

TOTAL MARKETING SERVICES

DEPOT PETROLIER DE BRIVE LA GAILLARDE (19)

ETE ET ARR

PLAN DE GESTION

Rapport



Emetteur Arcadis
Agence de Toulouse
298 Allée du Lac
Greenpark – Bâtiment 11
CS 27620
31676 Labège Cedex
Tél. : +33 (0)5 62 24 53 53
Fax : +33 (0)5 62 24 53 99

Réf affaire Emetteur FR0114-0016

Chef de Projet Julien MATHA

Chargé de projet A. SAUSSEREAU

Nombre total de pages **52 + 22 annexes**

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	13/05/2016	Commentaires TOTAL MS	A. SAUSSEREAU J. MATHA	A BLUSSEAU	L. CLEMENTELLE
A02	19/05/2016	Deuxième diffusion	A. SAUSSEREAU J. MATHA	A BLUSSEAU	L. CLEMENTELLE

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive d'Arcadis ESG.

Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION ET CADRE	8
1.1	Cadre et objectifs de la prestation	8
1.2	Cadre normatif et méthodologique général	9
1.3	Limites et exclusions	9
2	RAPPEL DES DONNEES CONCERNANT LE SITE	11
2.1	Contexte géographique et environnemental	11
2.1.1	Localisation géographique et description du site	11
2.1.2	Synthèse historique du site	11
2.1.3	Géologie et nature des sols	12
2.1.4	Hydrologie	14
2.1.5	Hydrogéologie	14
2.2	Investigations réalisées au droit du site par ARCADIS	15
2.2.1	Données sur les sols	15
2.2.2	Données sur le tas de terre stocké sur site	19
2.2.3	Données sur les eaux souterraines au droit du site	20
2.3	Bilan des investigations réalisées	22
3	DEFINITION DU SCHEMA CONCEPTUEL	23
3.1	Champ de l'étude	23
3.2	Projet d'aménagement de la zone d'étude	23
3.3	Scénarios étudiés	23
3.4	Sources de pollutions	23
3.5	Voies de transferts et milieux d'exposition	23
3.6	Cibles potentielles	23
3.7	Voies d'exposition potentielles	24
3.7.1	Voies d'exposition retenues	24
3.7.2	Voies d'exposition non retenues	24
4	STRATEGIE D'ETUDE	25
5	MAITRISE DES SOURCES : TRAITEMENT DES POLLUTIONS CONCENTREES	26
5.1	Introduction	26
5.2	Délimitation des zones sources	26
5.2.1	Méthodologie et hypothèses	26
5.2.2	Estimation des volumes de terres à réhabiliter	27
5.3	Caractérisation des impacts localisés repérés sur le site	27
6	MAITRISE DES IMPACTS SANITAIRES : ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES	29

6.1	Méthodologie	29
6.2	Substances retenues pour les calculs de risques et concentrations utilisées	30
6.3	Modélisation des transferts	33
6.4	Calcul de l'exposition	34
6.4.1	Mode de calcul des DJE	34
6.4.2	Synthèse des paramètres d'exposition des cibles	34
6.4.3	Budget espace-temps	35
6.5	Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	35
6.6	Synthèse des niveaux de risques sanitaires	35
7	BILAN COUTS/AVANTAGES	37
7.1	Données d'entrée	37
7.2	Introduction au déroulement de l'étude et limites du bilan coûts/avantages proposé	37
7.3	Etude des meilleures technologies de traitement disponibles	38
7.3.1	Approche préliminaire par famille de traitement	38
7.3.2	Approche par technique	40
7.3.3	Descriptif technique simplifié des technologies présélectionnées (sols)	43
7.3.4	Etude technico-économique des solutions pressenties	43
7.3.5	Discussion et choix de la technologie retenue	45
7.3.6	Eléments techniques complémentaires concernant la technologie retenue	45
8	RECOMMANDATIONS, PRECRIPTIONS & SERVITUDES	47
8.1	Recommandations	47
8.1.1	Propres aux risques transitoires liés à la période de chantier de dépollution	47
8.1.2	Propres à la gestion des déblais	47
8.1.3	Propres aux opérations de remblaiement	47
8.2	Prescriptions	47
8.2.1	Propres à la période de chantier de dépollution	47
8.2.2	Surveillance de la qualité de la nappe	48
8.3	Mise en place de servitude d'utilité publique pour garder la mémoire du site et en fixer les usages possibles	48
9	MODELE DE FONCTIONNEMENT DU SITE	49
10	CONCLUSIONS	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartitions granulométriques locale	13
Tableau 2 : Définition de la texture des terrains locaux	13
Tableau 3 : Caractéristiques du fond géochimique local	16
Tableau 4 : Volumes estimatifs à traiter	27
Tableau 5 : Volumes estimatifs à traiter	27
Tableau 6 : Caractérisation des impacts sur site	28
Tableau 7 : Concentrations d'entrée des calculs de risques	32
Tableau 8 : Paramètres de transfert retenus	34
Tableau 9 : Paramètres d'exposition retenus	34
Tableau 10 : Budget espace-temps retenus	35
Tableau 11 : Synthèse des risques sanitaires – scénario tertiaire	35
Tableau 12 : Avantages et inconvénients des différentes techniques de dépollution des sols	40
Tableau 13 : Avantages et inconvénients des techniques de traitement des sols utilisables dans le cadre du présent projet	41
Tableau 14 : Estimations financières des différentes méthodes retenues pour le traitement des sols	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : analyse granulométrique : triangle des textures des sols	13
---	----

GLOSSAIRE

AEP :	Alimentation en Eau Potable	OEHHA :	Office of Environmental Health Hazard Assessment (agence américaine)
ARR :	Analyse des Risques Résiduels	OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
AEI :	Alimentation en Eau Industrielle	PCB :	PolyChloroBiphényles
ASPITET :	Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces	PEHD :	PolyEthylène Haute Densité
ATSDR :	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agence américaine)	Pz/PZ :	Piézomètre
BTEXN :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes, Naphtalène	QD :	Quotient de Danger
CNTP :	Conditions Normales de Température et de Pression	RDC :	Rez-de-chaussée
COHV :	Composés Organo-Halogénés Volatils (solvants chlorés)	RIVM :	Rijksinstituut voor Volksgezondheit en Milieu (agence hollandaise)
DJE :	Dose Journalière d'Exposition	TEF :	Facteur d'équivalence toxicologique
DR :	Dose de Référence	UPDS :	Union des Professionnels de la Dépollution des Sols
EQRS :	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires	US EPA :	United States Environmental Protection Agency
ERI :	Excès de Risque Individuel	VTR :	Valeur Toxicologique de Référence
ERU :	Excès de Risque Unitaire		
ETBE :	Ethyl Tertio Butyl Ether		
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques		
HC :	Composés constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène uniquement. Ce terme est donc utilisé pour désigner les hydrocarbures dits « pétroliers », autrement dit les hydrocarbures aromatiques et aliphatiques.		
HCSP :	Haut Conseil de la Santé Publique		
INERIS :	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des riSques		
ISD :	Installation de Stockage des Déchets (I : Inertes, ND : Non dangereux, D : Dangereux)		
LQ :	Limite de Quantification		
MTBE :	Méthyl Tertio Butyl Ether		
Métaux :	Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn)		

RESUME NON TECHNIQUE

A la demande du Département Gestion des Passifs Environnementaux de TOTAL MARKETING SERVICES (TOTAL MS), Arcadis a réalisé sur le site de l'ancien dépôt pétrolier de Brive-la-Gaillarde (19), un plan de gestion, en conformité avec la circulaire du 8 février 2007.

Les études environnementales antérieures au diagnostic approfondi mené en 2014/2015 par ARCADIS (réf : FR0114-001661-EXE-00002-RPT-A03-FINAL) n'ont pas été prises en compte dans le cadre de cette étude. En effet, ces investigations ont été réalisées il y a 20 ans environ et compte tenu du caractère évolutif de l'état des milieux sur une telle durée, ces données n'ont pas été exploitées. Le diagnostic approfondi d'Arcadis a notamment visé les zones investiguées en 1996. Aussi, les données du diagnostic d'Arcadis, exploitées dans cette étude, sont considérées, pour les zones concernées, comme étant les données actualisées des investigations de 1996.

Une reconversion de ce site pour un usage tertiaire (conformément au PLU de Brive-la-Gaillarde) est prévue.

Compte-tenu des impacts mis en évidence en 2014/2015 dans les sols (absence d'impact au droit des eaux souterraines), et en conformité avec les préconisations de la circulaire du 8 février 2007, il est nécessaire de traiter les pépites de pollution (zones concentrées) suivantes :

- zones concentrées en HAP mises en évidence au droit des sondages PM5 et PM18, la masse de terre estimée associée à ces impacts s'élève à 150 t.
- Zone concentrée en HC C₅-C₄₀ mises en évidence au droit des sondages PM 12 et PM 120, la masse de terre estimée associée à ces impacts s'élève à 285 t.

Par ailleurs, afin de déterminer si les travaux de réhabilitation devaient être contraints ou non par des critères sanitaires, une analyse des enjeux sanitaires a été réalisée toute pollution en place, pour un scénario tertiaire, pour les employés qui travailleront sur le site, et potentiellement exposés par ingestion de sols et de poussières, et par inhalation de vapeurs issues des sols à l'intérieur des bâtiments. Les calculs de risques sanitaires réalisés ont montré des niveaux de risques associés aux concentrations en présence inférieurs aux valeurs seuils recommandées. La réhabilitation du site ne sera donc pas contrainte par des critères sanitaires, et aucune mesure de gestion des risques sanitaires n'est par conséquent nécessaire.

Ainsi la masse totale estimative de sol à traiter prise en compte dans le cadre de ce plan de gestion est de 435 tonnes.

Une estimation des coûts, avantages et inconvénients des différentes techniques permettant de traiter ces pépites de pollution a été réalisée, au travers d'un bilan coûts/avantages. Il apparaît comme étant le plus judicieux de procéder à une gestion hors site des terres impactées (qui pourraient selon la typologie des composés polluants considérés et leur niveau de concentration être dirigés soient en centre de traitement biologique, soit en centre de stockage de déchets non dangereux ou dangereux).

Le coût estimatif, sur la base des volumes estimatifs calculés, serait compris entre 70 k€ et 100 k€.

1 INTRODUCTION ET CADRE

1.1 Cadre et objectifs de la prestation

Dans le cadre de son projet de remise en état environnemental des parcelles occupées par l'ancien dépôt pétrolier de Brive-la-Gaillarde (19), le Département Gestion des Passifs Environnementaux de TOTAL MARKETING SERVICES (TOTAL MS) a missionné Arcadis pour réaliser :

- la mise à jour des études historiques et de vulnérabilité de l'environnement ;
- un diagnostic environnemental approfondi et l'élaboration d'un schéma conceptuel.

Les résultats de ces études ont été présentés dans le rapport Arcadis FR0114-001661-EXE-00002-RPT-A03-FINAL en date du 09/05/2016.

L'étude de vulnérabilité a mis en évidence :

- une lithologie des terrains de type : remblais limoneux ou argileux en surface ou présence de terre végétale auxquels succèdent des limons argileux entre 0,5 et 3 m de profondeur, puis des limons sableux jusqu'à 5 m de profondeur ;
- une nappe alluvionnaire vulnérable située entre 4 et 6,5 m de profondeur selon la localisation sur le site. Celle-ci présente une direction d'écoulement nord / nord-ouest ;
- quatre cours d'eau à proximité du site. Le ruisseau Planchetorte (le plus proche), localisé à 500 mètres à l'est du site, est considéré comme faiblement vulnérable à un impact provenant du site.

L'étude historique réalisée sur la base des informations fournies par TOTAL MS et des bases de données consultables a permis de recenser 15 sources potentielles de pollution au droit du site.

A ces études documentaires, ont succédé une série d'investigations menées sur les milieux sol et eaux souterraines qui ont permis de mettre en évidence l'absence d'impact dans les eaux souterraines et d'identifier sept (7) zones impactées dans le sous-sol. Une synthèse des résultats obtenus est présentée dans les § 2.2 et 2.3 de ce document.

Une reconversion de ce site pour un usage tertiaire (conformément au PLU de Brive-la-Gaillarde) est prévue. Conformément à la circulaire du 8 février 2007¹, lorsqu'un ancien terrain industriel fait l'objet d'un projet de réhabilitation, la réalisation d'un plan de gestion est requise.

Le présent rapport (indissociable des annexes associées) a donc pour objectif de présenter le plan de gestion relatif à l'ancien dépôt pétrolier de Brive-la-Gaillarde (19), de TOTAL MS, pour un usage futur de type tertiaire.

Les objectifs du plan de gestion sont :

- De vérifier la compatibilité sanitaire du site en l'état avec les usages futurs envisagés ;
- Si nécessaire, de déterminer les mesures de gestion des pollutions et des risques sanitaires permettant de rendre le site compatible avec l'usage et avec la notion d'amélioration de la qualité des milieux,

¹ Texte et documents explicatifs de la circulaire du 8 février 2007 accessibles sur le site du MEDDE : <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/>

- De réaliser un bilan coûts/avantages de ces solutions de gestion des pollutions et des risques
- D'estimer les risques résiduels attendus après mise en œuvre des solutions de gestion des pollutions et des risques
- De fournir le modèle de fonctionnement du site.

Il est basé sur les données recueillies lors du diagnostic réalisé par Arcadis en novembre 2014 et janvier 2015.

1.2 Cadre normatif et méthodologique général

Notre étude a été réalisée conformément aux prescriptions et méthodologies décrites dans :

- le dossier d'offre d'ARCADIS en date du 18/07/14 et référencé AFR-OFR-00001-NOT-A01 ;
- le CCTP de l'AO n° AFF TD 14 0176 daté du 13 juin 2014 fourni par TOTAL MARKETING SERVICES ;
- les circulaires du 8 février 2007 de la Ministre de l'Ecologie concernant les modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués ;
- le guide "Diagnostic de site" version 0 du 08/02/07 du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (actuellement MEDDE) ;
- la norme NF X 31-620-2 intitulée "Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle", publiée par l'AFNOR en juin 2011. la norme NF X 31-620-2 intitulée "Prestations de services relatives aux sites et sols pollués – Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle", publiée par l'AFNOR en juin 2011.
Les prestations à réaliser correspondent en tout ou partie à :
 - Analyse des enjeux sanitaires (A320)
 - Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages (A330)

1.3 Limites et exclusions

Le périmètre de la présente étude concerne les pollutions chimiques des sols et des eaux souterraines conformément aux résultats des études documentaires. Il ne traite pas des pollutions par des substances radioactives, par des agents pathogènes, par l'amiante ou par des engins pyrotechniques.

De plus, les prestations réalisées ne concernent notamment pas à ce stade :

- d'un plan de gestion hors site ;
- la prise en compte d'autres scénarios ou voies d'exposition que ceux prévus dans le § 1.1 ci-dessus ;
- la mise à jour des calculs de risques en cas de changements dans le projet d'aménagement ou d'acquisition de nouvelles données ;
- la constitution des dossiers éventuels de demande de servitudes ;
- le chiffrage détaillé des travaux à réaliser dans le cadre de la réhabilitation ou de la gestion des déblais ;
- l'étude technico-économique de la gestion des déblais générés par les terrassements prévus par le projet (sous-sol, vide sanitaire, VRD...) ;
- la recherche des exutoires pour les déblais de terrassement ;

- la réalisation des travaux de réhabilitation ;
- la réalisation des mesures du plan de gestion ;
- le suivi et le contrôle des opérations de dépollution et de la réalisation des mesures de gestion ;
- l'élaboration du procès-verbal de récolement à l'issue des opérations de dépollution ;
- le bilan quadriennal de la surveillance environnementale.

Par ailleurs, précisons que des investigations de caractérisation environnementale sont conditionnées par de nombreux facteurs, et notamment :

- pertinence et fiabilité des données existantes ;
- hétérogénéité naturelle et/ou anthropique du milieu souterrain ;
- représentativité des analyses effectuées en laboratoire (représentativité de la prise élémentaire pour analyse par rapport à l'échantillon prélevé).

En conséquence, un constat basé sur des prélèvements ponctuels (discrétisation) ne peut raisonnablement pas prétendre à une détermination exhaustive des caractéristiques du sous-sol et de son encombrement, et ne permet donc pas d'évaluer précisément d'éventuels volumes de sols contaminés.

2 RAPPEL DES DONNEES CONCERNANT LE SITE

2.1 Contexte géographique et environnemental

L'ensemble des données présentées ci-après est notamment issu du rapport de diagnostic réalisé par ARCADIS n° 14-001661-EXE-00002-RPT-A03 FINAL en date du 09/05/2016.

Pour davantage d'informations, le lecteur pourra se référer à ce document.

2.1.1 Localisation géographique et description du site

Annexe 1 : Plan de localisation du site sur extrait de carte IGN

Annexe 2 : Plan de localisation du site sur photographie aérienne

Annexe 2Le site d'étude est localisé sur le chemin du Mazaud dans la zone d'activité artisanale et commerciale du Mazaud, au sud-ouest de la commune de Brive-la-Gaillarde (19).

Le site a une superficie d'environ 37 000 m² et se trouve à une altitude d'environ 120 m NGF.

Ses coordonnées cadastrales sont les suivantes : Section 000 EP 01, parcelle n°196 et 200.

Ses coordonnées (au point central du site) Lambert 93 sont les suivantes :

- X = 580408.11 ;
- Y = 6450541.86.

Le site se présente actuellement sous la forme d'une friche présentant une légère déclivité du sud vers le nord de l'ordre de 1%. Les installations de l'ancien dépôt pétrolier ont été démantelées dans le courant de l'année 2014, l'état actuel des surfaces correspond à du sol nu.

