentrations moyennes supérieures au bruit de fond géochimique ont été retenues pour l'évaluation des expositions.

En absence de plan de masse définitif présentant les aménagements et compte tenu de la petite taille des espaces clos prévus (garages), les concentrations prises en compte pour l'évaluation des expositions par inhalation des composés volatils au droit des aménagements clos (bâtiments tertiaires, garages fermés et habitations) correspondent aux concentrations maximales mesurées dans les sols et supérieures au bruit de fond géochimique. Ce choix est conservatoire, il tient compte de l'hypothèse pessimiste de l'implantation d'un bâtiment au droit d'une source de pollution spécifique et potentiellement maximale.

Par ailleurs, excepté pour le mercure, dont il ne peut être exclu qu'il puisse être présent dans les sols sous une forme volatile et qui a été détecté dans toutes les couches de sol, les concentrations mesurées dans les couches contenant les pyrites et dans les limons profonds n'ont pas été prises en compte, car elles sont exemptes des composés volatils.

**Concernant les hydrocarbures**, en absence de coupes TPH<sup>5</sup>, deux hypothèses ont été prises en compte dans la suite de l'étude : l'ensemble d'hydrocarbures correspond aux hydrocarbures aromatiques ou l'ensemble d'hydrocarbures correspond aux hydrocarbures aliphatiques.

Les concentrations résiduelles retenues pour les calculs de risque pour un usage tertiaire sont présentées dans le tableau qui suit. Les teneurs prises en compte dans les calculs des risques sanitaires, sont indiquées **en gras**. L'ensemble des résultats d'analyses des sols figure dans le rapport BURGEAP RBX632/A21074/CBXZ080841 de novembre 2008.

**Tableau 12 : Concentrations retenues pour l'ARR**

	Valeur de référence * bruit de fond ** limite de quantification	Exposition par inhalation en extérieur		Exposition par inhalation en intérieur	
		Scénarios espaces verts et aires de stationnement extérieures		Scénarios bâtiments à usage commercial ou artisanal et garages fermés	
		Concentrations moyennes dans les sols mg/kg MS		Concentrations maximales dans les sols mg/kg MS	
<b>METAUX</b>					
mercure	0,02 - 0,2*	<b>0,25</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>					
naphtalène	0,15*	<b>0,55</b>	<b>1,3</b>	<b>0,54</b>	
<b>BTEX</b>					
benzène	0,05**	0,05	<b>0,07</b>	nd	
toluène	0,05**	0,05	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	
m.p-xylènes	0,05**	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	
<b>HYDROCARBURES TOTAUX</b>					
fraction aromat. >C10-C12	4**	<b>4,16</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	
fraction aromat. >C12-C16	4**	<b>6,25</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	
fraction aliphat. >C10-C12	4**	<b>4,16</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	
fraction aliphat. >C12-C16	4**	<b>6,25</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	
<b>PHENOLS</b>					
indice phénol	0,1**	<b>0,25</b>	<b>2,6</b>	<b>1,3</b>	

**gras** : substance retenue pour l'exposition et le scénario considérés      **nd** : substance non détecté

<sup>5</sup> L'organisme TPH working group (TPHWG) a établi une méthodologie se référant à des groupes de composés pour lesquels les caractéristiques de mobilité (par dissolution et volatilisation) sont proches. A chacun de ces groupes, des caractéristiques physico-chimiques ont ensuite été attribuées et des valeurs toxicologiques équivalentes proposées.

### 12.2.3 Relations dose-réponse des polluants retenus pour l'ARR

Les relations dose-réponse des composés présents dans les différents milieux à l'issue des mesures de gestion proposées sont présentées en **annexe 5** ; la cancérogénicité des composés y est détaillée.

Cette annexe présente, sur la base notamment d'un argumentaire :

- les valeurs toxicologiques retenues (pour les différents types d'effet : sans seuil et à seuil) ;
- les caractéristiques physico-chimiques des composés.

Ces paramètres seront utilisés dans le cadre des calculs des expositions dans les parties suivantes du rapport.

La circulaire DGS/SD. 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations de risques sanitaires dans le cadre des études d'impact est prise en compte pour la sélection des VTR. Cependant, en complément à ce document, pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront recherchées de façon à discuter le choix réalisé sur les critères suivants :

- valeurs issues d'études chez l'homme ou valeurs dérivées à partir d'études sur les animaux ;
- la qualité de l'étude pivot (protocole, taille de l'échantillon, ...) ;
- les modes de calcul (degré de transparence dans l'établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués.

Les valeurs toxicologiques de référence retenues et utilisées dans le cadre de la présente ARR sont synthétisées dans le tableau suivant.

**Tableau 13 : Valeurs toxicologiques de référence retenues pour l'ARR**

CAS n°R	EFFETS TOXIQUES SANS SEUIL			EFFETS TOXIQUES A SEUIL				
	ERUi (µg/m3)-1	type de cancer voie inh°	Source	VTRi (inh°) (µg/m3)	Organe cible (inh°)	Source	Facteur de sécurité (inh°)	
<b>METEAUX ET METALLOIDES</b>								
Mercurure (Hg)	non adéquat	-	-	-	-	-	-	
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>								
Naphtalène	91-20-3	1,10E-06	application TEF	-	-	-	-	
<b>COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES</b>								
benzène	71-43-2	7,80E-06	leucémie	US-EPA, 2000	10	sang	ATSDR, 2007	10
toluène	108-88-3	-	-	-	300	syst. Nerveux	ATSDR, 2000	300
xylènes	1320-20-7	-	-	-	100	syst. Nerveux	US-EPA, 2003	300
<b>HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH</b>								
Aliphatic nC > 10-nC12	"	-	-	-	1000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000
Aliphatic nC > 12-nC16	"	-	-	-	1000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC > 10-nC12	"	-	-	-	200	poïds	TPHCWG, 1997	1000
Aromatic nC > 12-nC16	"	-	-	-	200	poïds	TPHCWG, 1997	1000
<b>Composés phénoliques</b>								
phénol	108-95-2	-	-	-	200	fois, système nerveux	OEHHA, 2003	100

## 12.3 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition

### 12.3.1 Paramètres pris en compte

#### 12.3.1.1 Paramètres des sols

Les formations géologiques au droit du site sont présentées au paragraphe 2.1.2.

On rappellera les couches lithologiques suivantes :

- **remblais sablo-limoneux renfermant des déchets** de fonderie dès la surface jusqu'à 0,7 à 1,4 mètres de profondeur ;
- localement couche identifiée comme des **cendres de pyrites<sup>6</sup>** de couleur violet-bordeaux entre 1 et 2 mètres de profondeur rencontrée dans PM27 (1-1,3), PM50 (1,1-1,4), PM52 (1,4-1,6), PM53 (1,4-1,7) et PM48(1,6-2) ;
- **limon** marron-orangé à grisâtre à partir de 1 mètre de profondeur jusqu'à la fin des sondages (environ 2 mètres de profondeur) ; ce limon apparaît souvent contaminé (couleur grisâtre ou renfermant localement quelques déchets de fonderie) par les remblais sus-jacents.

Les paramètres des sols pris en compte dans l'étude sont résumés dans le tableau suivant. Leur justification détaillée est présentée en **annexe 6**.

**Tableau 14 : Paramètres des sols et de la nappe**

Paramètre		Valeur prise en compte	Source
Fraction de carbone organique dans les sols		0,005	RISC 4.0 (valeur par défaut pour les sables limoneux)
Teneur en eau dans le sol sableux		15%	RISC 4.0 (valeur par défaut pour les sables limoneux)
Teneur en air dans le sol sableux		10%	RISC 4.0 (valeur par défaut pour les sables limoneux)
Densité du sol		1,7 g/cm <sup>3</sup>	
Distance de la source-sol au dallage (espaces clos)	Mercuré	1 m	Profondeur minimale des cendres de pyrite où a été mesuré le plus fort impact en mercure dans les sols
	Autres substances	1 cm	Valeur sécuritaire
Profondeur de la source sous le sol (espaces verts et aires de stationnement extérieures)		1 cm	Etudes de sensibilité réalisées par BURGEAP
Perméabilité intrinsèque des remblais sous dallage		1.10-8 cm <sup>2</sup>	Valeur bibliographique pour les sables limoneux (M. DETAY, <i>La gestion active des aquifères</i> , MASSON, 1997)

<sup>6</sup> Pyrite : Sulfure de fer FeS<sub>2</sub>

### 12.3.1.2 Paramètres des aménagements

Les projets d'aménagements n'étant pas définis avec précision, les paramètres pris en compte correspondent aux paramètres classiquement utilisés. Ils sont résumés dans le tableau suivant. Leur justification détaillée est présentée en **annexe 6**.

Tous les espaces clos (bâtiments tertiaires, habitations et garages fermés) sont considérés de plain-pied.

**Tableau 15 : Paramètres des aménagements**

Paramètre	Valeur prise en compte	Source
<b><i>Inhalation en intérieur (espaces clos)</i></b>		
Porosité totale du béton et des fondations au droit des garages ou bâtiments modulables	12 %, constituée de 5 % d'air et de 7% d'eau	Données bibliographiques
Epaisseur de la dalle	5 cm	
Surface des fissures du béton	$2 \cdot 10^{-4}$	Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM
Différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol	40 g/cm-s <sup>2</sup>	Valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger
Hauteur sous plafond	2,5 m	
Surface d'un espace clos (bâtiments tertiaires et habitations)	25 m <sup>2</sup>	Surface d'un studio, d'un bureau ou d'un petit local commercial
Périmètre associé d'un espace clos	20 m	5 m x 5 m
Taux de ventilation pour les habitations	12 fois/jour	Données bibliographiques
Taux de ventilation pour les bureaux	24 fois/jour	Valeur réglementaire
Surface d'un garage fermé	6 m <sup>2</sup>	3 m x 2 m
Périmètre associé d'un garage	10 m	3 m x 2 m
Taux de ventilation pour les garages	6 fois/jour	Données bibliographiques
<b><i>Inhalation en extérieur (espaces verts et aires de stationnement extérieures)</i></b>		
Longueur de la zone polluée	350 m	Dimension maximale du site d'est en ouest
Vitesse du vent	1 m/s	Vitesse moyenne de vent à 1 m de hauteur sur les stations d'AGEN (N°47091001) et STE-LIVRADE (N°47252002)
Couverture des sols au droit des espaces verts	30 cm de terres saines de porosité totale égale à 30%	Données bibliographiques
Couverture des sols au droit des espaces verts	10 cm de revêtement de porosité totale égale à 2%	Données bibliographiques

### 12.3.2 Évaluation des concentrations de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur

La modélisation des transferts de l'air des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils relativement récents (début des années 90). Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent et le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL<sup>1</sup> (Waitz et al, 1996) et le modèle dit de « Johnson and Ettinger »<sup>2</sup> (Johnson and Ettinger, 1991). D'autres outils plus simplifiés comme HESP® ne sont plus utilisés car ils ne considèrent que le flux diffusif à travers le dallage et peuvent donc dans certaines configurations sous-estimer le transfert.

Dans l'air intérieur, compte tenu du projet étudié (bâtiment de plain pied), la modélisation des transferts de vapeurs est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991) utilisées avec une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps). Les équations du logiciel sont répertoriées dans la norme ASTM E 1739-95. Le transfert de vapeur est conditionné par un mouvement diffusif (équations de Millington and Quirk et équation de Fick) et un mouvement convectif induit par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation).

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 source de pollution est considérée comme infinie.

Les équations et l'ensemble des paramètres de calcul utilisés sont présentés en **annexe 6** et au paragraphe 12.3.1.

Par ailleurs, les concentrations retenues dans les sols sont celles présentées dans le **Tableau 12**.

Les concentrations dans l'air ainsi calculées (présentées dans les fichiers de calculs de l'**annexe 7**) sont synthétisées dans le tableau suivant. Pour l'air extérieur, seules les concentrations auxquelles seront exposés les enfants sont présentées ; elles sont supérieures d'un facteur 1,5 à celles auxquelles seront exposés les adultes.