Le site est bordé :

- au sud : par la voie ferrée Brive-Périgueux, puis par des champs et des entreprises de la zone commerciale ;
- à l'ouest et à l'est : par des entreprises d'une zone commerciale (magasin de sports, supermarché...);
- au nord : par la RD1089 puis par l'aérodrome de Brive.

Les habitations les plus proches sont situées à 1 km à l'est.

2.1.2 Synthèse historique du site

Le dépôt pétrolier de Brive a été exploité de 1969 à août 2012. Il a été autorisé à exercer son activité de stockage et de distribution de carburants par arrêté préfectoral du 27 juin 1969. Il a été successivement exploité par la CRF (compagnie française de raffinage - enseigne TOTAL), les entrepôts pétroliers de la Corrèze, puis le groupement Pétrolier Brive-Corrèze, pour devenir à part entière un dépôt TOTAL à partir de novembre 2003.

Le dépôt pétrolier était soumis à la réglementation relative aux installations classées SEVESO Seuil haut.

Les produits stockés sur le site ont été principalement des hydrocarbures (gazole, fioul, essence (super carburant et sans plomb), fioul domestique) et des additifs.

Le site a abrité jusqu'à 14 bacs et cuves de stockage pour atteindre une capacité de stockage maximum de 27 605 m³.

Un diagnostic de la qualité des sols et eaux souterraines a été mené en 1996 par la société ATE (« diagnostic du sous-sol, 17 Septembre 1996 »). Au total 51 sondages sol ont été réalisés répartis sur les zones du poste de chargement des camions, de l'îlot de chargement, et de la zone de dépotage. Les mesures réalisées à l'aide du PID lors de ces investigations ont mis en évidence des impacts en substances volatiles dans les sols. Deux concentrations élevées en hydrocarbures C₁₀-C₄₀ dans les sols ont été relevées au droit de deux sondages (PCC et zone de dépotage) avec des valeurs respectives de 3 370 et 610 mg/kg. Dans la mesure où ces investigations ont été réalisées il y a 20 ans environ et de par le caractère évolutif de l'état des milieux sur une telle durée, ces données n'ont pas été exploitées dans la suite de l'étude. Le diagnostic approfondi d'Arcadis de 2014/2015 a notamment visé les zones investiguées en 1996. Aussi, les données du diagnostic d'Arcadis, exploitées dans la suite de l'étude, sont considérées, pour les zones concernées, comme étant les données actualisées des investigations de 1996.

L'arrêt de l'exploitation du site a été effectif le 31 août 2012.

Les travaux de démantèlement de l'ensemble des installations présentes sur site (superstructures et infrastructures) et la gestion des déchets engendrés ont été finalisés le 27 mai 2014.

2.1.3 Géologie et nature des sols

Annexe 3 : Plan de localisation du site sur extrait de carte géologique

2.1.3.1 Contexte géologique

Le site est implanté à la limite des formations alluvionnaires de déjection anciennes et des alluvions anciennes de haut niveau remaniées. Ces dernières reposent sur les grès rouge de Brive localisés à des profondeurs comprises entre 7 et 10 m.

Un extrait de la carte géologique de Brive-la-Gaillarde au 1/50 000^e (carte BRGM n°785) est présenté en Annexe 3.

2.1.3.2 Coupes lithologiques

Les relevés des terrains ont mis en évidence la coupe lithologie type suivante sur l'ensemble du site.

- 0-0,1m : remblais limoneux ou argileux au niveau de la voie ferrée et des anciens bâtiments administratifs / terre végétale et cailloux sur le reste du site ;
- 0,1-0,5 m : argile ou limons marron ;
- 0,5-3,5 m : limons argileux marron clair à ocre avec blocs argile grise ;
- 3,5-5 m : limons sableux à sable limoneux marron clair à ocre.

Ponctuellement, des passages de remblais ont été observés jusqu'à 1 m de profondeur.

Les observations de terrain et les coupes lithologiques réalisées au droit du site sont cohérentes avec le contexte géologique local décrit précédemment (formations alluvionnaires sur les 7 premiers mètres).

2.1.3.3 Analyses granulométriques

Le tableau ci-après présente les résultats des analyses granulométriques sur les 4 échantillons prélevés à cet effet dans les 2 lithologies principales observées au droit du site.

A noter que pour l'interprétation des résultats fournis par le laboratoire (présentés ci-dessous) dans le triangle des textures, un calcul préliminaire a été réalisé dans le but de ramener à 100 % les fractions inférieures à 2 000 µm.

Répartition selon la taille des particules (%)	Sondage	PM49	PM49	PM108	PM108
	Profondeur (m)	(1-2)	(4-4.5)	(1-2)	(3-4)
	Observation de terrain	Limons argileux	Sable avec beaucoup de cailloux	Limon et argile	Sable + cailloux et cailloutis
Refus à 2 mm	-	4	37	39	8
Sable 50-2000 µm	% parts min	66	55.40	52	88
Limon 2-50 µm	% parts min	11	2.60	0	1
Argile <2 µm	% parts min	19	5	9	3

Tableau 1 : Répartitions granulométriques locale

	PM49 (1-2 m)	PM49 (4-4.5 m)	PM108 (1-2 m)	PM108 (3-4 m)
Refus à 2 mm	4	37	39	8
Sable 2000-50 µm	68,75	87,94	85,25	95,65
Limon 2-50 µm	11,46	4,13	0,00	1,09
Argile <2 µm	19,79	7,94	14,75	3,26

Tableau 2 : Définition de la texture des terrains locaux

D'après le triangle des textures des sols (cf. Figure 1 ci-après), ces sols sont à classier ainsi :

- PM49 (1-2 m) : limono-sableux ;
- PM49 (4-4.5m) : sablo-limoneux ;
- PM108 (1-2 m) : sablo-limoneux ;
- PM108 (3-4 m) : sableux.

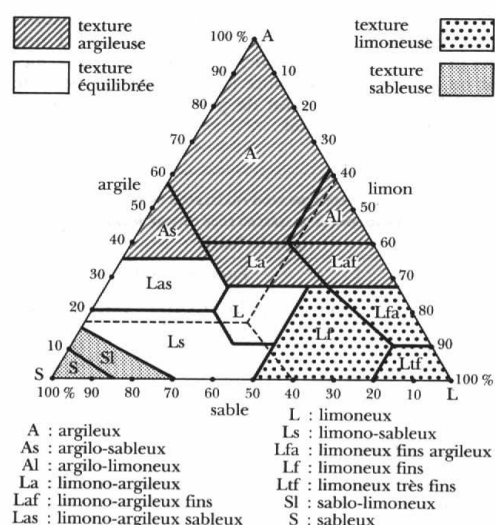


Figure 1 : analyse granulométrique : triangle des textures des sols

L'analyse granulométrique est globalement cohérente avec les observations lithologiques, et avec le contexte géologique du site décrit précédemment (formations alluvionnaires).

2.1.4 Hydrologie

Le dépôt de Brive est implanté à environ 2 km à l'est du cours d'eau La Vézère et à 2 km au sud du cours d'eau La Corrèze. Le ruisseau du Rieux Tort est présent à environ 900 m à l'ouest. Le cours d'eau superficiel le plus proche recensé à ce stade est le ruisseau de Planchetorte qui se trouve à 500 m à l'est du dépôt. Ce ruisseau s'écoule vers le nord pour rejoindre la rivière Corrèze qui elle-même rejoint la Vézère à 2,5 km au nord du dépôt.

Compte tenu de la localisation de ce cours d'eau par rapport au dépôt, il est considéré comme peu vulnérable.

2.1.5 Hydrogéologie

Le site SIEAG Adour-Garonne recense deux masses d'eaux principales dans le secteur du site :

- une masse d'eau superficielle libre, les alluvions de la Vézère et de la Corrèze ;
- une masse d'eau profonde libre à dominante sédimentaire non alluviale, les grès du bassin de Brive.

Cinq piézomètres sont présents sur le site. Les ouvrages Pz1, Pz2 et Pz3, localisés le long de la bordure est du site, ont été posés en 1998. Pz4 a été posé en 2008, en limite sud-ouest du site. Pz5 a été posé par Arcadis en janvier 2015.

La nappe des alluvions est observée entre 4 et 5 m de profondeur sur la partie nord du dépôt et vers 6,5 m sur la partie sud (altitude des terrains plus élevée).

Dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux souterraines menée depuis 1998 sur ce site, un écoulement souterrain dans la nappe des alluvions vers le nord/nord-ouest a été mis en évidence, selon un gradient hydraulique moyen de 0,42%. La direction générale d'écoulement des eaux souterraines au droit du site mise en évidence par Arcadis en janvier 2015 est orientée vers le nord/nord-ouest avec un gradient hydraulique de 0,4.%. Le sens d'écoulement correspond à ceux enregistrés depuis 1998.

Dans cette configuration, le réseau piézométrique actuel de suivi de la qualité des eaux souterraines au droit du site est composé de 5 ouvrages localisés comme suit :

- L'amont hydraulique est caractérisé par le PZ3 ;
- Les piézomètres PZ4, PZ2, et PZ1 sont en position latérale ;
- L'aval hydraulique du site est représenté par PZ5.

Les terrains de surfaces étant relativement imperméables, on observe également par endroits des lentilles d'eau susceptibles d'être retrouvées jusqu'à 1,5 m de profondeur résultant de l'accumulation des eaux météoriques.

Au regard de leur faible profondeur, les eaux souterraines présentes au droit du site sont considérées comme vulnérables à une pollution.

2.2 Investigations réalisées au droit du site par ARCADIS

Annexe 4 : Plan du site et implantation des investigations

2.2.1 Données sur les sols

Annexe 5 : Tableaux de synthèse des résultats de sol

Le site a fait l'objet d'un diagnostic approfondi mené par ARCADIS en novembre 2014.

Dans le cadre de ces investigations, les sondages suivants ont été réalisés :

- 111 sondages à la pelle mécanique jusqu'à une profondeur moyenne de 4,5 m ;
- 3 sondages à la tarière manuelle, en dehors des limites du site, pour la détermination du « fond géochimique local » en métaux, jusqu'à 1,5 m de profondeur ;

soit un total de **114 sondages** sur l'ensemble du site et ses abords.

Ces informations sont précisées sur le plan d'implantation fourni en Annexe 4 : Plan du site et implantation des investigations.

2.2.1.1 Analyses réalisées

Au total, 255 échantillons de sols (dont trois pour les fonds géochimiques et 2 pour caractériser le stock provisoire de terres situé en partie centrale de la parcelle) ont été prélevés et sélectionnés pour analyses.

Les composés analysés en fonction des échantillons prélevés sont les suivants :

- Métaux lourds (As, Cd, Cr, Ni, Hg, Cu, Pb, Zn) ;
- Hydrocarbures en coupes C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀ dont analyses par méthode TPH ;
- HAP (16 composés de l'US EPA) ;
- BTEX ;
- PCB ;
- ETBE et MTBE ;
- Pack ISDI ;
- Granulométrie et COT.

Les résultats analytiques sont disponibles en Annexe 5 : Tableaux de synthèse des résultats de sol

2.2.1.2 Valeurs de comparaison

Il n'existe pas, en France, de valeur limite définissant des seuils de pollution pour envisager une réhabilitation du site. Ceux-ci sont fournis au cas par cas dans le cadre d'un plan de gestion.

Toutefois, pour pouvoir orienter les actions, les concentrations analysées dans les sols sont comparées entre elles et par rapport aux critères suivants :

- Les **métaux** sont des substances présentes naturellement dans les sols en dehors de toute pollution. Certaines roches sont, en effet, très riches en métaux du fait de la présence des minéraux qu'elles contiennent : c'est le fond géochimique naturel. Les résultats analytiques en métaux mesurés sur le site ont donc été comparés aux gammes de concentrations couramment observées dans des sols ordinaires (étude ASPITET- INRA- <http://etm.oreans.inra.fr>).

Le fond géochimique local évalué à partir des 3 prélèvements effectués à la tarière manuelle hors site (FG1, 2 et 3) est présenté dans le tableau ci-après.

Désignation de l'échantillon (Année-Site-Sondage (Profondeur en m))		Gamme Aspité "sols ordinaires" - Fond géochimique "sols ruraux"	14_BRI_FG1	14_BRI_FG2	14_BRI_FG3
Matière sèche					
Matière sèche	%		83,2	81,1	86,1
Métaux lourds					
Arsenic (As)	mg/kg	1,0-25,0	12	11	11
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,05-0,45	<0,2	<0,2	<0,2
Chrome total (Cr)	mg/kg	10,0-90,0	25	32	24
Cuivre (Cu)	mg/kg	2,0-20,0	8,2	9,1	19
Mercure (Hg)	mg/kg	0,02-0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Nickel (Ni)	mg/kg	2,0-60	13	17	24
Plomb (Pb)	mg/kg	9,0-50	20	21	14
Zinc (Zn)	mg/kg	10-100	31	40	48

Tableau 3 : Caractéristiques du fond géochimique local

Attention, ces valeurs ne sont que des valeurs guides. Il ne s'agit pas d'objectifs de réhabilitation des sites pollués qui sont définis au cas par cas sur la base des performances atteignables par les techniques de réhabilitation disponibles et/ou de calculs de risques, dans le cadre du plan de gestion du site au sens des circulaires du Ministère en charge de l'Environnement du 08/02/2007.

Dans le cadre de la gestion de terres excavées, les concentrations dans les sols seront comparées :

- aux valeurs seuils d'acceptation en Installation de Stockage de Déchets industriels Inertes (ISDI), lorsqu'elles existent, présentées dans l'arrêté du 12 décembre 2014, fixant la liste des types de déchets inertes admissibles et les conditions d'exploitation des installations de stockage de déchets inertes.

Attention, ces valeurs ne sont que des valeurs guides, utilisables dans le cadre de la gestion des déblais d'un site. Les centres de stockage pour matériaux inertes (ISDI) se réservent le droit de refuser des terres si ces dernières présentent des indices organoleptiques de pollution (odeur, couleur) ou un aspect jugé suspect et ce, même si les résultats d'analyses sont inférieurs aux seuils d'acceptation existant. Par exemple, la simple présence de mâchefer engendre généralement un refus auprès de ces centres, et ce, même si les composés métalliques présents ne sont pas lixiviables.

2.2.1.3 Indices de pollution

Plusieurs indices de pollution ont été observés lors des investigations :

- Certaines fouilles présentaient une couleur noire/grise généralement dans la couche de remblais superficielle (cas des fouilles PM120, PM105, PM111, PM11, PM76) mais parfois également dans les couches plus profondes de 3 à 5 m de profondeur (cas notamment des fouilles PM121, PM120, PM118, PM11, PM111) ;
- Une vingtaine de fouilles ont présenté des odeurs d'hydrocarbures. Les fouilles PM120, PM122, PM17, PM19, PM7, PM111, PM118, PM8, et PM12 notamment ont présenté de fortes odeurs ;
- Concernant les valeurs PID :
 - 9 sondages ont révélé des mesures PID supérieures à 100 ppm au droit des sondages : PM121, PM118, PM12, PM8, PM120, PM6, PM17, PM122, PM19 ;

- 7 sondages ont révélé des valeurs PID comprises entre 50 et 100 ppm au droit des sondages : PM7, PM111, PM87, PM20, PM18, PM81, et PM13 ;
- Pour les autres sondages, les valeurs restent au maximum de l'ordre de quelques dizaines de ppm.

2.2.1.4 Interprétation des résultats en métaux

Les 8 métaux ont été analysés sur 31 sondages répartis sur l'ensemble du site.

La totalité des résultats sur l'ensemble des métaux est inférieure aux valeurs hautes de la gamme de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires ASPITET.

On observe cependant des dépassements du fond géochimique local en arsenic et en chrome sur les sondages suivants (restants inférieurs aux valeurs hautes de la gamme ASPITET) :

- PM34, entre 0,5 et 1 m, 22 mg/kg en arsenic et 44 mg/kg en chrome ;
- PM41, entre 0,5 et 1 m, 40 mg/kg en chrome ;
- PM42, entre 1 et 2 m, 23 mg/kg en arsenic et 53 mg/kg en chrome ;
- PM111, entre 4 et 5 m, 24 mg/kg en arsenic ;
- PM110, entre 2 et 3 m : 20 mg/kg en arsenic.

2.2.1.5 Interprétation des résultats en hydrocarbures C₁₀-C₄₀

Ancien poste de chargement des camions 1 (PCC1 : SPP n°5)

Les hydrocarbures C₁₀-C₄₀ ont été détectés (>=20 mg/kg) au droit de 14 sondages sur les 16 analysés, le seuil de comparaison ISDI de 500 mg/kg n'étant dépassé que pour les échantillons suivants :

- Au droit de PM12, entre 0,1 et 1 m avec une concentration maximum de 4 500 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁) ;
- Au droit de PM 13, avec une concentration de 890 mg/kg entre 0,5 et 1 m (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁) ;
- Au droit de PM11, entre 0,1 et 1 m, avec une concentration maximum de 2 400 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁).

Pour cette zone, la pollution est exclusivement sur le premier mètre. On notera l'absence d'impacts sur les terrains sous-jacents qui confirme la délimitation verticale de l'impact.

Ancien îlot de chargement des camions (PCC2 : SPP n°11)

Les hydrocarbures C₁₀-C₄₀ ont été détectés (>20 mg/kg) sur l'ensemble des sondages de cette zone, le seuil de comparaison ISDI de 500 mg/kg n'étant dépassé que pour les échantillons suivants :

- Au droit de PM118 entre 3 et 4 m, avec une concentration de 510 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₂-C₁₆) ;
- Au droit de PM119 avec une concentration de 620 mg/kg entre 4 et 5,4 m (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁) ;
- Au droit de PM120, entre 0,1 et 1 m et entre 4 et 5 m avec une concentration maximum de 4 200 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₂-C₂₁) ;
- Au droit de PM122, entre 0,5 et 1 m avec une concentration de 1 200 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁).