---

<sup>1</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>2</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

Tableau 16 : Concentrations de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur

	Valeur de référence (mg/m3)  * réglementaire ** valeur guide	Seuil olfactif (mg/m3)	Espaces extérieurs (tout secteur)			Espaces clos (intérieur)				
						Habitations (hors secteurs A, B et C)		Hors habitations (tout secteur)		
			Concentration dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Concentration dans l'air extérieur (mg/m3)		Concentration dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Concentration dans l'air intérieur (mg/m3)	Concentration dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Concentration dans l'air intérieur (mg/m3)	
				Espaces verts	Aires de stationnement				Bâtiments tertiaires	Garages fermés
<b>METAUX</b>										
mercure	0,001**	-	1,3E-01	7,3E-07	7,3E-07	5,4E-01	3,2E-05	5,4E-01	1,6E-05	6,7E-05
<b>HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES</b>										
naphtalène	0,01**	2,1E-01	1,1E+00	1,2E-05	1,2E-05	1,1E+00	5,7E-04	2,6E+00	6,8E-04	4,9E-03
<b>COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES</b>										
benzène	0,002*	1,5E+01	-	-	-	-	-	3,1E+01	8,3E-03	6,0E-02
toluène	0,26**	9,0E+00	-	-	-	1,1E+01	6,1E-03	1,8E+01	4,8E-03	3,5E-02
xylènes	0,2**	3,1E-01	6,1E+00	8,1E-05	8,1E-05	7,2E+00	3,8E-03	1,1E+01	3,0E-03	2,2E-02
<b>HYDROCARBURES TOTAUX</b>										
Aliphatiques nC>10-nC12	-	-	4,0E+02	7,4E-03	7,4E-03	5,7E+02	3,1E-01	5,7E+02	1,5E-01	1,1E+00
Aliphatiques nC>12-nC16	-	-	1,3E+02	2,4E-03	2,4E-03	2,7E+02	1,4E-01	4,0E+02	1,1E-01	7,7E-01
Aromatiques nC>10-nC12	-	-	4,6E+01	8,6E-04	8,6E-04	6,6E+01	3,6E-02	6,6E+01	1,8E-02	1,3E-01
Aromatiques nC>12-nC16	-	-	1,3E+01	2,5E-04	2,5E-04	2,7E+01	1,5E-02	4,4E+01	1,2E-02	8,6E-02
<b>PHENOLS</b>										
indice phénol	-	1,5E-01	5,5E-03	3,8E-07	3,8E-07	2,8E-02	1,6E-05	5,7E-02	1,6E-05	1,2E-04

Les concentrations calculées dans l'air intérieur sont globalement supérieures aux concentrations calculées dans l'air extérieur.

Par ailleurs, on notera que les concentrations modélisées dans l'air intérieur des bâtiments et dans l'air extérieur sont bien inférieures au seuil olfactif et aux valeurs guides, lorsqu'ils existent, pour l'ensemble des substances.

## 12.4 Evaluation de l'exposition par inhalation

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

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

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

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations de gaz dans l'air présentées dans le Tableau 16.

Le détail des calculs est donné en **annexes 6 et 7**.

## 12.5 Quantification des risques sanitaires

Les quotients de danger (ou indices de risques) et excès de risques individuels liés aux différentes expositions sont calculés à partir des valeurs toxicologiques (annexe 6) et des CI (concentrations inhalées) et DJE (doses journalières d'exposition). Le détail du calcul est donné en **annexe 6**.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par le guide EDR du MEDD/BRGM/INERIS, version 2000 et reprise dans les circulaires ministérielles du 8 février 2007. L'évaluation du risque nécessite la prise en compte simultanée d'expositions par différentes voies et concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

### 12.5.1 Méthodologie

#### 12.5.1.1 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 :

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

$$ERI \text{ (oral)} = DJE \times ERUo$$

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 cancérrogènes.

Il n'existe pas de niveau d'excès de risque individuel universellement acceptable. La Circulaire du ministère en charge de l'environnement datée du 8 février 2007, relative aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, considère 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.

### 12.5.1.2 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 :

$$QD_{i,ING} = \frac{DJE_{i,ING}}{RfDi} \quad \text{et} \quad QD_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$$

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

Malgré la position récente de l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) qui recommande l'additivité des QD uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique et le même organe cible, 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.

### 12.5.2 Scénario 1 – Espaces verts

Pour ce scénario, les sols ont été considérés couverts de terres saines sur une épaisseur de 30 cm et la seule voie d'exposition qui subsiste est l'inhalation de vapeurs depuis les sols. Les risques sanitaires QD et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant.

**Tableau 17 : Risques sanitaires – Scénario « Espaces verts »**

	QD : Quotient de Danger			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz en extérieur *	5,3E-03	7,9E-03	HC aliphatiques C10-C12	2,2E-09	4,9E-10	Naphtalène
<b>TOTAL</b>	<b>0,005</b>	<b>0,008</b>		<b>2,2E-09</b>	<b>4,9E-10</b>	
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>			<b>1.10<sup>-5</sup></b>		

\* Les risques sanitaires liés aux hydrocarbures aliphatiques sont supérieurs à ceux liés aux hydrocarbures aromatiques.

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site étudié en espaces verts, en prenant en compte les concentrations résiduelles correspondant aux moyennes dans les sols, et avec les hypothèses constructives retenues, **les risques sanitaires résiduels seraient acceptables tant pour les effets à seuil (dits non cancérigènes) que pour les effets sans seuil (dits cancérigènes) pour tous les usagers.**

Pour les effets non cancérogènes, la somme maximale des quotients de danger est de 0,008 et est calculée pour les enfants fréquentant les espaces verts. Ce QD est plus de 100 fois inférieur à la valeur considérée comme acceptable (QD=1).

Pour les effets cancérogènes, l'excès de risques individuels maximum est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-9}$  et est calculé pour les usagers adultes. Cet ERI est plus de 1 000 inférieur à la valeur considérée comme acceptable (ERI= $10^{-5}$ ).

### 12.5.3 Scénario 2 – Bâtiment tertiaire (commerces, artisanat)

Pour cet usage, nous rappelons que nous avons considéré des bâtiments de plain-pied. La voie d'exposition qui subsiste est donc l'inhalation en intérieur de vapeurs volatilisées depuis les sols.

Les risques sanitaires QD et ERI sont synthétisés dans le tableau suivant.

**Tableau 18 : Risques sanitaires – Scénario « Bâtiment de services »**

	QD : Quotient de Danger		Excès de risque individuel (ERI)	
	Travailleurs adultes	Composés tirant le risque	Travailleurs adultes	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz en intérieur *	0,29	Benzène	7,5E-06	Benzène
<b>TOTAL</b>	<b>0,3</b>		<b>7,5E-06</b>	
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>		<b>1.10<sup>-5</sup></b>	

\* Les risques sanitaires liés aux hydrocarbures aliphatiques sont supérieurs à ceux liés aux hydrocarbures aromatiques.