Dans cette zone, une pollution sur les horizons profonds est principalement observée dans la zone de battement de la nappe. Dans ce cas, on notera l'absence d'impacts sur les terrains sus-jacents.

Réseau de distribution (SPP n°15)

Le seuil de comparaison ISDI des hydrocarbures C₁₀-C₄₀ de 500 mg/kg est dépassé pour les échantillons suivants :

- Au droit de PM105 entre 0,5 et 2 m, avec une concentration maximum de 2 900 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₆-C₂₁) ;
- Au droit de PM111 entre 1 et 3 m, avec une concentration maximum de 1 800 mg/kg (avec prédominance des fractions C₁₂-C₁₆).

Ces sondages sont positionnés au droit de l'ancienne canalisation de distribution de gasoil. On notera l'absence d'impact sur les terrains sus et sous-jacents qui confirme la délimitation verticale de l'impact.

Ancienne pomperie d'additifs (P3 : SPP 12)

Au droit de PM17, une concentration de 620 mg/kg a été détectée entre 0,1 et 0,5 m.

Sur l'ensemble des sondages, la lecture des résultats TPH met en évidence une prédominance des hydrocarbures aliphatiques principalement pour les fractions C₁₂-C₁₆ et C₁₆-C₂₁.

2.2.1.6 Interprétation des résultats en hydrocarbures C₅-C₁₀

Ancien poste de chargement des camions 1 (PCC1 : SPP n°5)

Les hydrocarbures C₅-C₁₀ ont été détectés sur les 3 sondages suivants parmi les 16 analysés :

- Au droit de PM11 entre 0,5 et 1 m, avec une concentration en C₈-C₁₀ de 13 mg/kg ;
- Au droit de PM12 entre 0,5 et 1 m avec une concentration en C₅-C₁₀ de 120 mg/kg (avec prédominance des fractions C₈-C₁₀) ;
- Au droit de PM13, entre 0,5 et 1 m, avec une concentration en C₅-C₁₀ de 30 mg/kg (avec prédominance des fractions C₈-C₁₀).

On notera l'absence d'impact sur les terrains sous-jacents qui confirme la délimitation verticale de l'impact.

Ancien îlot de chargement des camions (PCC2 : SPP n°11)

Les hydrocarbures C₅-C₁₀ ont été détectés sur les 4 sondages suivants :

- Au droit de PM118 entre 3 et 4 m avec une concentration en C₈-C₁₀ de 16 mg/kg ;
- Au droit de PM119 entre 4 et 5,4 m avec une concentration en C₈-C₁₀ de 14 mg/kg ;
- Au droit de PM120, entre 0,5 et 1 m et entre 4 et 5 m, avec une concentration en C₅-C₁₀ de 93 mg/kg (avec prédominance des fractions C₈-C₁₀) ;
- Au droit de PM122, entre 0,5 et 2 m, avec une concentration maximum en C₈-C₁₀ de 13 mg/kg.

On notera l'absence d'impact sur les terrains sus et sous-jacents qui confirme la délimitation verticale de l'impact.

Réseau de distribution (SPP n°15)

Les hydrocarbures C₅-C₁₀ ont été détectés sur les 2 sondages suivants :

- Au droit de PM105, entre 0,5 et 2 m avec une concentration maximum en C₅-C₁₀ de 52 mg/kg (avec prédominance des fractions C₈-C₁₀) ;
- Au droit de PM111 entre 1 et 3 m avec une concentration en C₅-C₁₀ de 49 mg/kg (avec prédominance des fractions C₈-C₁₀).

On notera l'absence d'impact sur les terrains sus et sous-jacents qui confirme la délimitation verticale de l'impact.

L'ensemble des sondages pour lesquels une détection des C₅-C₁₀ est observée coïncide avec les sondages impactés en C₁₀-C₄₀.

2.2.1.7 Interprétation des résultats en HAP

Sur les 172 échantillons ayant fait l'objet d'analyses en HAP, 19 présentent des concentrations supérieures aux limites de quantification.

Un dépassement du critère ISDI (50 mg/kg) sur la somme des 16 HAP a été relevé au niveau de l'ancien poste de chargement des camions n°1 et des pomperies P2 et P3 (PCC1 : SPP n°5 / P2 : SPP n°2 / P3 : SPP n°12), pour les 3 sondages suivants :

- Au droit de PM5 entre 0.1 et 0.5 m avec une concentration de 370 mg/kg ;
- Au droit de PM8 entre 0.1 et 0.5 m avec une concentration de 65 mg/kg ;
- Au droit de PM18 entre 0.5 et 1 m avec une concentration de 590 mg/kg.

2.2.1.8 Interprétation des résultats en BTEX

Sur les 105 sondages analysés, seuls 4 sondages ont montré la présence de ces composés, sans toutefois dépasser le critère ISDI (6 mg/kg) :

- PM12 (0,1-0,5) – 0,87 mg/kg (Ancien poste de chargement des camions 1 (PCC1 : SPP n°5),
- PM111 (1-2) – 0,29 mg/kg (Réseau de distribution (SPP n°15) ;
- PM120 (4-5) – 0,36mg/kg (Ancien îlot de chargement des camions (PCC2 : SPP n°11) ;
- PM17 (0,1-0,5) – 0,34mg/kg (Ancienne pomperie d'additifs (P3 : SPP 12),

2.2.1.9 Interprétation des résultats en éthers

Les 10 échantillons analysés en ETBE et MTBE présentent des résultats inférieurs à la limite de quantification du laboratoire.

2.2.1.10 Interprétation des résultats en PCB

Les trois échantillons du sondage PM21 analysés en PCB au droit de l'ancien transformateur (SPP n°13) présentent des résultats inférieurs à la limite de quantification du laboratoire.

2.2.2 Données sur le tas de terre stocké sur site

A la fin des travaux de démantèlement en mai 2014, des terres présentant des indices organoleptiques rattachable à la présence d'hydrocarbures ont été laissées sur site sur une aire de rétention couverte d'une bâche dans l'attente de leur caractérisation chimique. Les dimensions de ce stock sont les suivantes :

- Longueur : 8 m
- Largeur : 6 m
- Hauteur : 1 m

Soit un volume et une masse estimatifs respectivement de 48 m³ et 92 tonnes (en considérant une densité des terres de l'ordre de 1,9).

Afin de caractériser les terres stockées sur site, 6 tarières manuelles ont été effectuées réparties sur l'ensemble du stock. Deux échantillons moyens C1 et C2 ont été réalisés sur la base d'une prise d'échantillons multiple.

2.2.2.1 Valeurs de comparaison

Dans le cadre de la gestion de terres stockées, les concentrations seront comparées aux valeurs seuils d'acceptation en Installation de Stockage de Déchets industriels Inertes (ISDI), lorsqu'elles existent, présentées dans l'arrêté du 12 décembre 2014, fixant la liste des types de déchets inertes admissibles et les conditions d'exploitation des installations de stockage de déchets inertes.

Attention, ces valeurs ne sont que des valeurs guides, utilisables dans le cadre de la gestion des déblais d'un site. Les centres de stockage pour matériaux inertes (ISDI) se réservent le droit de refuser des terres si ces dernières présentent des indices organoleptiques de pollution (odeur, couleur) ou un aspect jugé suspect et ce, même si les résultats d'analyses sont inférieurs aux seuils d'acceptation existant. Par exemple, la simple présence de mâchefer engendre généralement un refus auprès de ces centres, et ce, même si les composés métalliques présents ne sont pas lixiviables.

2.2.2.2 Résultats analytiques et commentaires

Des analyses de type pack classe 3 ont été réalisées sur le stock provisoire de terres identifiées comme impactées. Les deux échantillons composites prélevés ont été analysés.

La caractérisation des stocks de terres a mis en évidence :

- la présence significative d'hydrocarbures C₁₀-C₄₀ sur les composites 1 (480 mg/kg) et 2 (990 mg/kg) avec une prédominance sur les fractions C₁₆-C₂₁ ;
- la détection de HAP avec des valeurs inférieures au critère ISDI, notamment le naphthalène (0,03 mg/kg pour C1 et C2) ;
- l'absence de teneurs en BTEX et métaux, les résultats étant inférieurs à la limite de quantification du laboratoire ;
- des teneurs inférieures aux critères de comparaison ou aux limites de quantification du laboratoire pour l'ensemble des paramètres restants.

Les terrains stockés sur le site présentent par conséquent des teneurs en hydrocarbures C₁₀-C₄₀ supérieures à la valeur seuil ISDI de 500 mg/kg.

Les résultats analytiques sont disponibles en Annexe 5 : Tableaux de synthèse des résultats de sol

2.2.3 Données sur les eaux souterraines au droit du site

Annexe 6 : Tableaux de synthèse des résultats des eaux souterraines

Lors des investigations de terrain réalisées par ARCADIS en janvier 2015, un piézomètre (Pz5) jusqu'à 11 mètres de profondeur a été installé.

Il renforce le réseau piézométrique composé de 4 ouvrages (Pz1 à Pz4) déjà présents sur le site.

L'implantation des différents ouvrages est donnée en Annexe 4.

Un suivi semestriel de la qualité des eaux souterraines a été mis en place en mai 1998 sur 3 piézomètres afin de contrôler l'évolution des concentrations en hydrocarbures dissous dans les eaux souterraines. Ce réseau a été complété par la pose d'un nouvel ouvrage en 2008. Aucun impact en hydrocarbures C₁₀-C₄₀ n'a été détecté au droit des 4 ouvrages (teneurs proches ou inférieures aux seuils de quantification des appareils de laboratoire). De par l'absence d'impact dans les eaux souterraines selon les données du suivi piézométrique, seul les données recueillies par Arcadis en janvier 2015 seront exploitées dans la suite de l'étude.

Une campagne d'investigation a été menée par Arcadis depuis l'implantation de Pz5, et a porté sur les 5 piézomètres du réseau.

2.2.3.1 Analyses réalisées

Les échantillons prélevés ont été sélectionnés pour l'analyse des composés suivants :

- les hydrocarbures C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀ ;
- les BTEX (benzène, toluène éthylbenzène, xylènes) ;
- HAP (16 composés de l'US EPA) ;
- ETBE, MTBE.

Les résultats analytiques sont présentés en Annexe 6.

2.2.3.2 Valeurs de référence

Les résultats d'analyses sont interprétés par rapport aux valeurs guides en vigueur, à savoir :

- les normes de qualité et valeurs seuils issues de l'**arrêté du 17 décembre 2008** établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines ;
- les limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (normes de potabilité) issues de l'**Annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007** ;
- les valeurs limites de qualité des eaux brutes de toutes origines utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (valeur limite pour la potabilisation) issues de l'**Annexe II du même arrêté** ;
- les valeurs guides de l'**OMS** (Organisation Mondiale de la Santé).

2.2.3.3 Interprétation des résultats

Les résultats d'analyses sur les eaux souterraines indiquent :

- PZ1 : absence de détection sur la quasi-totalité des paramètres analysés. Seules des traces d'ETBE et MTBE (ETBE à 3 µg/l, MTBE à 0.3 µg/l) ont été détectées ;
- PZ2, et PZ3 : absence de détection sur l'ensemble des paramètres analysés (Hydrocarbures volatils C₅-C₁₀, hydrocarbures C₁₀-C₄₀, BTEX, HAP, ETBE-MTBE) ;
- PZ4 : absence de détection de la quasi-totalité des paramètres analysés (hydrocarbures volatils C₅-C₁₀, hydrocarbures C₁₀-C₄₀, BTEX, HAP, ETBE-MTBE). Seules des traces d'HAP (naphtalène à 0.4 µg/l, phénanthrène à 0.12 µg/l, et fluoranthène à 0.03 µg/l) ont été détectées ;
- PZ5 : absence de détection de la quasi-totalité des paramètres analysés (hydrocarbures volatils C₅-C₁₀, hydrocarbures C₁₀-C₄₀, BTEX, HAP, ETBE-MTBE). Seules des traces de toluène (0.31 µg/l) ont été détectées.

L'ensemble des résultats d'analyses sur les eaux souterraines est inférieur à la limite de quantification du laboratoire ou présent seulement à l'état de traces. Aucun impact n'est donc relevé sur les eaux souterraines.

2.2.3.4 Présence de flottant

Aucune présence de flottant n'a été identifiée dans les eaux souterraines au droit des ouvrages investigués.

2.3 Bilan des investigations réalisées

Le diagnostic approfondi mené au droit du site a permis de mettre en évidence :

Investigations sur les sols : identification de sept zones présentant un impact

- Ancienne pomperie P2 (P2 : source n°2) : impact par des hydrocarbures (C₅-C₄₀ et HAP) exclusivement sur le premier mètre de terrain.
- Ancien poste de chargement des camions (PCC1 : source n°5) : impact par des hydrocarbures (C₅-C₄₀ et HAP) exclusivement sur le premier mètre de terrain.
- Ancien îlot de chargement des camions (PCC2 : source n°11) : impact par les hydrocarbures (C₅-C₄₀ et naphtalène) constaté dans les horizons de surface et au niveau de la zone de battement de la nappe.
- Réseau de distribution (source n°15) : impact par les hydrocarbures (C₅-C₄₀ et naphtalène) constaté droit de l'ancienne canalisation de distribution de gasoil.
- Ancienne pomperie d'additifs (P3 : source n°12) : impact par les hydrocarbures C₁₀-C₄₀ constaté exclusivement sur le premier mètre de terrain.
- Cuve désaffectée d'usage non connu (R15 : source n°10) : un impact en naphtalène sur le sondage réalisé dans cette zone.
- Zone nord-est du site - anciens bâtiments administratifs : un impact ponctuel et diffus en naphtalène.

Investigations sur les eaux souterraines : l'absence d'impact sur les eaux souterraines au droit du site.

3 DEFINITION DU SCHEMA CONCEPTUEL

3.1 Champ de l'étude

La présente étude porte exclusivement sur l'ancien dépôt pétrolier TOTAL de Brive la Gaillarde (19), situé sur le chemin du Mazaud dans la zone d'activité artisanale et commerciale du Mazaud.

3.2 Projet d'aménagement de la zone d'étude

Annexe 7 : Schéma conceptuel

Aucun projet d'aménagement n'est fixé pour le moment. En cohérence avec le PLU de la commune, un usage tertiaire du site est envisagé. En l'absence de données sur le mode de construction des bâtiments, et par principe de prudence, il sera considéré que les futurs bâtiments seront construits sans niveau de sous-sol (configuration la plus pénalisante pour les expositions).

Par principe de précaution, les calculs de transfert et d'exposition seront réalisés dans l'aménagement le plus propice à l'accumulation de gaz, soit une pièce de petite taille (15 m²). Les conclusions émises pour cet aménagement permettront ainsi de statuer pour tout aménagement de taille supérieure (hangar, bureaux non cloisonnés...).

3.3 Scénarios étudiés

En cohérence avec le PLU de Brive-la-Gaillarde, un usage tertiaire du site est envisagé. Le scénario étudié est donc un **scénario tertiaire sur site** avec travail dans des bâtiments sans niveau de sous-sol.

Le site objet de l'étude fait l'objet d'une cessation d'activité. Conformément à l'article L 512-12-1 du Code de l'Environnement, et étant donné que le site est soumis à déclaration au titre des ICPE, le plan de gestion doit étudier la compatibilité du site avec un réaménagement pour un **usage identique à la dernière période d'activité (usage industriel)**. L'étude du scénario tertiaire couvre les risques d'un scénario industriel (configuration des bâtiments et paramètres d'exposition identiques). C'est-à-dire que si le site est compatible avec un usage tertiaire, il le sera pour un usage industriel.

3.4 Sources de pollutions

Les sources de pollution sont constituées :

- des **sols** contenant des hydrocarbures C₅-C₁₀ et C₁₀-C₄₀, des BTEX, HAP et des métaux en phase adsorbée et potentiellement des hydrocarbures C₅-C₁₆, des BTEX et des HAP en phase gazeuse ;
- des **eaux souterraines** contenant du toluène, des HAP et des éthers en phase dissoute.

3.5 Voies de transferts et milieux d'exposition

Au regard des données disponibles, **les sols, l'air intérieur et l'air extérieur** constituent les milieux d'exposition.

L'air (intérieur et extérieur) est potentiellement impacté par le dégazage issu du sol (phase adsorbée et phase gazeuse) et des eaux souterraines.

3.6 Cibles potentielles

Les cibles prises en compte dans la présente étude sont, pour un scénario tertiaire, les **employés** qui exerceront leur activité professionnelle sur le site, en rez-de-chaussée des bâtiments.

Ces cibles correspondent aux usagers futurs les plus sensibles en termes d'exposition, et donc de risques sanitaires, puisqu'elles correspondent à un employé travaillant quotidiennement en rez-de-chaussée des futurs locaux. Les calculs de risques couvrent donc les autres cibles qui pourraient être présentes sur le site, mais de façon moins exposée, que ce soit en raison de leur localisation en étages dans les bâtiments, ou du fait d'une fréquence et d'une durée d'exposition moindres (visiteurs, promeneurs...).

3.7 Voies d'exposition potentielles

3.7.1 Voies d'exposition retenues

Les voies d'exposition retenues pour l'étude sont les suivantes :

Pour les sols :

- Ingestion de sols et de poussières au niveau de la zone source ;
- Inhalation à l'intérieur de bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des sols.

Pour les eaux souterraines :

- Inhalation à l'intérieur de bâtiments de vapeurs provenant du dégazage des eaux de la nappe phréatique.

3.7.2 Voies d'exposition non retenues

Compte-tenu de l'usage futur du site, la présence de jardins potagers est exclue, et les voies d'exposition associées (ingestion de légumes et de viandes auto-produits sur le site) ne sont donc pas retenues.

Aucun usage des eaux souterraines n'est répertorié ou prévu au droit du site, les risques liés au contact direct avec ce milieu (ingestion et contact cutané) ne sont donc pas étudiés. .

Dans les bâtiments récents, les canalisations d'amenée d'eau potable sont généralement placées au sein de matériau d'apport propre de type sablon afin de conserver l'intégrité de la canalisation et d'éviter le poinçonnement de celle-ci par des cailloux. N'étant pas en contact direct avec les terrains pollués, il est fait l'hypothèse qu'aucun transfert de substances à travers les canalisations n'est possible.

L'inhalation de polluants fixés dans les poussières est prise en compte dans l'ingestion de sol et de poussières contaminées.

L'inhalation de polluants fixés sur les poussières de sol les plus fines (poussières inhalables) ne fera pas l'objet d'une étude spécifique. Il est fait l'hypothèse que cette fraction est réduite au regard des quantités de poussières ingérées.

L'inhalation de vapeurs issues du dégazage des sols et des eaux souterraines à l'extérieur n'a pas été prise en compte, cette voie d'exposition étant très minorante par rapport à l'exposition en intérieur, du fait des phénomènes de dilution dans l'air ambiant et d'accumulation dans les bâtiments.

D'après la circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués, il est dit qu'en l'absence à ce jour de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, il ne peut pas être envisagé une transposition pour cette voie à partir de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire. En l'absence de VTR, la voie d'exposition « contact cutané » n'a pas été retenue.

4 STRATEGIE D'ETUDE

En cohérence avec les recommandations de la circulaire du 08 février 2007 et compte tenu des impacts identifiés à l'issue des dernières investigations, il apparaît nécessaire de mettre en place les mesures permettant :

- de **maîtriser les pollutions concentrées identifiées sur la zone d'étude** : avant toute considération sanitaire, il convient d'identifier les pollutions concentrées repérées sur la zone d'étude ; dont la faisabilité technico économique du traitement doit être évaluée au travers d'un bilan coûts-avantages ;
- de **maîtriser les impacts sanitaires des pollutions repérées sur le site** : il convient de vérifier si le site est compatible d'un point de vue sanitaires avec les usages futurs envisagés. Si tel n'est pas le cas, des mesures de gestion des risques devront être envisagées ;
- de **réaliser le bilan coûts-avantages** des pollutions concentrées et des éventuelles mesures de gestion des risques ;
- Si nécessaire, de **maîtriser les impacts environnementaux résiduels après traitement des pollutions concentrées** par, notamment, la mise en place d'un suivi environnemental adapté.

5 MAITRISE DES SOURCES : TRAITEMENT DES POLLUTIONS CONCENTREES

5.1 Introduction

Lors des investigations de terrain menées en novembre 2014, Arcadis a mis en évidence 7 zones présentant un impact au niveau des sols par deux types de composés principaux : les hydrocarbures C₅-C₄₀ (HC C₅-C₄₀) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP 16). L'analyse des niveaux de concentration en chacun des polluants a conduit ARCADIS & TOTAL MS à considérer :

- Deux (2) zones de pollution particulièrement concentrée en HAP (16) :
 - En **PM5**, entre 0,1 et 0,5 m de profondeur, avec 370 mg/kg ms ;
 - En **PM18**, entre 0,5 et 1 m de profondeur, avec 590 mg/kg ms.
- Deux (2) zones de pollution particulièrement concentrée en HC C₅-C₄₀ où des concentrations supérieures à 3000 mg/kg ms ont été relevées entre 0 et 1 m de profondeur :
 - En **PM 12**, entre 0.5 et 1m situés au droit de la source de pollution n°5 (ancien poste de chargement des camions - PCC1), avec 4200 à 4500 mg/kg ms :
 - En **PM 120**, entre 0 et 1m situés au droit de la source de pollution n°11 (Ancien îlot de chargement des camions - PCC2), avec 4200 mg/kg ms

Sur la base de ces constats et compte tenu de la localisation de ces impacts en surface du site, ARCADIS a procédé à la demande de TOTAL MS à une évaluation des volumes associés à ces terrains en considérant les éléments suivants :

- un seuil de coupure de 100 mg/kg ms concernant les HAP 16, du fait de l'absence d'enjeu sanitaire associé à ce composé au regard de l'usage considéré dans le cadre de cette étude (usage tertiaire) –cf. § 6 et de la répartition des concentrations sur le site (impacts très ponctuels).
- un seuil de coupure de 3 000 mg/kg ms concernant les HC C₅-C₄₀, du fait de l'absence d'enjeu sanitaire associé à ce composé au regard de l'usage considéré dans le cadre de cette étude (usage tertiaire) –cf. § 6.

La circulaire du 8 février 2007 relative à la gestion des sites et sol pollués indique qu'en cas de découverte de pollutions concentrées, la priorité consiste d'abord à extraire ces pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées, et non pas à engager des études pour justifier leur maintien en place.

Conformément à ces préconisations, la faisabilité et les conditions technico-économiques du traitement de ces zones impactées doivent être traitées.

Le bilan coûts/avantages associé au traitement de ces sources est présenté en chapitre 7.

5.2 Délimitation des zones sources

5.2.1 Méthodologie et hypothèses

Les volumes des terres polluées qui devront être dirigées vers des filières de traitement spécifique ont été déterminés en fonction des résultats des différentes campagnes de sondages.

La délimitation des zones polluées s'est effectuée sur la base des hypothèses suivantes :

- **Délimitation horizontale** : moitié de la distance entre un sondage impacté (sur la base des résultats analytiques) et un sondage présentant des concentrations inférieures à 100 mg/kg pour la somme des 16 HAP et 3000 mg/kg ms pour les HC C₅-C₄₀ ;
- **Délimitation verticale** : nous avons considéré qu'une analyse sur un échantillon ponctuel était représentative d'une tranche de sol présentant globalement les mêmes caractéristiques

(lithologie, présence d'indices, etc.) que l'échantillon ponctuel. Ici la tranche considérée est de 0,5 m.

5.2.2 Estimation des volumes de terres à réhabiliter

Les tableaux ci-après présentent les estimations de volumes de terres à traiter au droit du site.

Pour les HAP-16 :

Sondage	Epaisseur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)*
	Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter
PM5	0.5	80	40	75
PM18	0.5	80	40	75
TOTAL	1.50	160	80	150

* hypothèse d=1.9

Tableau 4 : Volumes estimatifs à traiter

Le volume **estimatif** de terres à traiter est de **80 m³ environ**.

Le tonnage **estimatif** de terres à excaver et à traiter est de **150 tonnes environ**.

Pour les HC C₅-C₄₀ :

Source de pollution (n°...)	Sondage	Epaisseur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)*
		Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter	Terres à excaver et à traiter
PCC1 (n°5)	PM 12	1	100	100	190
PCC2 (n°5)	PM 120	0.5	100	50	95
TOTAL		1.5	200	150	285

* hypothèse d=1.9

Tableau 5 : Volumes estimatifs à traiter

Le volume **estimatif** de terres à traiter est de **150 m³ environ**.

Le tonnage **estimatif** de terres à excaver et à traiter est de **285 tonnes environ**.

5.3 Caractérisation des impacts localisés repérés sur le site

La caractérisation des zones pépites (points chauds) a été réalisée à partir des analyses sur brut spécifiquement réalisées au droit de ces zones.

Le Tableau 6 ci-après présente les concentrations mesurées au droit des 4 zones :

Analyses sur brut (mg/kg)	PM5 (0,1-0,5)	PM18 (0,5-1)	PM12 (0-1)	PM120 (0,5-1)	Critères d'acceptation en ISDI
					Arrêté du 28/10/2010
Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀	390	450	4500	4200	500
BTEX	ND	ND	0.87	ND	6
HAP	370	590	14	9.1	50
PCB	NR	NR	NR	NR	1

Analyses sur brut (mg/kg)	PM5 (0,1-0,5)	PM18 (0,5-1)	PM12 (0-1)	PM120 (0,5-1)	Critères d'acceptation en ISDI Arrêté du 28/10/2010
COT	NR	NR	NR	NR	3000

ND : Non Détecté ; NR : Non recherché

Tableau 6 : Caractérisation des impacts sur site

Les résultats d'analyses mettent en évidence le caractère non inerte et par conséquent l'in-acceptabilité en Installation de Stockage de Déchet Inerte (ISDI) des terres provenant des sources de pollutions concentrée en HAP (non-respect du critère en HAP de l'arrêté du 28/10/2010).

6 MAITRISE DES IMPACTS SANITAIRES : ANALYSE DES ENJEUX SANITAIRES

Les investigations environnementales ont mis en évidence la présence de zones de pollutions concentrées dont la faisabilité et les conditions technico-économiques de traitement sont étudiées au paragraphe 6. Afin de guider et d'orienter les principes de traitement de ces pollutions, une analyse des enjeux sanitaires a été réalisée toutes pollutions en place, et ce afin de connaître les niveaux de risques sanitaires associés aux pollutions en présence, et ainsi de déterminer si le traitement des zones de pollutions concentrées doit être guidé et contraint ou non par des critères sanitaires. Ces calculs ne visent en aucun cas à justifier le maintien en place des pollutions en présence, notamment des pollutions concentrées qui seront en tout état de cause traitées, mais constituent un outil d'aide à la gestion du site.

6.1 Méthodologie

Annexe 8 : Méthodologie de calcul des risques

Les risques ont été calculés respectivement pour les effets cancérigènes (effets dits sans seuil) et les effets non cancérigènes (effets dits à seuil) des substances retenues selon des critères précis.

Les effets à seuil

Le quotient de danger est défini comme :

$$QD = DJE \text{ (Dose Journalière d'Exposition)} / DR \text{ (Dose de Référence)}$$

Les effets sans seuil

L'excès de risque unitaire (ERU) est défini pour une durée de 70 ans. L'excès de risque individuel (ERI) est défini comme suit :

$$ERI = DJE \times ERU$$

La circulaire du 8 février 2007 et ses documents annexes précisent :

- les règles de cumul des effets :
- pour les effets à seuil : addition des quotients de danger uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible
- pour les effets sans seuil : addition de tous les excès de risques individuels
- les valeurs-seuils suivantes :
- pour les effets à seuil, le quotient de danger (QD) est comparé à la valeur 1 ;
- pour les effets cancérigènes, l'excès de risque individuel (ERI) est comparé à la valeur 10^{-5} .

Toutefois, les études toxicologiques pivot ayant permis de définir les VTR ne sont pas toujours suffisantes pour assurer l'unicité des mécanismes d'action toxiques et des organes cibles. Aussi, et en accord avec le principe de précaution, Arcadis ne procède pas à une addition sélective des quotients de dangers des substances ayant les mêmes mécanismes d'actions toxiques sur les mêmes organes cibles.

Arcadis procède donc à l'addition des quotients de dangers pour l'ensemble des substances non cancérigènes et, pour les effets cancérigènes, à l'addition de tous les excès de risques.

Cette approche est cohérente avec celle menée par les agences réglementaires au niveau mondial. Ainsi, bien que l'EPA recommande l'addition des quotients de danger uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible, la connaissance des mécanismes d'action toxique est peu développée à ce jour, et l'effet le plus sensible peut être différent entre deux substances car les effets secondaires d'une des deux substances peuvent correspondre aux effets les plus sensibles de l'autre. Dans la pratique, les agences réglementaires continuent donc encore majoritairement à se baser sur l'additivité globale des quotients de danger.

6.2 Substances retenues pour les calculs de risques et concentrations utilisées

Annexe 9 : Toxicologie des substances et organes cibles

Les données analytiques disponibles pour les calculs de risque sont constituées :

- **Données eau** : des résultats d'analyses réalisées par Arcadis en janvier 2015 au droit de Pz1 à Pz5 ;
- **Données sol** : des résultats d'analyses réalisées par Arcadis en novembre 2014 au droit du site.
- **Données sur les terres stockées** : des résultats d'analyses réalisées par Arcadis en novembre 2014 au droit des terres stockées (échantillons composites C1 et C2).

En application de la méthodologie décrite par la circulaire du 08 février 2007 du Ministère en charge de l'Environnement et du principe de prudence :

- Seuls sont pris en compte dans les calculs de risques sanitaires les composés et les concentrations pertinentes au regard des valeurs réglementaires de gestion ou des valeurs de référence existantes dans les différents milieux étudiés.
- Seules les substances détectées dans les différents milieux étudiés en concentrations supérieures à la limite de quantification dans les différents milieux, et disposant de valeurs toxicologiques de référence, sont retenues dans les calculs de risques sanitaires.
- Pour la voie d'exposition par inhalation, les calculs de risque ont été effectués à partir des concentrations maximales mesurées dans les différents milieux étudiés.
- Pour la voie d'exposition par ingestion de sols et de poussières, les calculs de risque ont été effectués à partir des concentrations moyennes mesurées dans les sols.

Dans une approche majorante, et pour ne pas poser de contrainte sur la réutilisation des terres stockées sur site en première approche, Arcadis a pris en compte les échantillons C1 et C2 dans les calculs de risques.

Pour la voie d'exposition par ingestion, les **métaux** n'ont pas été retenus pour les calculs de risque dans la mesure où les concentrations moyennes ne dépassent pas la borne haute de la gamme de valeur ASPITET pour des sols ordinaires.

Dans le cas des hydrocarbures présents dans les sols, les proportions de chaque coupe aliphatiques et aromatiques sont disponibles grâce aux analyses TPH réalisées. Cependant, il a été jugé que les 9 analyses TPH disponibles sur les 255 échantillons analysés n'étaient pas totalement représentatives de la distinction des hydrocarbures aliphatiques et aromatique sur le site.

Aussi, la distinction aliphatique/aromatique n'a pas été prise en compte bien que leur toxicité soit différente. Pour cette raison, et en application du principe de précaution, il a été supposé que les hydrocarbures mesurés étaient soit entièrement des aliphatiques soit entièrement des aromatiques. Les calculs ont donc été réalisés en appliquant les concentrations de chaque coupe pétrolière aux coupes aliphatiques et aromatiques correspondantes. On obtient alors une fourchette de valeurs de risques, dont les bornes haute et basses permettent d'orienter les recommandations et conclusions de l'étude.

Les hydrocarbures C₁₆-C₄₀ ne disposant pas de valeurs toxicologiques de référence pour l'inhalation, ces substances ne sont pas prises en compte pour cette voie d'exposition.

Les concentrations d'entrée des calculs de risques sont fournies dans le tableau ci-après.

Substances	Concentrations maximales dans les sols en mg/kg		Concentrations moyennes dans les sols en mg/kg		Concentrations maximales dans les eaux souterraines en µg/L	
	Voie d'exposition étudiée	Inhalation de vapeurs issues des sols	Echantillon	Ingestion de sols et de poussières	Inhalation de vapeurs issues de la nappe	Echantillon
Métaux						
Arsenic (As)		NP	-	<ASP	NR	-
Cadmium (Cd)		NP	-	<ASP	NR	-
Chrome total (Cr)		NP	-	<ASP	NR	-
Cuivre (Cu)		NP	-	<ASP	NR	-
Mercure (Hg)		ND	-	ND	NR	-
Nickel (Ni)		NP	-	<ASP	NR	-
Plomb (Pb)		NP	-	<ASP	NR	-
Zinc (Zn)		NP	-	<ASP	NR	-
Hydrocarbures Aliphatiques						
C ₅ -C ₆		ND	-	ND		
C ₆ -C ₈		13,00	14_BRI_PM120 (4,0-5,0)	10,01	ND	-
C ₈ -C ₁₀		110	14_BRI_PM12 (0,5-1,0)	11,99	ND	-
C ₁₀ -C ₁₂		570	14_BRI_PM120 (0,5-1,0)	21,03	ND	-
C ₁₂ -C ₁₆		1 500	14_BRI_PM120 (0,5-1,0)	58,80	ND	-
C ₁₆ -C ₄₀		NP	-	104,27	ND	-
Hydrocarbures Aromatiques						
C ₅ -C ₇		ND	-	ND		
C ₇ -C ₈		13	-	10,01	ND	-
C ₈ -C ₁₀		110	14_BRI_PM12 (0,5-1,0)	11,99	ND	-
C ₁₀ -C ₁₂		570	14_BRI_PM120 (0,5-1,0)	21,03	ND	-
C ₁₂ -C ₁₆		1 500	14_BRI_PM120 (0,5-1,0)	58,80	ND	-
C ₁₆ -C ₂₁		NP	-	68,11	ND	-
C ₂₁ -C ₄₀		NP	-	36,16	ND	-
BTEX						
Benzène		ND	-	ND	ND	-
Toluène		ND	-	ND	0,31	Pz5 – 01/2015
Ethylbenzène		0,08	14_BRI_PM13 (0,5-1,0)	0,08	ND	-
Xylènes		0,87	14_BRI_PM12 (0,1-0,5)	0,33	ND	-
Ethers						
ETBE		ND	-	ND	3	Pz1 – 01/2015
MTBE		ND	-	ND	0,3	Pz1 – 01/2015
HAP						
Naphtalène		12	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	0,91	0,40	Pz4 – 01/2015
Acénaphthylène		0,46	14_BRI_PM5 (0,1-0,5)	0,10	ND	-
Acénaphthène		21	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,04	ND	-
Fluorène		58	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	2,33	ND	-
Phénanthrène		180	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	6,20	0,12	Pz4 – 01/2015-
Anthracène		77	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	3,99	ND	-
Fluoranthène		54	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	2,44	0,03	Pz4 – 01/2015
Pyrène		37	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,71	ND	-
Benzo(a)anthracène		27	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,49	ND	-
Chrysène		24	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,27	ND	-
Benzo(b)fluoranthène		28	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,27	ND	-
Benzo(k)fluoranthène		12	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	0,74	ND	-
Benzo(a)pyrène		26	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	1,38	ND	-
Dibenzo(a,h)anthracène		4,4	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	0,45	ND	-
Benzo(g,h,i)pérylène		12	14_BRI_PM18 (0,5-1,0)	0,79	ND	-

Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	13	14_BRI_PM18 (0.5-1.0)	0,87	ND	-
PCB					
PCB 28	0,0021	C1	0,0017	NR	-
PCB 52	0,0012	C1	0,0013	NR	-
PCB 101	0,0024	C2	0,0022	NR	-
PCB 138	0,0021	C2	0,0018	NR	-
PCB 153	0,005	C2	0,0036	NR	-
PCB 180	0,0032	C2	0,0026	NR	-
PCB 118	0,002	C2	0,0015	NR	-

ND : Non Détecté ; NR : Non Recherché ; NP : Non Pertinent ; AVT : Absence de Valeur Toxicologique

Tableau 7 : Concentrations d'entrée des calculs de risques

6.3 Modélisation des transferts

Annexe 10 : Justification du choix des paramètres de transfert

Annexe 11 : Equations de transfert

Annexe 12 : Feuilles de transfert sols / air ambiant

Annexe 13 : Feuilles de transfert eaux souterraines / air ambiant

Les calculs de risques sont basés sur les concentrations attendues des polluants dans les différents milieux de contact c'est-à-dire, l'air ambiant à l'intérieur des bâtiments. Pour ce faire, il est nécessaire de procéder à une étape de modélisation des transferts gazeux des sols et des eaux souterraines vers l'air ambiant. Arcadis se base sur le logiciel RISC Workbench version 5.0 pour modéliser ces transferts. Ce logiciel intègre les équations de Johnson et Ettinger. Les incertitudes liées à la modélisation des transferts sont présentées au chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Les paramètres d'entrée relatifs au transfert des composés depuis les sols ou les eaux souterraines vers l'air ambiant sont présentés dans le tableau ci-après.