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site étudié en bâtiment tertiaire à usage commercial ou artisanal, en prenant en compte les concentrations résiduelles correspondant aux maximum dans les sols, et avec les hypothèses constructives retenues, **les risques sanitaires résiduels seraient acceptables tant pour les effets à seuil (dits non cancérogènes) que pour les effets sans seuil (dits cancérogènes) pour tous les adultes travaillant sur place.**

Pour les effets à seuil, le quotient de danger est de l'ordre de 0,3. Ce QD est inférieur à la valeur considérée comme acceptable (QD=1).

Pour les effets sans seuil, l'excès de risques individuel est de l'ordre de  $8 \cdot 10^{-6}$ . Cet ERI est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI= $10^{-5}$ ).

Que ce soit pour les effets à seuil ou pour les effets sans seuil les risques sanitaires sont induits par l'inhalation des vapeurs de benzène.

### 12.5.4 Scénario 3 – Aire de stationnement (en plein air ou garage fermé)

Pour cet usage, nous rappelons que nous avons considéré des garages de plain-pied et des sols recouvert d'un dallage en extérieur. La voie d'exposition qui subsiste est donc l'inhalation en intérieur ou en extérieur de vapeurs volatilisées depuis les sols.

**Tableau 19 : Risques sanitaires – Scénario « Aire de stationnement ou garage »**

	QD : Quotient de Danger			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz en intérieur (garage fermé)*	0,19	0,19	Benzène	5,1E-06	7,7E-07	Benzène
Inhalation de gaz en extérieur (aire de stationnement en plein air)*	4,6E-04	6,9E-04	HC aliphatiques C10-C12	1,2E-10	4,3E-11	Naphtalène
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>			<b>1.10<sup>-5</sup></b>		

\* Les risques sanitaires liés aux hydrocarbures aliphatiques sont supérieurs à ceux liés aux hydrocarbures aromatiques.

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site étudié en bâtiment tertiaire à usage commercial ou artisanal, en prenant en compte les concentrations résiduelles correspondant aux maximum dans les sols, et avec les hypothèses constructives retenues, **les risques sanitaires résiduels seraient acceptables tant pour les effets à seuil (dits non cancérigènes) que pour les effets sans seuil (dits cancérigènes) pour tous les adultes travaillant sur place.**

Pour les effets à seuil, le quotient de danger est de l'ordre de 0,3. Ce QD est inférieur à la valeur considérée comme acceptable (QD=1).

Pour les effets sans seuil, l'excès de risques individuel est de l'ordre de  $8.10^{-6}$ . Cet ERI est inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable (ERI= $10^{-5}$ ).

Que ce soit pour les effets à seuil ou pour les effets sans seuil les risques sanitaires sont induits par l'inhalation des vapeurs de benzène.

### 12.5.5 Scénario 4 – Habitations

Pour cet usage, nous rappelons que nous avons considéré des bâtiments de plain-pied et que l'usage habitat est exclu au droit des secteurs A, B et C. La voie d'exposition qui subsiste est donc l'inhalation en intérieur de vapeurs volatilisées depuis les sols.

**Tableau 20 : Risques sanitaires – Scénario « Habitation »**

	QD : Quotient de Danger			Excès de risque individuel (ERI)		
	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque	Adultes	Enfants	Composés tirant le risque
Inhalation de gaz en intérieur *	0,61	0,65	HC aliphatiques C10-C12	2,6E-07	4,0E-08	Naphtalène
Inhalation de gaz en extérieur *	7,6E-04	1,1E-03	HC aliphatiques C10-C12	1,9E-10	4,3E-11	Naphtalène
<b>TOTAL</b>	0,61	0,65		2,6E-07	4,0E-08	
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>			<b>1.10<sup>-5</sup></b>		

\* Les risques sanitaires liés aux hydrocarbures aliphatiques sont supérieurs à ceux liés aux hydrocarbures aromatiques.

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre d'un aménagement du site étudié en logement en rez-de-chaussée et de plain-pied, en prenant en compte les concentrations résiduelles dans les sols correspondant au maximum hors secteurs A, B et C, et avec les hypothèses constructives retenues, **les risques sanitaires résiduels seraient acceptables tant pour les effets à seuil (dits non cancérigènes) que pour les effets sans seuil (dits cancérigènes) pour les adultes et les enfants.**

Pour les effets à seuil, le quotient de danger maximum est de l'ordre de 0,7 pour l'exposition par inhalation en intérieur pour les enfants. Ce QD est inférieur à la valeur considérée comme acceptable (QD=1). Les risques sanitaires sont induits par l'inhalation des vapeurs d'hydrocarbures aliphatiques C10-C12.

Pour les effets sans seuil, l'excès de risques individuel maximum est de l'ordre de  $3.10^{-7}$  pour l'exposition par inhalation en intérieur pour les adultes. Cet ERI est plus de 30 fois inférieur à l'excès de risque considéré comme acceptable ( $ERI=10^{-5}$ ).

### 12.5.6 Cumul des expositions liées au travail et à l'habitat

Dans un souci de ne pas sous-estimer le risque, nous considérerons ici que les personnes habitant ou travaillant sur site garent leur voiture sur les aires de stationnement (extérieure pour les travailleurs et garages fermés pour les résidents) et fréquentent les espaces verts.

Le scénario considérant qu'une personne habitant sur site travaille également au droit des bâtiments à usage tertiaire n'a pas été pris en compte car le temps d'exposition retenu pour les résidents adultes tient compte d'une activité professionnelle exercée à son domicile (temps de présence en intérieur de 19 h/jour pour une durée de travail de 8 h/jour).

**Tableau 21 : Risques sanitaires – Cumul des scénarios**

	QD : Quotient de Danger		Excès de risque individuel (ERI)	
	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants
Total scénario espaces verts	5,3E-03	7,9E-03	2,2E-09	4,9E-10
Total scénario bâtiment tertiaire	0,3	-	7,5E-06	-
Total scénario aire de stationnement (en extérieur)	4,6E-04	6,9E-04	1,2E-10	4,3E-11
Total scénario aire de stationnement (garage fermé)	0,19	0,19	5,1E-06	7,7E-07
Total scénario habitation	0,61	0,65	2,6E-07	4,0E-08
<b>Cumul scénarios bâtiment tertiaire, espaces verts et aires de stationnement extérieures</b>	0,31	0,009	7,5E-06	5,3E-10
<b>Cumul scénarios habitation, espaces verts et aire de stationnement (garage fermé)</b>	0,81	0,85	5,45E-06	8,1E-07
<b>Valeur de référence</b>	<b>1</b>		<b><math>1.10^{-5}</math></b>	

Le tableau ci-dessus montre que les risques sanitaires restent acceptables si l'on cumule différents scénarios.

On notera cependant que les risques sanitaires deviendraient inacceptables pour les effets sans seuil de dose pour les adultes travaillant dans les bâtiments tertiaires et utilisant un garage fermé. Le risque est ici induit par l'inhalation de vapeurs de benzène en intérieur. On rappellera que ce composé a été détecté dans les sols uniquement au droit des secteurs B et C où se situeraient des espaces verts d'après la proposition d'aménagement du site (cf. **figure 7**).

## 12.6 Incertitudes et sensibilité

L'analyse des incertitudes d'une évaluation des risques et la sensibilité des paramètres retenus pour cette évaluation est une partie intégrante de l'ARR. Afin de ne pas alourdir cette analyse tout en restant suffisant, les paramètres clés de l'évaluation réalisée sont ici discutés ainsi que leurs incidences sur les résultats de l'évaluation. Ces paramètres clés sont dépendant des scénarios d'exposition et des substances retenues, ce chapitre reprend dans le cadre de la présente étude les paramètres dont les incertitudes jouent un rôle majeur dans les calculs menés.

### 12.6.1 Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond

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 les risques sanitaires induits par la présence de polluants en concentrations supérieures au bruit de fond géochimique (ou valeur comparative). Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude (source INERIS).

Cependant, il faut rappeler que :

- 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 ;
- 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 ;
- la présence potentielle dans l'air intérieur de composés organiques volatils (solvants, formaldéhydes, etc.) issus des aménagements et activités n'est pas considérée.

### 12.6.2 Incertitudes liées au choix des substances pour les calculs de risques

La liste des substances retenues pour les évaluations de risques sanitaires pour chaque usage prend en considération toutes les substances décelées au-delà de la valeur de référence considérée (bruit de fond ou limite de quantification du laboratoire). De ce fait, l'analyse des risques menée est conservatoire.

Soulignons notamment que ce point est particulièrement vrai pour les secteurs considérés pour l'aménagement des bâtiments à usage commercial ou artisanal et des garages fermés où un impact par du benzène a été mis en évidence au droit d'un seul secteur (secteur C) mais a été considéré comme présent de manière uniforme au droit des bâtiments considérés.

#### **Cas des composés peu ou pas volatils**

Concernant les hydrocarbures totaux, les hydrocarbures de plus de 16 atomes ne sont pas considérés comme volatils et n'ont donc pas été retenus pour l'exposition par inhalation de vapeur bien qu'ils aient été détectés à des concentrations supérieures aux valeurs de référence dans les sols.

De la même façon, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont considérés globalement comme peu à pas volatils (excepté le naphtalène) et n'ont donc pas été retenus pour l'exposition par inhalation de vapeur.

Cependant, la prise en compte de toutes les classes d'hydrocarbures et des HAP dans les calculs de risques sanitaires ne modifierait pas les conclusions des différentes simulations en termes d'acceptabilité des risques.

### 12.6.3 Choix du milieu source

Les milieux sources considérés pour les calculs de risques sanitaires sont les sols pour l'ensemble des substances. En absence de composés volatils dans la nappe et d'un usage des eaux souterraines sur le site, celle-ci n'a pas été prise en compte dans l'étude.

Le choix du milieu source est donc conforme au principe de prudence et l'incertitude qui peut en découler n'est pas de nature à modifier les conclusions de la présente ARR.

### 12.6.4 Stabilité des sources de pollution

Les risques sanitaires ont été calculés en supposant qu'au cours des 40 années à venir, la pollution des sols ne diminuerait ni n'augmenterait pas. Cette hypothèse conservatoire tend à majorer les niveaux de risques calculés notamment pour les effets cancérigènes de composés volatils et respecte le principe de prudence.

### 12.6.5 Concentrations choisies dans les sols

#### Exposition par inhalation en extérieur

Compte tenu du nombre important d'analyses, les concentrations prises en compte pour l'évaluation des expositions au droit des espaces verts et des aires de stationnement extérieure correspondent aux concentrations moyennes mesurées dans les sols au droit de l'ensemble du site. Par ailleurs, seules les concentrations moyennes supérieures au bruit de fond géochimique ont été retenues pour l'évaluation des expositions.

La prise en compte des concentrations maximales mesurées dans les sols au droit de l'ensemble du site conduisent également à des risques acceptables pour les aménagements en espaces verts et en aires de stationnement extérieures.

#### Exposition par inhalation en intérieur

En absence de plans de masse définitif présentant les aménagements et compte tenu de la petite taille des espaces clos prévus (garages), les concentrations prises en compte pour l'évaluation des expositions par inhalation des composés volatils au droit des aménagements clos (bâtiments tertiaires, garages fermés et habitations) correspondent aux concentrations maximales mesurées dans les sols et supérieures au bruit de fond géochimique. Cette hypothèse est conservatoire, elle tient compte de l'hypothèse pessimiste de l'implantation d'un bâtiment au droit d'une source de pollution spécifique et potentiellement maximale, et conduit à un risque acceptable.

#### Incertitudes liées aux résultats d'analyses des sols

Les concentrations considérées pour la réalisation des calculs de risque sont issues de prélèvements de terrain analysés en laboratoire (prélèvements de sols). Ces concentrations sont entachées d'incertitudes liées au prélèvement, à la conservation des échantillons, à l'analyse en laboratoire, etc. Au final, il est admis que ces incertitudes peuvent conduire à une erreur de 30% sur les concentrations obtenues.

On notera cependant que la prise en compte de concentrations dans les sols 30% supérieures aux concentrations retenues initialement, ne modifierait pas les conclusions de l'ARR quelque soit l'usage considéré.