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Géométrie de la source			
Profondeur du toit de la pollution par rapport au sol	0,1	m	Observation terrain
Longueur de la zone source	15	m	Dimensions moyennes des zones sources
Largeur de la zone source	15	m	
Epaisseur de la pollution	2	m	Observation terrain
Distance entre la base de la pollution et la nappe	0	m	Observation terrain
Caractéristiques de la zone non saturée			
Type de sol	Limons sableux	-	Observations de terrain et analyses granulométriques (choix majorant)
Epaisseur de la zone vadose (ZNS)	4,35	m	Observation terrain (profondeur de la nappe la plus faible – Pz2 – 12/01/2015)
Caractéristiques de la zone capillaire			
Type de sol	Sables	-	Observations de terrain et analyses granulométriques (choix majorant)
Paramètres liés au modèle d'émission gazeuse du sol dans le bâtiment			
Différence de pression entre le bâtiment et l'extérieur	40	g/cm ² .s	Johnson & Ettinger
Taux de fissuration	0,001	/	USEPA
Porosité de la dalle	0,25	/	= Porosité du sol sous la dalle (hypothèse du modèle Johnson & Ettinger) – valeur par défaut proposé par le logiciel et associée à la couche de forme généralement présente sous les fondations
Epaisseur de la dalle	15	cm	Hypothèse
Profondeur des fondations	15	cm	fondation = dalle

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Profondeur de la source sol par rapport aux fondations	15	cm	Prise en compte d'une couche de forme sous les fondations de 15 cm d'épaisseur
Perméabilité des sols aux vapeurs sous le bâtiment	1.00E-08	cm ²	Valeur par défaut du logiciel – valeur associée à la couche de forme généralement présente sous les fondations
Paramètres liés au calcul de la concentration dans un bureau, en RdC du bâtiment			
Longueur du bureau	5	m	Scénario retenu
Largeur du bureau	3		Scénario retenu
Hauteur du bureau	2,4	m	Scénario retenu
Taux de renouvellement d'air dans le bureau	12 (0.5 v/h)	j ⁻¹	Code du travail (décret n° 841093 du 7/12/1984 - débit minimal bureaux :18 m ³ /h/occupant

Tableau 8 : Paramètres de transfert retenus

6.4 Calcul de l'exposition

6.4.1 Mode de calcul des DJE

Annexe 14 : Equations de calcul des DJE

Annexe 15 : Justification du choix des paramètres d'exposition

Les doses journalières d'exposition (D.J.E) ont été calculées à l'aide d'une feuille de calcul au format Excel spécifiquement développée par Arcadis pour le calcul des DJE. Les concentrations dans l'air ambiant ont été quant à elles modélisées à partir du logiciel RISC Workbench 5.0.

Les équations utilisées pour le calcul des DJE, issues du document "Risk Assessment guidance for superfund volume I Human Health Evaluation Manual - Part A », de décembre 1989 et de la partie révisée « Part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment, de janvier 2009, – publié par "Office of Emergency and Remedial Response" – USEPA, sont présentées en annexe.

6.4.2 Synthèse des paramètres d'exposition des cibles

Les paramètres relatifs à l'exposition des cibles sont présentés dans le tableau ci-après :

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Scénario tertiaire - Paramètres liés à la cible employé			
Masse corporelle moyenne	70	kg	USEPA
Durée de vie	70	an	USEPA
Volume d'air inhalé	20	m ³ /j	USEPA, cohérent avec CIBLEX
Quantité de sols ingérée	33,3	mg/j	50 mg en 12 h, pondéré sur 8 h de présence sur le site

Tableau 9 : Paramètres d'exposition retenus

6.4.3 Budget espace-temps

Le budget espace-temps des cibles est présenté dans le tableau ci-après.

Paramètres	Quantité	Unités	Source
Scénario tertiaire - Paramètres liés à la cible employé			
Temps de présence dans les bâtiments	8	h/j	Durée légale de travail en France
Fréquence d'exposition	220	j/an	Scénario retenu
Durée d'exposition	42	ans	Durée légale de travail en France

Tableau 10 : Budget espace-temps retenus

6.5 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Annexe 17 : Tableau de toutes les VTR existantes dans la littérature

Annexe 18 : Justification du choix des VTR

Annexe 19 : Calcul de l'exposition et du risque résiduel– scénario tertiaire

Une note d'information de la DGS, en date du 31 octobre 2014, n°DGS/EA1/DGPR/2014/307, abroge la circulaire du 30 mai 2006 et simplifie les modalités de sélection des substances chimiques ainsi que le choix des valeurs toxicologiques de référence. Arcadis s'appuie sur cette circulaire pour le choix des VTR.

Ainsi, la note d'information précise que pour un composé présentant plusieurs valeurs toxicologiques de référence reconnues par la circulaire, et par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES.

En l'absence de VTR proposée par l'ANSES, il est recommandé de sélectionner la VTR la plus récente parmi celles proposées par l'US-EPA, l'ATSDR ou l'OMS.

Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (ANSES, US-EPA, ATSDR et OMS), il est recommandé de sélectionner la VTR la plus récente parmi celles proposées par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA.

Concernant les hydrocarbures, les institutions officielles présentées ci-dessus ne proposent pas de valeurs toxicologiques de référence. Aussi, les VTR retenues sont celles proposées par le TPH Criteria Working Group, institution reconnue dans la recherche sur les hydrocarbures totaux.

Concernant les HAP, le choix des VTR s'est basé sur la note d'information DGS du 31 octobre 2014, mais aussi sur les préconisations de l'INERIS dans son document DRC-47026-ETSC-Bdo-N°03DR177, version 1-3 du 3 janvier 2006.

Les composés ne présentant pas de VTR reconnue parmi les bases de données de la note d'information ne seront pas retenus dans l'étude.

6.6 Synthèse des niveaux de risques sanitaires

Annexe 19 : Calcul de l'exposition et du risque résiduel– scénario tertiaire

Annexe 20 : Incertitudes liées aux calculs de risques

Scénario	Cibles	QD global	ERI global
Tertiaire	Employé	0,20-0,75	6,38.10 ⁻⁰⁶
Valeurs de comparaison		1	1.10⁻⁰⁵

Tableau 11 : Synthèse des risques sanitaires – scénario tertiaire

Dans le cas du **scénario tertiaire en rez-de-chaussée d'un bâtiment construit sans niveau de sous-sol** :

- les Quotients de Danger (QD) attendus pour les employés sont inférieurs aux valeurs seuils de la circulaire du 8/02/2007 ($QD < 1$) ;
- les Excès de Risque Individuels (ERI) attendus pour les employés sont inférieurs aux valeurs seuils de la circulaire du 8/02/2007 ($ERI < 1 \cdot 10^{-05}$).

Les incertitudes relatives aux calculs effectués sont présentées en Annexe 20 du présent document.

A la lumière de ces éléments, il apparaît que le site, en l'état, est compatible avec l'usage futur de type tertiaire envisagé, en tout point du site. Le traitement des zones de pollutions concentrées définies en paragraphe 5 ne sera donc pas contraint par des critères sanitaires.

7 BILAN COUTS/AVANTAGES

7.1 Données d'entrée

Annexe 21 : Localisation des masses de sol à traiter

Le développement ci-avant a démontré les éléments suivants :

- L'existence d'impact d'extension limitée sur le milieu sol et l'absence d'impact sur le milieu eau souterraine ;
- L'existence de deux zones de pollution particulièrement concentrée impactées par des HAP(16) et HC C₅-C₄₀ ;
- Une masse de sol associée à ces deux zones sources localisées en surface (entre 0 et 1 m de profondeur) estimée à 150 + 285 soit **435 tonnes**, et ;
- L'absence de risques sanitaires associés aux pollutions en présence.

La masse totale estimée de terrains impactés à considérer dans le cadre du plan de gestion s'élève par conséquent à **435 tonnes** :

- 150 tonnes (terres présentant un impact d'HC C₅-C₄₀ associé des HAP)
- 285 tonnes (terres présentant un impact en HC C₅-C₄₀ > 3 000 mg/kg ms)

La localisation des masses de sol à traiter est présentée en Annexe 21.

Nota : Concernant le stock de terres issu des travaux de démolition du dépôt pétrolier, les niveaux de concentration observés dans ces terrains indiquent qu'ils peuvent être réutilisés sur site

7.2 Introduction au déroulement de l'étude et limites du bilan coûts/avantages proposé

Le choix des technologies retenues doit être déduit de l'analyse critique des différentes technologies disponibles en fonction, d'une part, des différents avantages et inconvénients que présentent ces technologies et, d'autre part, des coûts de leur application : c'est le bilan coûts/avantages.

Dans une **première étape**, il s'agit de dresser la liste de toutes les technologies disponibles pouvant être appliquées au média donné (sol, eaux souterraines) et pour un ou plusieurs polluants donnés. Cette liste est complétée par l'étude des avantages et inconvénients de chacune des technologies.

La **seconde étape** correspond à l'étude technico-économique des solutions techniques qui ont été retenues au cours de la première étape. A l'issue de cette seconde étape est proposée, pour les différentes zones ou les différents scénarios retenus et pour chaque milieu étudié (sol, eaux souterraines), la technologie jugée la meilleure dans le cadre du bilan coûts/avantages. Les raisons ayant conduit au choix de cette technologie sont précisées.

Les coûts estimés dans le présent bilan coûts/avantages, établi pour les mesures de gestion proposées, ont été calculés sur la base de coûts régulièrement observés sur des opérations similaires auxquelles Arcadis a participé. Néanmoins, il ne s'agit pas d'un devis et Arcadis ne pourra être tenu pour responsable en cas de différences avec les coûts réels. De façon usuelle, il est raisonnable de considérer une incertitude sur ces coûts d'environ 20 à 30 %.

Les différentes techniques permettant de s'affranchir des pollutions concentrées et le bilan coûts/avantages associé sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

Les volumes des terres polluées correspondant aux zones sources concentrées ont été déterminés **en fonction des résultats des différentes campagnes de sondages**.

En ce qui concerne l'éventuelle évacuation de terres impactées, une fourchette de prix a été calculée pour les coûts suivants :

- coûts associés au transport vers les différents types de centre de traitement ou d'enfouissement pressentis, en fonction de la localisation géographique de ceux-ci ;
- coûts de traitement ou d'enfouissement dans les centres vers lesquels les terres seraient éventuellement dirigées ;
- coûts de remblaiement et/ou de recouvrement par des terres d'apport sain, les prix variant sensiblement en fonction de la nature des terrains apportés et de la localisation du site.

Ces fourchettes comprennent les hypothèses les plus minorantes et les plus majorantes de prix.

7.3 Etude des meilleures technologies de traitement disponibles

En premier lieu, rappelons qu'aucun impact n'a été mis en évidence au sein du milieu eau souterraine (ni produit flottant, ni composés dissous). Le choix des technologies de traitement se bornera par conséquent à celle permettant un traitement du média « sol ».

Les tableaux suivants listent les différentes solutions de traitement dont il est pertinent d'envisager l'application sur le présent site. Les avantages et inconvénients majeurs sont listés et conduisent à retenir ou non les différentes technologies pour l'étape suivante, correspondant à l'étude technico-économique. Les principaux facteurs conduisant à ne pas retenir une ou plusieurs solutions techniques sont chaque fois précisés.

7.3.1 Approche préliminaire par famille de traitement

Les mesures de gestion envisagées pour les sols peuvent être mises en œuvre au moyen d'un certain nombre de techniques de dépollution, qu'il est possible de regrouper en 4 grandes familles :

- **les traitements hors site** : ces traitements consistent à extraire puis évacuer les matériaux à réhabiliter vers un centre de traitement ou de stockage adapté, extérieur au site impacté ;
- **les traitements sur site** : ces traitements permettent d'extraire par excavation puis de traiter sur le site lui-même les matériaux à réhabiliter ;
- **les traitements in-situ** : ces techniques consistent à traiter les terres en place. Elles ne nécessitent pas d'excavation ;
- **les confinements** : le confinement permet de laisser les terres impactées sur le site, en empêchant leur contact avec les usagers du site et en limitant efficacement la propagation des polluants grâce à une barrière physique étanche : géo membrane, couverture imperméable, paroi au coulis, etc... L'érosion des sols, la percolation de l'eau vers la nappe et le ruissellement sur les terres impactées sont ainsi contrôlés.

Les avantages et inconvénients de chacune des familles de traitements sont illustrés sur le Tableau 12. Les critères pris en compte appartiennent tous aux catégories suivantes :

- Critères liés au développement durable (empreinte carbone) ;
- Critères techniques (faisabilité) ;
- Critères sociaux acceptabilité du traitement) ;
- Critères liés au temps (durée des traitements) ;
- Critères réglementaires et législatifs ;
- Critères financiers.

Les familles de traitement qui ne sont absolument pas adaptées au site étudié, donc non retenues pour la suite, sont colorées en gris.

Méthodes	Avantages	Inconvénients	Cause du rejet de la méthode
Traitements hors site	<p>Les filières de traitement hors site permettent de limiter les risques juridiques à long terme (efficacité et durabilité du traitement)</p> <p>Durée limitée des travaux et donc valorisation ou réutilisation du site plutôt rapide</p> <p>L'acceptation de l'administration vis-à-vis de ces techniques est bonne</p> <p>Rendements excellents, puisque disparation totale de la pollution ciblée</p>	<p>Dans le cas des stockages en ISD (Installation de Stockage de Déchets), le producteur du déchet reste responsable des déchets enfouis</p> <p>Empreinte environnementale importante (émissions transport / terrassement et absence de valorisation des terres)</p> <p>Simple déplacement géographique de la pollution en cas de stockage en ISD</p> <p>Coût en général plus élevé</p> <p>Nécessite l'apport de terres extérieures pour reboucher les fouilles</p>	
Traitements sur site	<p>Empreinte environnementale plutôt faible (selon techniques)</p> <p>Coût plus économique, de façon générale, que pour les traitements hors site</p> <p>L'acceptation de l'administration vis-à-vis de ces techniques est bonne</p> <p>Les terres traitées peuvent servir à reboucher les fouilles. Pas ou peu d'apport de terres extérieures</p>	<p>Suivi analytique à prévoir pour valider le traitement</p> <p>L'efficacité des traitements n'est pas de 100 % et induit un impact résiduel</p> <p>Nécessité de mettre éventuellement en place une gestion juridique des concentrations résiduelles (de type restriction d'usage)</p> <p>Durée plus importante des travaux et par conséquent valorisation ou réutilisation du site plus lente</p>	<p><i>Volumes à traiter limités (435 tonnes estimées) et trop faibles pour justifier la mise en œuvre de traitements sur site.</i></p>
Traitements in situ	<p>Empreinte environnementale faible (sauf traitements thermiques)</p> <p>Coût potentiellement plus économique que les types de traitement précédents (sauf traitements thermiques)</p> <p>L'acceptation de l'administration vis-à-vis de ces techniques est bonne</p> <p>Pas de nécessité d'excaver les sols. Impact sur le site moindre. Techniques favorables notamment lorsque l'activité du site au droit des pollutions doit perdurer pendant le traitement</p>	<p>Suivi analytique à prévoir pour valider le traitement</p> <p>Traitements peu voire totalement inadaptés en cas de terrains peu perméables ou imperméables (sauf traitements thermiques)</p> <p>L'efficacité des traitements n'est pas de 100 % et induit un impact résiduel</p> <p>Rendements en général plus faibles et teneurs finales plus élevées qu'avec les techniques sur site équivalentes</p> <p>Nécessité de mettre éventuellement en place une gestion juridique des concentrations résiduelles (de type restriction d'usage)</p> <p>Durée importante à très importante des travaux et par conséquent valorisation ou réutilisation du site lente (sauf traitements thermiques)</p>	<p><i>Volumes à traiter limités (435 tonnes estimés) et trop faibles pour justifier la mise en œuvre de traitements in situ.</i></p>
Confinement	<p>Coûts souvent très performants, notamment lorsque les quantités de terres sont importantes</p> <p>Mise en œuvre des travaux rapide</p> <p>Revalorisation plutôt rapide du terrain</p> <p>Techniques relativement simples et fiables</p> <p>Empreinte environnementale limitée, principalement grâce à la suppression des émissions liées au transport</p>	<p>Surveillance à mettre en place afin de garantir la pérennité de l'ouvrage</p> <p>Suivi analytique nécessaire (eaux souterraines) pour confirmer le confinement des impacts les plus importants et valider l'efficacité du dispositif</p> <p>Le confinement sur site ne permet pas de s'affranchir de la pollution qui est maintenue en place</p>	<p><i>Dans le cas présent, les technologies de confinement ne correspondent ni à la stratégie développée par TOTAL MS, ni à celle préconisée par la méthodologie française de gestion des sites (potentiellement) pollués, consistant prioritairement à traiter les zones</i></p>

L'acceptation de l'administration vis-à-vis de ces techniques est incertaine
 Nécessite de mettre en œuvre des servitudes
 Nécessite parfois l'apport de terres extérieures pour reboucher les fouilles (cas des alvéoles de stockage notamment)

sources concentrées et ainsi à éliminer une partie de la charge polluante du site

Tableau 12 : Avantages et inconvénients des différentes techniques de dépollution des sols

Compte tenu du caractère non adapté à la problématique du site des techniques de confinement (à la fois techniquement et stratégiquement), nous ne les avons pas retenues dans notre programme d'étude. Par ailleurs, compte tenu des impacts limités en termes de volume, et par conséquent du faible tonnage à traiter (435 t), et du souhait de revaloriser rapidement ce site, les technologies de traitement hors site s'avèrent les plus pertinentes. Sur cette base, seuls les traitements hors site envisageables sont présentés ci-dessous.