#### Cas des hydrocarbures dans les sols

En l'absence d'analyse de type TPH, les calculs de risques résiduels ont reposé sur la répartition mesurée en laboratoire pour les hydrocarbures C10-C40 (analyse par CPG FID). Or les valeurs toxicologiques de référence sont définies pour les différentes classes d'hydrocarbures du TPHWG, cette méthode distinguant les aliphatiques et les aromatiques. En l'absence d'information sur la répartition des hydrocarbures dans les différentes classes du TPHWG, deux hypothèses ont été prises en compte dans la suite de l'étude : l'ensemble

d'hydrocarbures correspond aux hydrocarbures aromatiques ou l'ensemble d'hydrocarbures correspond aux hydrocarbures aliphatiques.

Les calculs de risques sanitaires menés en considérant les hydrocarbures nC10-nC40 sous leur forme aliphatique (forme la plus pénalisante pour les présents calculs) conduisent à des niveaux de risques résiduels acceptables. Ainsi toute chose égale par ailleurs, l'incertitude sur la forme des hydrocarbures pétroliers rencontrés dans les sols n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions de la présente ARR.

## 12.6.6 Toxicité des composés

### 12.6.6.1 Cumul des ERI et des QD

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.

#### Cumul des ERI

Les ERI ont été sommés quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition.

La sommation est justifiée pour les ERI (composés sans seuil d'effet) car on parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme. Cette approche suit le consensus des organismes internationaux.

#### Cumul des QD

Pour les composés à seuil d'effet, la sommation de l'ensemble des QD est discutable (voir **paragraphe 12.5.1**), néanmoins l'approche retenue (par organe cible si la somme brute des QD est supérieure à 1), paraît la plus proche des consensus nationaux et internationaux.

### 12.6.6.2 Incertitude sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) pour la voie inhalation

Les valeurs toxicologiques de référence retenues dans la présente étude sont issues d'une synthèse réalisée par BURGEAP à la date de décembre 2011 (**annexe 5**).

Dans les paragraphes suivants, sont présentées la sensibilité et l'incertitude éventuelle existant sur les composés tirant le risque sanitaire résiduel, à savoir les hydrocarbures pétroliers considérés suivant la méthode TPH et les HAP.

#### Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Pour une exposition par voie orale à un mélange de HAPs, l'INERIS<sup>1</sup> propose d'utiliser l'approche substance par substance (TEF). Cette approche a été retenue car malgré les inconvénients qu'elle présente, elle est standardisée et permet d'évaluer le risque induit par tous les types de mélanges. De plus, l'approche par mélanges (approche par comparaison des potentiels toxiques des mélanges analogues et utilisation du benzo[a]pyrène comme indicateur d'un mélange) a été essentiellement élaborée dans le cas d'une exposition par inhalation.

L'INERIS propose d'utiliser les TEF établis par Nisbet et LaGoy en 1992 en attribuant au dibenzo[a,h]anthracène un facteur de 1 au lieu de 5. Ces TEF, les plus prudents parmi ceux existant dans la littérature, sont considérés comme valables aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation.

---

<sup>1</sup> INERIS. « Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) Evaluation de la relation dose réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance : FET) et approche par mélange. » Rapport final, 18 décembre 2003

Concernant les ERUo et ERUi retenus, le document de synthèse de l'INERIS a été suivi : il s'appuie sur l'avis de l'AFSSA (2003) et propose de retenir pour le benzo(a)pyrène l'ERUo établi par le RIVM de 0,2 (mg/kg/j)<sup>-1</sup>. L'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté.

### **Les TPH**

Deux principales bases de données sont disponibles pour la prise en compte de mélange d'hydrocarbures pétroliers dans le cadre de calculs de risques sanitaires (TPHCWG, MADEP).

Les deux approches du TPHCWG et du MADEP sont différentes et complémentaires. Une des différences repose sur la prise en compte par le MADEP des nombres de carbones (C) et par le TPHCWG de nombre de carbones équivalent (nC ou EC). Par ailleurs, l'approche du TPHCWG est plus complète, basée à la fois sur les propriétés physico-chimiques et l'ensemble des données toxicologiques disponibles à l'époque (1997).

Globalement on peut conclure que l'approche du MADEP est vraisemblablement plus adaptée pour la prise en compte d'un contact direct avec des hydrocarbures et que l'approche développée par le TPHCWG est plus appropriée quand il s'agit de rendre compte d'un transfert de ces hydrocarbures vers les différents milieux (air, eaux).

Dans une approche de prudence et proportionnelle, nous avons retenu les caractéristiques physico-chimiques des classes définies par le TPHCWG et les valeurs toxicologiques présentées en **annexe 5**. Les raisons des choix font référence aux points suivants :

1. pour l'ensemble des classes, les facteurs de sécurité appliqués aux NOAEL ou LOAEL sont parfois élevés (SF variant de 100 à 10000), nous jugeons que la prise en compte d'un facteur de 10000 rend la confiance dans la valeur affichée très faible et la valeur douteuse n'est pas retenue ;
2. pour les composés aromatiques la principale raison est le fait que les BTEX et HAP sont considérés dans les études de risques sanitaires de manière distincte (substance par substance) compte tenu de leur potentiel cancérigène non pris en compte par les deux approches ici présentées ;
3. pour les composés aromatiques à nombre de carbone équivalent supérieur à 21, compte tenu de la présence uniquement de HAP dans l'approche du TPHCWG pour lesquels les principaux effets sont cancérigènes et compte tenu du point 2. ci-dessus, nous ne retiendrons pas de VTR ;
4. l'établissement de nouvelles valeurs toxicologiques de référence par l'US-EPA en 2005.

En 2005, l'US-EPA dans la base de données IRIS donne pour le n-hexane une RfC de 0,7 mg/m<sup>3</sup>, cette valeur repose sur les observations d'anciennes et de plus récentes études et sur le fait que le principal effet est la neurotoxicité de cette substance. Le facteur de sécurité de 300 appliqué au LOAEL tient compte de la variabilité intra-espèce, de l'utilisation d'un LOAEL et du manque de données pour les effets par voie inhalation. La valeur présentée de 18,4 mg/m<sup>3</sup> pour l'hexane commercial retenue que nous avons retenu par le passé est remplacé par cette nouvelle RfC.

Dans cette fiche IRIS, l'US-EPA précise que la transposition de la toxicité voie inhalation à la voie orale n'est pas adaptée en l'absence totale d'étude des effets de l'exposition par voie orale au n-hexane. Ainsi, nous n'avons pas retenu de RfD pour les aliphatiques nC5 à nC8. Cette approche a été retenue en l'absence d'information, elle est cependant sans impact sur les risques qui sont généralement tirés par la voie inhalation. (NB la dérivation de la RfC donnerait une RfD de 0,2 mg/kg/j pour les adultes).

En conclusion, malgré l'existence d'incertitudes sur les VTR (concernant le degré de confiance accordé aux études, les facteurs de sécurité, les désaccords entre experts toxicologiques), 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.

## 12.6.7 Paramètres de modélisation retenus

### 12.6.7.1 Transferts vers l'air extérieur

Les mesures du plan de gestion prévoient une couverture des sols en extérieur sur l'ensemble du site. En fonction du scénario considéré, un revêtement de 30 cm de terres saines (espaces verts) ou de 10 cm de bitume (aires de stationnement extérieures) a été considéré et les calculs de risques sanitaires conduisent à un niveau de risque acceptable. Ainsi, le type de couverture mise en place au-dessus des sols n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions de la présente ARR quant à l'acceptabilité des expositions en extérieur.

Les paramètres « vitesse du vent » et « taille de la zone de mélange » (prise égale à 350 m) jouent de manière directement proportionnelle sur les risques calculés. Le facteur de sécurité minimum étant très élevée (supérieur à 100 pour les effets à seuil pour les enfants fréquentant les espaces verts), la variation de ces paramètres n'est pas de nature à remettre en cause les conclusions de la présente ARR.

### 12.6.7.2 Transferts vers l'air intérieur

#### Perméabilité des sols et profondeur de la source

La perméabilité moyenne des sols sous dallage a été estimée à  $10^{-5}$  m/s en fonction de la nature des terrains (sables limoneux). Des variations de cette perméabilité peuvent exister dans l'espace. La prise en compte d'une perméabilité à l'eau plus forte d'un facteur 10 conduit à des expositions par inhalation en intérieur augmentées d'un facteur de l'ordre de 10 également quelque soit le scénario d'aménagement.

Toutefois, la profondeur de source sol a été prise égale à 1 cm pour l'ensemble des substances à l'exception du mercure ; or pour une perméabilité supérieure à  $10^{-5}$  m/s, la profondeur minimale de la source de pollution à considérer est de 10 cm. En effet, le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie) et 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, la profondeur ne doit pas être inférieure à 10 cm (valeur par défaut issue des études de sensibilité réalisées par BURGEAP).

Ainsi, la prise en compte d'une perméabilité des sols augmentées d'un facteur de l'ordre de 10 et d'une profondeur de 10 cm conduirait à :

- des risques acceptables pour les usages espaces verts, aire de stationnement extérieure et intérieure (garage fermé) et habitation (pour l'usage habitation, bien que la somme des effets à seuil pour les adultes et les enfants soit supérieure à la valeur de référence, l'effet à seuil maximal par organe cible reste inférieur à la valeur de référence) ;
- des risques inacceptables pour l'usage bâtiment tertiaire pour les effets sans seuil pour les travailleurs adultes avec un excès de risque de  $2.10^{-5}$  (valeur limite de  $1.10^{-5}$ ).

Cependant on notera que le compactage des matériaux pour former une plate-forme pour accueillir les bâtiments aura tendance à réduire la perméabilité des terrains sous dalle. Aussi la valeur retenue comme perméabilité des sols sous dalle ( $10^{-5}$  m/s) apparaît comme réaliste voire majorante.

#### Porosité et teneur en gaz des sols

La porosité des sols retenue pour le calcul a été estimée à partir de la nature des terrains observée sur les coupes de sondages et de la base de données du logiciel RISC 4.0. Elle a été prise égale à 25% répartie en 10% d'air et 15% d'eau (correspondant à la porosité pour des sables limoneux).

Toute chose égale par ailleurs, les incertitudes et variations spatiales possibles de la perméabilité des sols ne sont pas de nature à remettre en cause les résultats de la présente ARR.

### **Type de bâtiment**

Les bâtiments considérés pour l'ARR sont de plain-pied. Cette hypothèse est conservatoire et respecte le principe de précaution. La réalisation d'un vide sanitaire permettrait de limiter les flux de composés volatils des sols vers l'intérieur des bâtiments et ainsi de limiter les concentrations d'exposition et donc les niveaux de risques.

Les conclusions de la présente ARR quant à l'acceptabilité des risques sont valables aussi bien pour un bâtiment de plain pied qu'un bâtiment sur vide sanitaire.

### **Taille des bâtiments considérés**

A défaut d'informations sur les aménagements projetés, nous nous sommes positionnés dans le cas de figure de bâtiments aux dimensions suivantes (correspondant à un garage, un studio, un bureau ou un petit local commercial) :

- une surface de 6 à 10 m<sup>2</sup> ;
- une hauteur de plafond de 2,5 m ;
- une dalle bétonnée de 5 cm d'épaisseur ;

Ces hypothèses couvrent les bâtiments dont les petites dimensions tendent à ne pas diluer les émissions de volatils.

L'incertitude sur les emprises futures des bâtiments ne peut être précisée davantage, mais cela n'est vraisemblablement pas de nature à modifier les conclusions de l'étude.

### **Taux de ventilation**

Les taux de ventilation retenus sont les suivants :

- pour les bureaux (usage tertiaire), le taux de ventilation conservatoire retenu est de 1 h<sup>-1</sup> ou encore 24 j<sup>-1</sup>. Cette valeur est retenue compte tenu des usages de ces lieux de travail en référence à l'article R232-5-3 du décret n°84-1093 qui donne pour les bureaux ou locaux sans travail physique une aération de 25 m<sup>3</sup>/h/occupant (soit pour un espace de 25 m<sup>3</sup> par travailleur, le taux de ventilation serait de 1 h<sup>-1</sup> ou encore 24 j<sup>-1</sup>) ;
- pour les habitations 0,5 h<sup>-1</sup> ou encore 12 j<sup>-1</sup>, valeur habituelle rencontrée dans les modèles intégrés de calcul de risque ;
- pour les garages fermés 6 j<sup>-1</sup>, valeur relativement faible et tendant à ne pas diluer les émissions de volatils.

L'incertitude sur les taux de ventilation ne peut être précisée mais cela n'est vraisemblablement pas de nature à modifier les conclusions de l'ARR.