7.3.2 Approche par technique

Technologie	Définition / Description	Avantages	Inconvénients	Statut
Transport et traitement des terres en centre d'incinération	Excavation, chargement, transport et traitement des terres dans un centre de traitement par incinération (déstructuration du sol sous très haute température (1 200°C))	<ul style="list-style-type: none"> Risques juridiques éliminés à long terme Mise en œuvre rapide Revalorisation immédiate Possibilité de traiter de très fortes concentrations 	<ul style="list-style-type: none"> Coûts très élevés Peu de centres de traitement en France Empreinte environnementale très peu satisfaisante (transport et énergie consommée) Nécessite l'apport de terres propres extérieures pour reboucher les fouilles Existence de limites d'acceptation (concentrations : S, Cl, PCB, etc...) Impacts sur le voisinage en raison du trafic routier, du bruit et des émissions d'odeurs 	Non retenue en particulier compte tenu des coûts élevés associés à l'utilisation de cette technique
Transport et traitement des terres en centre de désorption thermique	Excavation, chargement, transport et traitement des terres dans un centre de traitement par désorption thermique (chauffage des terres entre 150 et 540°C)	<ul style="list-style-type: none"> Risques juridiques éliminés à long terme Mise en œuvre rapide Revalorisation immédiate Possibilité de traiter de fortes concentrations 	<ul style="list-style-type: none"> Empreinte environnementale très peu satisfaisante (transport et énergie consommée) Nécessite l'apport de terres propres extérieures pour reboucher les fouilles Existence de limites d'acceptation sur certaines substances (concentrations) 1 seul centre en France, sur la région lyonnaise Impacts sur le voisinage en raison du trafic routier, du bruit et des émissions d'odeurs Ne concerne exclusivement que les composés organiques et les cyanures 	Retenue

Technologie	Définition / Description	Avantages	Inconvénients	Statut
Transport et stockage des terres en ISDND	Excavation, chargement, transport et stockage des terres vers une ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux)	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre rapide Revalorisation immédiate 	<ul style="list-style-type: none"> Bilan environnemental peu favorable (transport) Nécessite l'apport de terres propres extérieures pour reboucher les fouilles Il s'agit seulement d'un stockage. Les terres ne sont pas traitées in fine Existence de limites d'acceptation sur certaines substances non compatibles avec les concentrations du site (peu probable dans notre cas) Le producteur des déchets reste responsable des déchets enfouis Impacts sur le voisinage en raison du trafic routier, du bruit et des émissions d'odeurs	Retenue
Transport et stockage des terres en ISDD	Excavation, chargement, transport et stockage des terres vers une ISDD (Installation de Stockage des Déchets Dangereux)	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre rapide Revalorisation immédiate Possibilité de gérer des concentrations parfois assez élevées 	<ul style="list-style-type: none"> Bilan environnemental peu favorable (transport) Nécessite l'apport de terres propres extérieures pour reboucher les fouilles Il s'agit seulement d'un stockage. Les terres ne sont pas traitées in fine Existence de limites d'acceptation sur certaines substances non compatibles avec les concentrations du site (peu probable dans notre cas) Le producteur des déchets reste responsable des déchets enfouis Impacts sur le voisinage en raison du trafic routier, du bruit et des émissions d'odeurs Ne présente aucun intérêt, à technologie équivalente, si l'acceptation en ISDND est possible 	Retenue
Transport et traitement des terres en biocentre	Excavation, chargement, transport et traitement des terres vers un centre de traitement biologique	<ul style="list-style-type: none"> Risques juridiques éliminés à long terme Mise en œuvre rapide Revalorisation immédiate 	<ul style="list-style-type: none"> Bilan environnemental peu favorable (transport) Nécessite l'apport de terres propres extérieures pour reboucher les fouilles Existence de limites d'acceptation sur certaines substances (concentrations en métaux notamment) Valable uniquement pour des pollutions par produits organiques Impacts sur le voisinage en raison du trafic routier, du bruit et des émissions d'odeurs 	Retenue

Tableau 13 : Avantages et inconvénients des techniques de traitement des sols utilisables dans le cadre du présent projet

Compte tenu des informations et paramètres listés ci-dessus, Arcadis a retenu comme meilleures technologies disponibles les méthodes de traitement suivantes :

- Transport et stockage des terres en ISDD ;
- Transport et stockage des terres en centre de désorption thermique ;
- Transport et stockage des terres en ISDND ;
- Transport et traitement des terres en Biocentre.

Le mode de gestion des terrains finalement retenu pourra associer plusieurs de ces méthodes. C'est d'ailleurs le choix qui a été fait dans ce document et qui est présenté dans l'estimation financière des scénarios de réhabilitation présentés au § 7.3.4.2

7.3.3 Descriptif technique simplifié des technologies présélectionnées (sols)

Transport et traitement en centre de désorption thermique

Cette solution consiste, après excavation sélective, chargement et transport, à traiter les terres sur un site proposant un traitement par désorption thermique.

La désorption thermique consiste à chauffer au sein d'un four les terres à traiter à une température de quelques centaines de degrés (250°C et 550°C selon le type de contaminants en présence). Les composés organiques, même les plus lourds, sont ainsi volatilisés. Les gaz sont récupérés et incinérés dans une chambre de post-combustion avant traitement puis rejet des effluents gazeux traités à l'atmosphère.

Transport et stockage en ISDND

Cette solution consiste, après excavation sélective, chargement et transport, à stocker les terres sur un site de stockage agréé (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux). Ces sites de stockage sont susceptibles de recevoir des terres polluées dont les concentrations sont modérées et dont les composés chimiques ne sont pas hautement toxiques.

Transport et stockage en ISDD

Cette solution consiste, après excavation sélective, chargement et transport, à stocker les terres sur un site de stockage agréé (Installation de Stockage de Déchets non Dangereux). Ces installations de stockage sont susceptibles de prendre en charge des terres polluées dont les concentrations sont plus importantes que pour les ISDND. Par ailleurs, lorsque les polluants sont particulièrement lixiviables (métaux), un prétraitement préalable par stabilisation est mis en œuvre.

Transport et traitement en biocentre

Cette solution consiste, après excavation sélective, chargement et transport, à traiter les terres biologiquement sur un centre spécialisé agréé.

7.3.4 Etude technico-économique des solutions pressenties

7.3.4.1 Remarques préliminaires : hypothèses de base concernant les technologies hors site

Pour certaines des technologies retenues, les terres présentant des concentrations supérieures aux objectifs de dépollution sont excavées et évacuées vers un centre de stockage agréé.

On notera que chaque centre (ISDND, ISDD, biocentre, etc...) est soumis à un arrêté préfectoral appliquant des valeurs seuils particulières qui ne sont pas nécessairement les mêmes que celles proposées par la FNADE ou définies dans les guides.

On rappellera que cette étude ne concerne que les zones particulièrement concentrées présentant notamment un impact en HC C₅-C₄₀ supérieur à 3 000 mg/kg ms et/ou en HAP (370 à 590 mg/kg ms). Néanmoins, Arcadis rappelle qu'en ce qui concerne la gestion de déblais éventuels dans d'autres zones du site, les ISDI refusent systématiquement les terres si ces dernières présentent des indices organoleptiques de pollution (odeur, couleur) et ce, quels que soient les résultats d'analyses, ou si leur aspect est jugé douteux. En conséquence, Arcadis ne pourra être tenu pour responsable en cas de variations entre les estimations présentées ci-dessous et les destinations finales réellement retenues.

Les coûts estimatifs prennent notamment en considération les éléments suivants :

- La préparation du chantier (type PGC, PPSPS, organisation des camions en fonction des cadences supposées d'excavation directement dépendante de la société retenue...);
- Une évacuation de 50 m³ soit 95 tonnes par jour (4 camions), compte tenu de la taille et de la localisation du chantier. Cette cadence pourrait être supérieure en fonction du centre de stockage de déchet sollicité et de sa capacité d'acceptation (variable en fonction de la période de l'année);
- Un suivi par un technicien spécialisé;
- Le transport des terres;
- Le traitement des terres, y compris la TGAP²;
- Le remblaiement de la fouille par des terrains d'apport sains;
- Le démantèlement et le nettoyage du chantier;
- La remise d'un rapport final.

Ils ne prennent pas en considération, notamment, les éléments suivants :

- Le démantèlement et l'enlèvement de cuves, tuyauteries et l'évacuation de ces structures en filières adaptées;
- La démolition des superstructures et infrastructures présentes sur le site;
- L'évacuation de matériaux de démolition tels blocs de béton, ferrailles, plastiques ou autres et notamment l'éventuel refus de ces matériaux en ISDI;
- La réalisation des travaux en dehors des plages usuelles (en semaine, de 8h00 à 18h00);
- Le rabattement de la nappe et un éventuel traitement de cette dernière;
- Tout soutènement provisoire des parois des fouilles;
- Tout compactage soigné pour atteindre des objectifs en termes de critères géotechniques;
- L'évacuation et la prise en charge de terres propres.

Remarque : lors des travaux d'excavation des terres polluées, l'entreprise retenue devra obtenir un certificat préalable d'acceptation (CAP) auprès de la filière retenue, **préalablement à l'évacuation des terres contaminées**; l'obtention d'un tel certificat nécessite des analyses complémentaires sur un ou plusieurs échantillons représentatifs des terres à traiter, qui n'ont pas été réalisées lors de cette étude.

Pour information, les analyses nécessaires à minima (à définir selon l'arrêté préfectoral en vigueur) pour l'obtention d'un CAP sont :

- **Sur brut :** Hydrocarbures totaux, HAP (16), PCB, BTEX, Indice phénol, chrome hexavalent (CrVI),
- **Sur lixivié :** Arsenic, Cadmium, Chrome total, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc, Cyanure libre.

Les coûts estimés ci-dessous, sur la base des mesures de gestion proposées, ont été établis à partir des coûts régulièrement observés sur des opérations similaires auxquelles Arcadis a participé.

² Taxe Générale sur les Activités Polluantes

7.3.4.2 Estimations financières

Les coûts estimés ci-dessous, en lien avec les mesures de gestion proposées, ont été calculés sur la base de l'expérience d'opérations similaires auxquelles Arcadis a participé et sur la base de dimensionnements spécifiques au présent site (études de coûts dédiées). Rappelons en effet qu'Arcadis réalise en propre des opérations de travaux de réhabilitation. Les personnes rédigeant et validant les bilans coûts/avantages appartiennent à l'Activité Travaux d'Arcadis France.

Le tableau ci-après présente les coûts estimatifs des prestations de traitement des sols en fonction des différentes technologies étudiées.

Durée estimative*	Méthode de traitement	Coût estimatif en kilo euros HT
1 mois	Transport et traitement en biocentre (dans le cas où le biocentre a la capacité d'accepter les terrains impactés par les HAP)	70 k€
1 mois	Transport et traitement en ISDND (dans le cas où le centre de stockage a la capacité d'accepter les terrains impactés par les HAP)	75 k€
1 mois	Transport et traitement par désorption thermique (dans le cas où le centre de traitement a la capacité d'accepter les terrains impactés par les HAP)	85 k€
1 mois	Transport et stockage en ISDD des terrains impactés par des HAP + Transport et traitement en biocentre des terrains impactés par des HC C ₅ -C ₄₀ au-delà de 3 000mg /kg	100 k€

*yc. période de préparation

Tableau 14 : Estimations financières des différentes méthodes retenues pour le traitement des sols

7.3.5 Discussion et choix de la technologie retenue

Comme indiqué précédemment, compte tenu de l'existence d'impacts limités en termes de volume, et donc d'un faible tonnage de terres à traiter (435 t), associé au souhait de revaloriser rapidement ce site, **les technologies de traitement hors site s'avèrent les plus pertinentes.**

Enfin, la nature organique des pollution identifiées (HC C₅-C₄₀ et HAP) et l'analyse des niveaux de concentration à traiter observés dans les terrains (> 3000 mg/kg ms pour les HC C₅-C₄₀ et 370 à 590 mg/kg ms pour les HAP) conduit à considérer 4 scénarios possibles de gestion hors site des terrains associant une à deux filières d'acceptation possibles tel que résumé dans le tableau ci-avant.

Le choix du scénario dépendra des capacités d'acceptation des centres sélectionnés et disponibles au moment de la réalisation des travaux, les coûts restants pour toutes les options relativement proches les uns des autres. ARCADIS recommande pour autant l'utilisation de centre de traitement plutôt que de centre de stockage.

7.3.6 Éléments techniques complémentaires concernant la technologie retenue

En marge des informations déjà fournies plus haut, des compléments peuvent être apportés concernant les modalités d'exécution des travaux, pour le présent site :

- Les terres seront excavées selon les modalités usuelles en sites et sols pollués. Un tri sera opéré sur une base organoleptique et analytique. Des analyses de flancs et de fonds de fouille seront effectuées et figureront dans le dossier final de récolement ;
- Dans ce dossier, figureront également les volumes de sol évacués (et traités le cas échéant). La masse totale de terrain évacué sera justifiée sur présentation des bordereaux de suivi (de retour du centre) qui devront apparaître dans ce document ;
- Si des matériaux extérieurs au site devait être utilisés pour procéder aux opérations de remblaiement, ils devront être inertes ou d'origine naturelle et présenter les mêmes caractéristiques lithologiques (limons sableux) que les sols extraits ;

Rappelons ici que l'analyse des enjeux sanitaires effectuée au § 6 indique que le site est compatible en l'état avec l'usage futur de type tertiaire envisagé, en tout point du site. Le traitement des zones de pollutions concentrées définies en paragraphe 5 ne sera donc pas contraint par des critères sanitaires, et des niveaux de risques sanitaires inférieurs à ceux calculés dans la présente étude, et donc nécessairement inférieurs aux valeurs seuils recommandés, sont attendus après réhabilitation.

8 RECOMMANDATIONS, PRECRIPTIONS & SERVITUDES

8.1 Recommandations

8.1.1 Propres aux risques transitoires liés à la période de chantier de dépollution

Lors des travaux de terrassement liés à l'aménagement du site ou à des travaux ultérieurs, le personnel devra être équipé de masques à poussières, gants, et respecter quelques règles d'hygiène simples :

- Ne pas boire ni manger sur le chantier dans les zones de travail (manger dans une zone aménagée en conséquence est néanmoins possible) ;
- Se laver les mains et le visage en fin de poste.

Ces recommandations devront apparaître dans le PGCSPPS ^[1] établi par le coordonnateur sécurité.

8.1.2 Propres à la gestion des déblais

Tous les déblais provenant du site et générés par d'éventuels travaux de nivellement ou d'excavation devront faire l'objet d'une gestion adaptée. Les terrains évacués du site devront être orientés vers des filières de traitement agréées (ISDI, ISDND, ISDD ou biocentre selon la nature de la pollution et le niveau de concentration). **En particulier, les déblais ne devront en aucun cas être réutilisés en remblaiement paysager, que ce soit sur site ou hors site, sans étude complémentaire préalable.**

8.1.3 Propres aux opérations de remblaiement

Dans le cas où une solution de dépollution des sols par excavation et évacuation hors site serait choisie, il sera nécessaire de remblayer les fouilles par des matériaux ayant les mêmes caractéristiques lithologiques (limons sableux) que ceux en place initialement, et ce afin de conserver les propriétés de perméabilité des sols aux vapeurs utilisées pour les calculs de risque.