### **Autres paramètres**

Concernant les autres caractéristiques des bâtiments (caractéristiques des bétons...), nous avons retenu les valeurs classiquement utilisées et les plus citées dans la littérature. Le choix de ces paramètres respecte de principe de prudence et a tendance à majorer les risques sanitaires résiduels. En outre, en l'absence de données précises sur les caractéristiques exactes des futurs bâtiments, il est difficile d'évaluer si les critères retenus aujourd'hui sont sécuritaires ou non cependant nous jugeons que les incertitudes induites ne sont pas d'ordre à remettre en cause les conclusions formulées sur l'acceptabilité des risques.

## **12.6.8 Durées d'exposition considérées pour les adultes**

Compte tenu des incertitudes quant aux durées d'exposition dans le cadre de l'habitat ou du travail, l'approche retenue (40 ans) répond au principe de prudence ; elle est néanmoins discutée ci-dessous.

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 40 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail et à la valeur retenue par l'INERIS (2001) pour l'établissement des Valeurs de Constat d'Impact). La variabilité de cette durée d'exposition est cependant importante. En effet, l'US-EPA (EFH, 1997) considère que la durée moyenne dans une même entreprise est de 6,6 ans, cette durée varie de 2 à 20 années en moyenne en fonction de l'âge des personnes interrogées (16 à 69 ans) et varie, pour les personnes de plus de 70 ans, de 19 à 30 ans (respectivement pour les femmes et les hommes).

Pour les durées d'exposition dans le contexte de l'habitat, nous avons considéré une durée de 40 années. Elle correspond au centile 98 des valeurs présentées par l'US-EPA (EFH, 1997). La variabilité de cette durée d'exposition est cependant importante. En effet, les valeurs issues de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997) sont fortement variables : de 12 ans en moyenne, la médiane (centile 50) est de 9 ans, le centile 95 de 33 ans et le centile 99 de 47 ans. Cette variabilité se retrouve également en France comme l'a montré l'étude des abonnements EDF (Nedellec, 1998) avec une durée médiane de 10 ans et un centile 90 de 30 ans. La valeur retenue de 40 ans est plus conservatoire que la valeur utilisée dans le cadre de l'établissement des Valeurs de Constat d'Impact (INERIS, 2001) pour un usage sensible ; elle est cependant dans la gamme protectrice de celles proposées par l'US-EPA.

Dans le cadre de l'évaluation réalisée, la prise en compte d'une durée plus élevée de 47 ans (centile 99, US-EPA, EFH, 1997) ne modifie pas les conclusions de l'ARR.

### **12.6.9 Conclusions sur les incertitudes et la sensibilité de l'évaluation**

On constate que seule la perméabilité des sols sous dallage engendre des incertitudes sur les risques évalués. Cependant, l'approche retenue dans le cadre de la présente ARR repose et se justifie par les observations de terrain, les mesures et analyses réalisées afin de caractériser les contaminations et les données de la littérature. Par ailleurs, systématiquement, nous nous sommes positionnés dans une approche conservatoire et prudente visant à majorer les niveaux de risques calculés, en considérant les connaissances acquises à ce jour.

C'est pourquoi, sur la base des connaissances actuelles, des pratiques communément admises de la gestion du risque sanitaire, pour les hypothèses constructives retenues, et pour les mesures de gestion retenues par la ville de FUMEL au terme du bilan coût-avantage et du plan de gestion, nous considérons comme fondé de retenir que les risques sanitaires résiduels sont acceptables pour les usagers :

- des espaces verts ;
- des bâtiments tertiaires à usage commercial ou artisanal ;
- des aires de stationnement extérieures ou intérieures (garages fermés) ;
- des habitations.

Ces conclusions ne sont valables que pour les conditions précisées ci-dessus. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement et/ou des hypothèses constructives retenues entraînera une révision de ces conclusions.

## 13 Conclusion

La ville de FUMEL envisage la réhabilitation d'un ancien site industriel situé au sud de la commune de FUMEL (47).

Les investigations réalisées sur ce site ont mis en évidence la présence de sols impactés par des éléments non volatils (métaux : majoritairement cadmium, cuivre, plomb et zinc) et HAP (sauf naphtalène), sur l'ensemble du site et des éléments volatils (benzène, xylène et naphtalène), essentiellement dans trois secteurs référencés A, B et C.

Le plan de gestion de ce site a été conçu pour un usage d'immeubles de logements collectifs, de garages individuels fermés, d'espaces verts publics et de bâtiments commerciaux ou artisanaux.

Le plan de gestion décrit la stratégie de gestion mise en œuvre sur ce site afin d'assurer la compatibilité entre les pollutions résiduelles et le projet d'aménagement retenu par la Ville de Fumel et d'en évaluer les coûts.

Ainsi, sur la base des données collectées et suite à l'examen des différentes mesures de gestion et des coûts associés, les options proposées, sont :

- un confinement superficiel de l'ensemble du site,
- des mesures de gestion au droit des secteurs A, B et C :
  - aucune dépollution n'est réalisée sur le site mais aucune habitation de plain-pied n'est construite dans ce périmètre.

Dans tous les cas et en raison d'une pollution diffuse en éléments non volatils (métaux et HAP) présente sur l'ensemble du site, les sols en place seront recouverts soit par du béton (au droit des bâtiments), soit par de l'enrobé (au droit des voiries), soit par une couche de terre saine d'au moins 0,30 cm d'épaisseur minimale (au droit des espaces verts).

L'Analyse des Risques Résiduels prédictive réalisées montre que les risques liés aux pollutions volatiles seront acceptables pour le scénario d'aménagement et les mesures de gestion retenus.

Concernant le traitement des pollutions métalliques présentes en profondeur, il apparaît que la solution de traitement des horizons de cendres de pyrites lixiviables des secteurs F et H, la plus adaptée est le confinement sur site après excavation. La Ville de Fumel n'a pas encore fait le choix de ce traitement.

Par ailleurs, nous recommandons la poursuite de la surveillance des eaux souterraines au droit des 3 piézomètres existants. De plus, la mise en place de piézomètres complémentaires au niveau des secteurs F et H permettrait de mieux appréhender l'impact éventuel de ces cendres de pyrite sur la qualité des eaux souterraines et ainsi d'affiner les recommandations en terme de gestion de ce secteur.

Les mesures de gestion proposées dans le présent document seront contrôlées, en phase travaux, par un organisme extérieur.

Dans tous les cas, il sera nécessaire de garder en mémoire la qualité environnementale du site (inscription aux documents d'urbanisme, au règlement du lotissement, à l'acte de vente et/ou aux hypothèques).