8.2 Prescriptions

8.2.1 Propres à la période de chantier de dépollution

Conformément à la méthodologie du 8 février 2007, la mise en œuvre d'un suivi apparaît nécessaire pour contrôler au fur et à mesure de leur avancement que les mesures de gestion préconisées sont réalisées conformément aux dispositions prévues. Ce suivi doit être réalisé par une entité indépendante des prestataires en charge des travaux de terrassement et de gestion des terres. Sur la base de ce suivi, des actions correctives pourront être mises en œuvre lorsque des écarts seront constatés. A l'issue des travaux, un rapport final accompagné d'une synthèse récapitulant l'ensemble des contrôles réalisés devra être établi. Il devra préciser la bonne réalisation des mesures de gestion. Si les contrôles réalisés au cours du chantier montrent des variations sur les mesures de gestion dont la réalisation conditionne l'acceptabilité du plan de gestion, le responsable du suivi des mesures de gestion, devra alors apprécier et justifier si ces variations sont susceptibles de remettre en cause l'acceptabilité du plan de gestion. Ces éléments doivent permettre la finalisation, si celui-ci est nécessaire, du programme définitif de surveillance environnementale qui devra être mis en œuvre dès l'achèvement des aménagements.

^[1] Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé

Ainsi, des prélèvements de **contrôles de réception des travaux de réhabilitation** devront être réalisés. Si ceux-ci mettaient en évidence des concentrations résiduelles supérieures à celles prises en compte dans l'analyse des enjeux sanitaires, une ARR post-travaux devra être réalisée, qui permettra, si nécessaire, de définir les sujétions constructives à mettre en œuvre, pour s'assurer de la compatibilité sanitaire des concentrations résiduelles mesurées avec le projet d'aménagement.

Des contrôles de réception des terres de remblaiement de la fouille devront également être réalisés.

8.2.2 Surveillance de la qualité de la nappe

ARCADIS recommande le maintien de la surveillance de la qualité des eaux souterraines jusque et durant la mise en œuvre des travaux d'excavation des zone concentrée, afin de s'assurer de l'absence de dégradation de la qualité des eaux souterraines lors de cette opération. Compte tenu des résultats acquis dans le cadre des campagnes de surveillances passées et actuelles, mettant en évidence l'absence d'impact sur la qualité des eaux souterraines provenant du site, la mise en œuvre d'un programme de surveillance quadriennale n'est pas jugées nécessaire.

8.3 Mise en place de servitude d'utilité publique pour garder la mémoire du site et en fixer les usages possibles

Il est nécessaire de garder la mémoire de l'emplacement des sols qui resteront en place après l'aménagement du site et dans lesquels des substances chimiques ont été détectées.

Les calculs de risque réalisés dans le cadre de ce dossier ont été établis sur la base des hypothèses d'aménagement suivantes :

- Usage tertiaire dans des bâtiments sans sous-sol ni vide sanitaire ;
- Absence de logements (de fonction ou autres) ;
- taux de ventilation minimum des locaux de 12 v/j (hypothèse de calcul considérés dans le modèle) ;
- Aucun usage des eaux souterraines sur site (y compris pour l'arrosage des espaces verts, la climatisation, le remplissage de piscine ou de bassins d'agrément...), **sans étude préalable (calcul de risque sanitaire)**
- Pose des canalisations AEP en PEHD au sein de remblai d'apport propre (de type sablon) ou dans des caniveaux techniques béton ou, à défaut, pose de canalisations métalliques ou en matériau anti-contaminant / (hypothèse de calcul considérés dans le modèle)
- Gestion des déblais selon les recommandations effectuées au § 8.1.

Dans le cadre de la vente du site, la mémoire des actions menées dans le cadre de la réhabilitation environnementale du site seront présentées dans un dossier de servitudes d'utilité publiques.

9 MODELE DE FONCTIONNEMENT DU SITE

Annexe 22 : Modèle de fonctionnement

Au regard des mesures de gestion proposées ci avant, il est possible d'établir un modèle de fonctionnement du site prenant en compte les recommandations d'Arcadis afin de réduire les impacts environnementaux à savoir :

- l'extraction pour une gestion hors site des terrains au droit des 2 zones impactées en HAP (PM5 (0,1-0,5) et PM18 (0,5-1),
- l'extraction pour une gestion hors site des terrains présentant des concentrations supérieures à 3000 mg/kg en hydrocarbures (PM12 (0-1) et PM 120 (0,5-1) ;
- l'extraction pour une gestion hors site des terrains accumulés sur le site lors des travaux de démolition

Les modèles de fonctionnement pour le scénario industriel et commercial sont présentés en Annexe 22.

10 CONCLUSIONS

Dans le cadre de son projet de la remise en état environnementale des parcelles occupées par l'ancien dépôt pétrolier de Brive-la-Gaillarde (19), le Département Gestion des Passifs Environnementaux de TOTAL MARKETING SERVICES (TOTAL MS) a missionné Arcadis pour réaliser le plan de gestion de ce site conformément à la circulaire du 8 février 2007³.

Les objectifs du plan de gestion sont :

- De vérifier la compatibilité sanitaire du site en l'état avec les usages futurs envisagés ;
- Si nécessaire, de déterminer les mesures de gestion des pollutions et des risques sanitaires permettant de rendre le site compatible avec l'usage et avec la notion d'amélioration de la qualité des milieux,
- De réaliser un bilan coûts/avantages de ces solutions de gestion
- D'estimer les risques résiduels attendus après mise en œuvre des solutions de gestion
- De fournir le modèle de fonctionnement du site.

Ce document est basé sur les données recueillies lors du diagnostic réalisé par Arcadis en novembre 2014 et janvier 2015. Ces données ont mis en évidence :

- **Investigations sur les sols** : identification de sept zones présentant un impact par des hydrocarbures (HAP et HC C₅-C₄₀) avec la présence de deux (2) zones particulièrement concentrées en HAP mises en évidence au droit des sondages :
 - **PM5** avec **370 mg/kg** entre 0.5 et 1 m de profondeur ;
 - **PM18** avec **590 mg/kg** entre 0,5 et 1 m de profondeur ;
- **Investigations sur les eaux souterraines** :
 - l'absence d'impact sur les eaux souterraines au droit du site.

En cohérence avec les recommandations de la circulaire du 08 février 2007 et compte tenu des impacts identifiés à l'issue des dernières investigations, un plan de gestion a été réalisé afin :

- de **maitriser les sources de pollution (points chauds) identifiées sur le site** ;
- de **maitriser les impacts sanitaires des pollutions repérées sur le site** compte tenu des usages envisagés ;
- de **maitriser les impacts environnementaux résiduels après traitement des zones sources**.

Par conséquent, les mesures de gestion suivantes sont nécessaires :

- **dans le cadre de la maîtrise des sources** :
 - **Extraction / traitement des zones concentrées en HAP** mises en évidence au droit des sondages PM5 et PM18, qui représentent une masse estimée associée à ces impacts à **150 t de terre**.

³ Texte et documents explicatifs de la circulaire du 8 février 2007 accessibles sur le site du MEDDE: <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/>

- **Extraction / traitement des zones concentrées en HC C₅-C₄₀** mises en évidence au droit des sondages PM12 et PM120, qui représentent une masse estimée associée à ces impacts à **285 t de terre**.

- **dans le cadre de la maîtrise des impacts sanitaires**
 - des niveaux de risque sanitaire inférieurs aux valeurs seuils recommandées ont été mis en évidence pour un usage de type tertiaire. Aucune mesure de gestion particulière n'est par conséquent nécessaire et les travaux de réhabilitation ne seront pas contraints par des critères sanitaires.

Ainsi la **masse totale estimative de sol à traiter** prise en compte dans le cadre de ce plan de gestion est de **435 tonnes**.

Le bilan coûts/avantages a permis d'estimer les coûts de traitement des différentes zones précitées. Il apparaît comme étant le plus judicieux de procéder à **une gestion hors site des matériaux identifiés**, quatre (4) scénarios de gestion hors site des terrains possibles associant une à deux filières d'acceptation possibles ont été identifiés, tel que résumé dans le Tableau 14. Le choix du scénario dépendra des capacités d'acceptation des centres sélectionnés et disponibles au moment de la réalisation des travaux.

Le coût estimatif, sur la base des volumes estimatifs calculés, serait compris entre 70 et 100 k€.

Par la mise en œuvre de ces mesures, l'impact sanitaire et l'impact environnemental de la pollution des sols actuellement constatés seront donc maîtrisés.

Ainsi, sur la base des données disponibles ayant servi à réaliser cette étude et après calcul des risques par une approche globalement majorante, le site est compatible avec l'usage tertiaire futur, sous réserve de la mise en œuvre des mesures ci-dessus définies.

A noter que :

- Les cibles étudiées correspondent aux usagers futurs les plus sensibles en termes d'exposition, et donc de risques sanitaires, puisqu'elles correspondent à un employé travaillant quotidiennement en rez-de-chaussée des futurs locaux.
Les calculs de risques couvrent donc les autres cibles qui pourraient être présentes sur le site, mais de façon moins exposée, que ce soit en raison de leur localisation en étages dans les bâtiments, ou du fait d'une fréquence et d'une durée d'exposition moindres (visiteurs, ...).
- En l'absence de données sur le mode de construction des futurs bâtiments, et par principe de prudence, il a été considéré que les bâtiments à usage commercial et industriel seront construits sans niveau de sous-sol (configuration la plus pénalisante pour les expositions).
Les calculs de risques couvrent donc des modes de construction sur niveau de sous-sol ou vide sanitaire.
- Par principe de précaution, les calculs de transfert et d'exposition ont été réalisés dans l'aménagement le plus propice à l'accumulation de gaz, soit une pièce de petite taille (bureau de 15 m²).
Les calculs de risques restent donc valables pour tout aménagement de taille supérieure (hangar, bureaux non cloisonnés...).

Les hypothèses, recommandations, restrictions d'usage et servitudes énoncées ci-avant (paragraphe 8) devront être respectées, dans ce cadre Arcadis rappelle que :

- Toute modification des hypothèses de départ et du projet tels que décrits dans le présent document ne pourra être envisagée qu'après réalisation d'une étude complémentaire afin de valider la compatibilité sanitaire du site avec le nouveau projet ;
- Lors des travaux d'aménagement, il est recommandé de respecter quelques règles simples et usuelles d'hygiène sur ce type de chantier (lavage des mains, interdiction de manger...) ;
- Conformément à la méthodologie du 8 février 2007, la mise en œuvre d'un suivi apparaît nécessaire pour contrôler au fur et à mesure de leur avancement que les mesures de gestion préconisées sont réalisées conformément aux dispositions prévues. Ce suivi doit être réalisé par une entité indépendante des prestataires en charge des travaux de terrassement et de gestion des terres. Sur la base de ce suivi, des actions correctives pourront être mises en œuvre lorsque des écarts seront constatés. A l'issue des travaux, un rapport final accompagné d'une synthèse récapitulant l'ensemble des contrôles réalisés devra être établi. Il devra préciser la bonne réalisation des mesures de gestion. Si les contrôles réalisés au cours du chantier montrent des variations sur les mesures de gestion dont la réalisation conditionne l'acceptabilité du plan de gestion, le responsable du suivi des mesures de gestion, devra alors apprécier et justifier si ces variations sont susceptibles de remettre en cause l'acceptabilité du plan de gestion. Ces éléments doivent permettre la finalisation, si celui-ci est nécessaire, du programme définitif de surveillance environnementale qui devra être mis en œuvre dès l'achèvement des aménagements.
- Les déblais générés par les travaux d'aménagement et de terrassements sont susceptibles de ne pas être acceptés en ISD inertes. Si tel était le cas, ces déblais devront donc être éliminés en filière agréée.

Limitations du rapport

Arcadis a élaboré ce rapport pour l'usage exclusif de TOTAL MS, conformément à la proposition technique n° 14-001661-OFR-00001-NOT-A01 en date du 18/07/2014.

Ce rapport, ainsi que l'ensemble de ses annexes, constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication partielle ou reproduction partielle de ce rapport et annexes, ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'Arcadis ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage ponctuel, et que cette méthodologie ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du ou des milieux étudiés.

Par ailleurs les conclusions de la présente étude valent que pour les usages, scénarios, composés et valeurs toxicologiques considérés. La prise en compte d'autres usages, d'un part, ou de nouveaux résultats analytiques et données toxicologiques, d'autre part, pourrait conduire à la révision et à l'actualisation des conclusions de la présente étude.

Les conclusions et recommandations du présent rapport sont basées pour partie sur des informations extérieures fournies par les personnes et entités auxquelles elles ont été demandées, non garanties par Arcadis ; sa responsabilité en la matière ne saurait être engagée.

Enfin l'utilisation de ce rapport et de ses annexes à d'autres fins que celles définies dans la proposition Arcadis, par TOTAL MS ou par des tiers, est de l'entière responsabilité de l'utilisateur.

Droit d'auteur

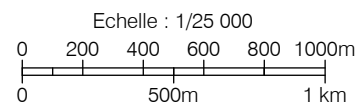
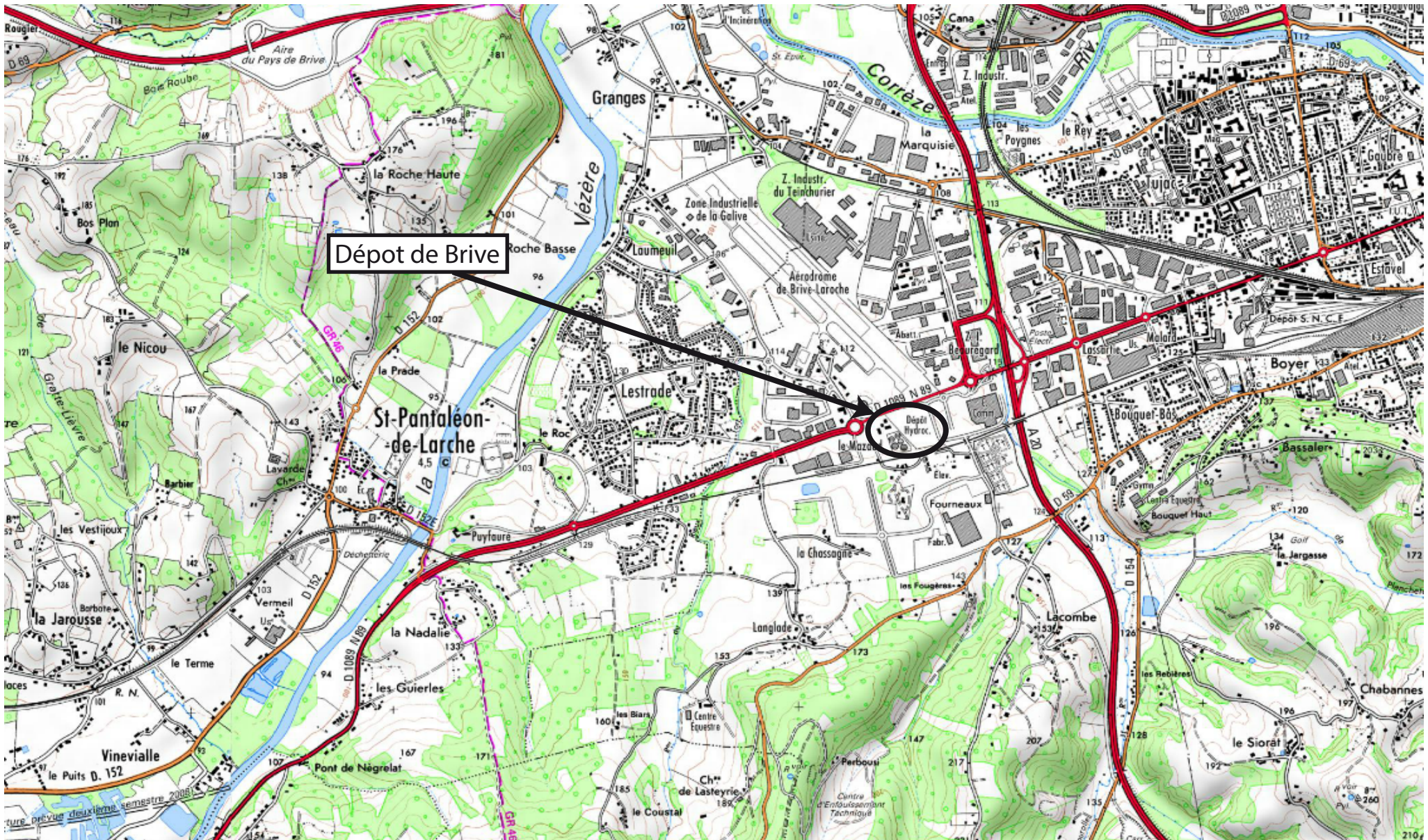
© Ce rapport est la propriété exclusive d'Arcadis. Seul le destinataire du présent rapport est autorisé à le reproduire ou l'utiliser pour ses propres besoins. Ce rapport pourra être transmis aux tiers via les actes notariés.



LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Plan de localisation du site sur extrait de carte IGN
Annexe 2	Plan de localisation du site sur photographie aérienne
Annexe 3	Plan de localisation du site sur extrait de carte géologique
Annexe 4	Plan du site et implantation des investigations
Annexe 5	Tableaux de synthèse des résultats de sol
Annexe 6	Tableaux de synthèse des résultats des eaux souterraines
Annexe 7	Schéma conceptuel
Annexe 8	Méthodologie de calcul des risques
Annexe 9	Toxicologie des substances et organes cibles
Annexe 10	Justification du choix des paramètres de transfert
Annexe 11	Equations de transfert
Annexe 12	Feuilles de transfert sols / air ambiant
Annexe 13	Feuilles de transfert eaux souterraines / air ambiant
Annexe 14	Equations de calcul des DJE
Annexe 15	Justification du choix des paramètres d'exposition
Annexe 16	VTR retenues pour l'étude
Annexe 17	Tableau de toutes les VTR existantes dans la littérature
Annexe 18	Justification du choix des VTR
Annexe 19	Calcul de l'exposition et du risque résiduel– scénario tertiaire
Annexe 20	Incertitudes liées aux calculs de risques
Annexe 21	Localisation des masses de sol à traiter
Annexe 22	Modèle de fonctionnement

Annexe 1 Plan de localisation du site sur extrait de carte IGN



Plan de localisation du site sur extrait de carte IGN

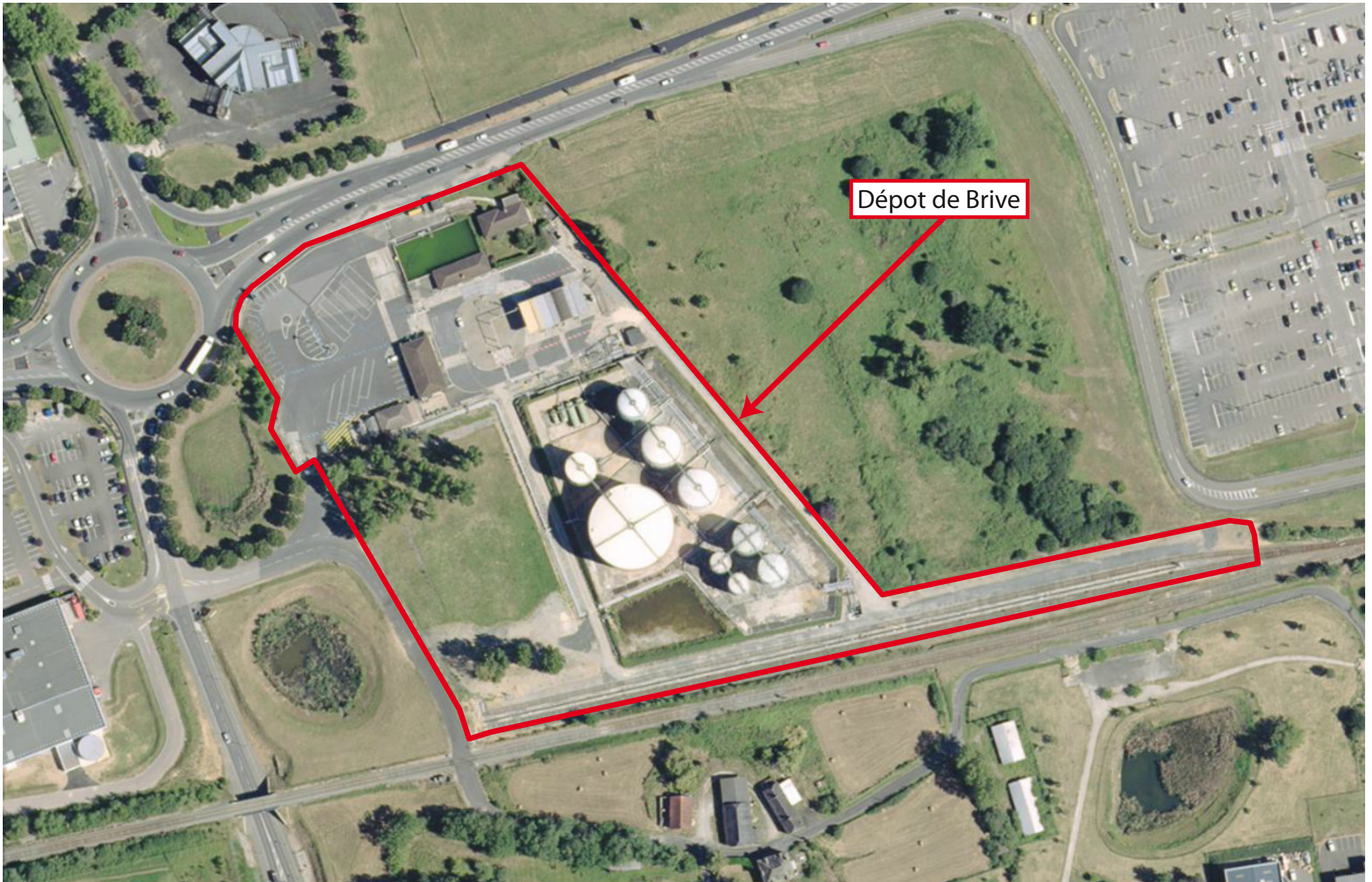


Date : 15/11/2014
Dessiné par : ELU
Ingénieur : AID
Echelle : graphique

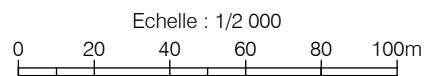
TOTAL Marketing Services

Ancien dépôt pétrolier de Brive
BRIVE-LA-GAILLARDE (19)
Affaire : FR0114-001661
Annexe : 01

Annexe 2 Plan de localisation du site sur photographie aérienne



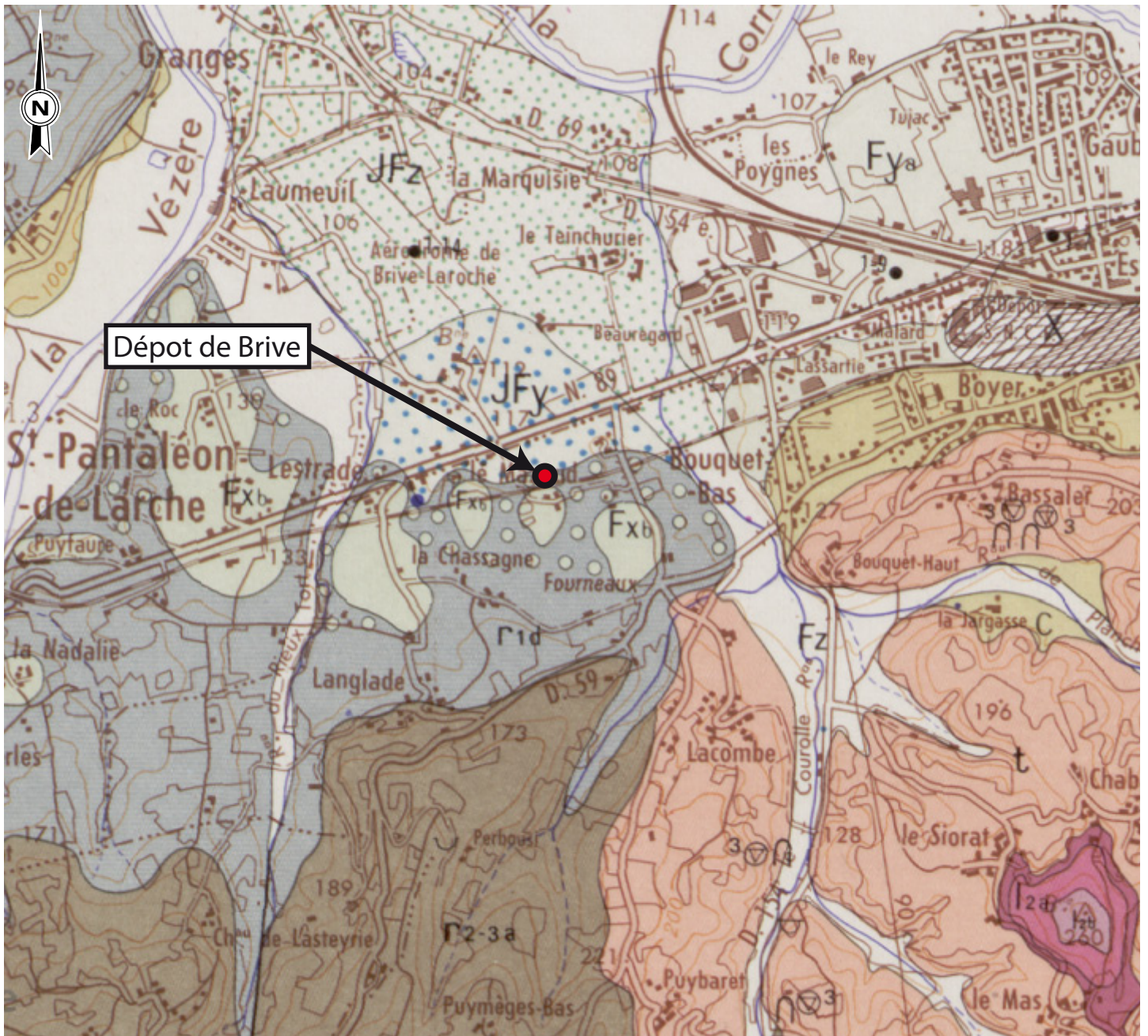
Dépot de Brive



Plan de localisation du site sur photographie aérienne		TOTAL Marketing Services
 Agence de Paris Immeuble Astrale - 5, avenue Réaumur 92354 LE PLESSIS-ROBINSON Cedex Tél. +33(0)1 46 23 78 23 - Fax +33(0)1 46 01 35 80 www.arcadis-fr.com	Date : 15/11/2014	Ancien dépôt pétrolier de Brive BRIVE-LA-GAILLARDE (19)
	Dessiné par : ELU	
	Ingénieur : AID	Affaire : FR0114-001661
	Echelle : 1/2000	Annexe : 02

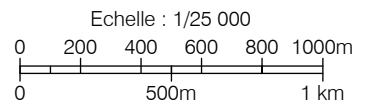
Document protégé, propriété exclusive d'Arcadis ESR. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée. Reproduction intégrale ou partielle non autorisée. Arbitrage soumis aux dispositions de l'article 1017 du Code de Commerce.

Annexe 3 Plan de localisation du site sur extrait de carte géologique



LÉGENDE

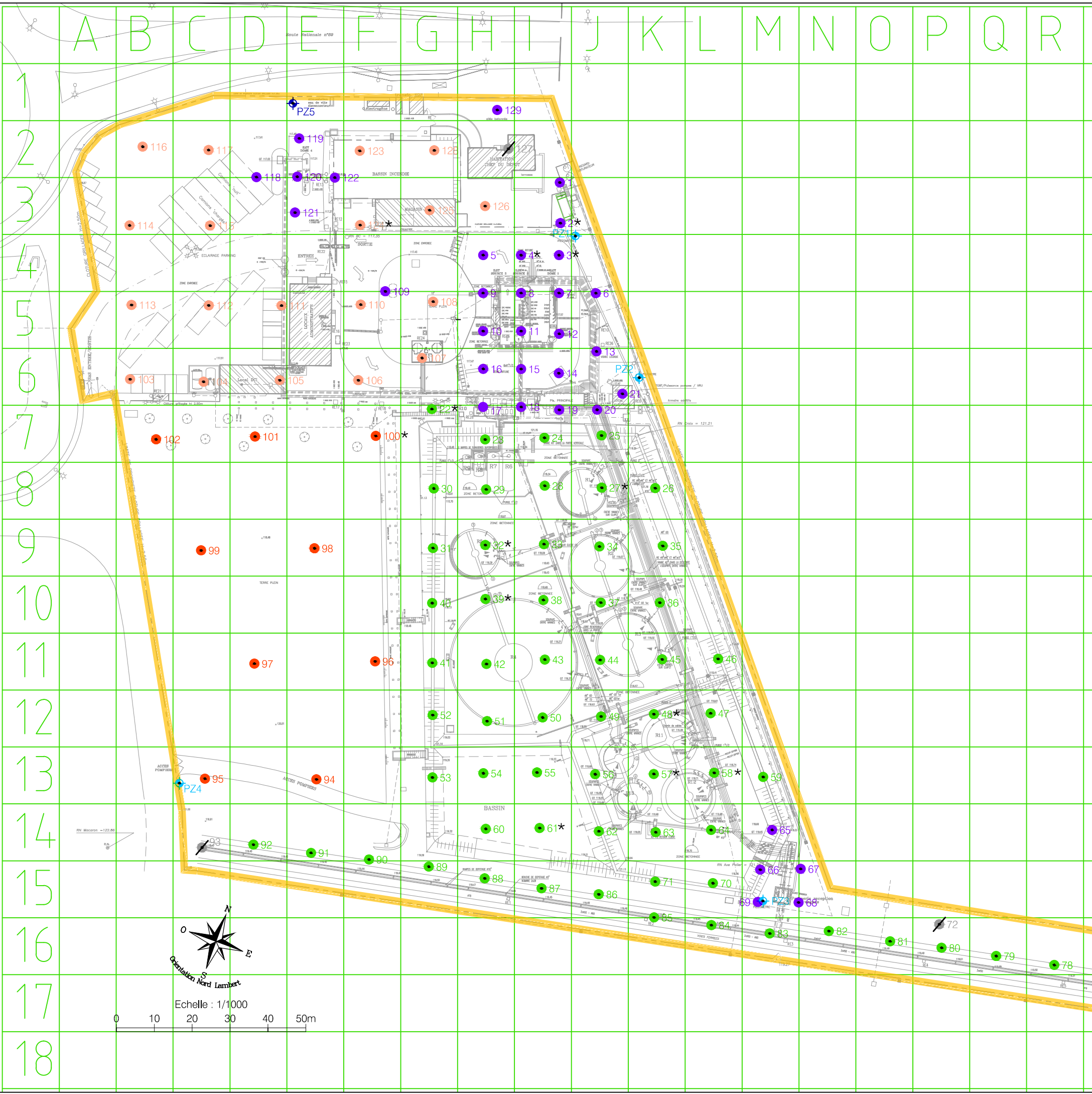
- r1d Terrains sédimentaires. Autunien : Grès rouges de Rive
- Fxb Terrains sédimentaires. Alluvions anciennes de haut niveau : alluvions du niveau de 30 m
- Fz Terrains sédimentaires. Alluvions récentes et modernes.
- t Terrains sédimentaires. Trias : grès blancs et bariolés.
- r2-3a Terrains sédimentaires. Saxono-Thuringien : Grès de Grammont
- C Terrains sédimentaires. Colluvions de bas versant, individualisées localement
- JFy Terrains sédimentaires. Alluvions anciennes de bas niveau : cône de déjection ancien
- JFz Terrains sédimentaires. Cône de déjection récent, associé à Fz



SOURCE :
 Editeur(s) : BRGM Editions
 Echelle : 1/50 000
 Titre : Tulle
 Numéro : 761
 Parution : 2011

Plan de localisation du site sur extrait de carte géologique		TOTAL Marketing Services
 Agence de Paris Immeuble Astrale - 9, avenue Réaumur 82354 LE PLESSIS-ROBINSON Cedex Tel. +33(0)1 46 23 78 23 - Fax +33(0)1 46 01 35 80 www.arcadis-fr.com	Date : 15/11/2014	Ancien dépôt pétrolier de Brive BRIVE-LA-GAILLARDE (19)
	Dessiné par : ELU	
	Ingénieur : AID	Affaire : FR0114-001661
	Echelle : 1/25000	Annexe : 03

Annexe 4 Plan du site et implantation des investigations



Localisation des investigations		TOTAL Marketing Services	
	Date : 15/11/2014	Ancien dépôt pétrolier de Brive BRIVE-LA-GAILLARDE (19)	
	Dessiné par : ELU	Affaire : FR0114-001661	
	Ingénieur : AID	Annexe : 04	
	Echelle : graphique		
<small>Document protégé, propriété exclusive d'Arcadis ESD. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée. Reproduction intégrale ou partielle non autorisée strictement interdite pouvant entraîner des poursuites devant un tribunal.</small>			

LÉGENDE

Limite du site

- Sondages implantés selon un maillage de :

- 10 x 10 m (33 sondages)
- 15 x 15 m (67 sondages)
- 20 x 20 m (20 sondages)
- 30 x 30 m (9 sondages)

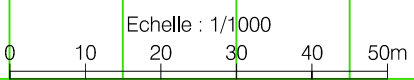
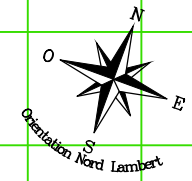
Sondage non abouti
(arrivées d'eau de surface importantes
lors de l'excavation)

Sondage non réalisé
(contraintes terrain)

NOTA :
Sur le terrain, les couleurs rouge et rose
sont très similaires

- Piézomètre complémentaire :

- Piézomètres existants avant 2015 (Pz1, Pz2, Pz3, Pz4)
- Piézomètre réalisé par ARCADIS en 2015 (Pz5)



Annexe 5 Tableaux de synthèse des résultats de sol

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR ECHANTILLONS DE SOL

Désignation de l'échantillon (Année-Site-Sondage (Profondeur en m))		Critères de comparaison		14_BRI_PM44 (0.1-0.5)	14_BRI_PM44 (2.0-3.0)	14_BRI_PM45 (0.1-0.5)	14_BRI_PM45 (2.0-3.0)	14_BRI_PM47 (0.5-1.0)	14_BRI_PM49 (1.0-2.0)	14_BRI_PM49 (4.0-4.5)	14_BRI_PM50 (0.1-0.5)	14_BRI_PM50 (3.0-4.0)	14_BRI_PM51 (1.0-2.0)	14_BRI_PM52 (3.0-4.0)
Nature de l'échantillon		Gamme Aspitel "sols ordinaires" - Fond géochimique "sols ruraux"	Déchets inertes arrêté du 12/12/214 ISDI											
Valeurs PID	ppmV			0	0	0	0	1,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0
Matière sèche														
Matière sèche	%			85,4	84,9	88,1	90,9	83,2	87,9		90,3	92,7	83,2	84,7
Huiles minérales volatiles														
fraction C5-C6	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10			<10	<10	<10
fraction C6 - C8	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10			<10	<10	<10
fraction C8 - C10	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10			<10	<10	<10
Somme HCT C5-C10	mg/kgds			<30	<30	<30	<30	<30	<30			<30	<30	<30
Huiles minérales (HCT)														
fraction C10-C12	mg/kgds			<5	<5	<5	<5	<5	<5			<5	<5	<5
fraction C12-C16	mg/kgds			<5	<5	<5	<5	<5	<5			<5	<5	<5
fraction C16-C21	mg/kgds			7,9	<5	<5	<5	<5	<5			<5	<5	<5
fraction C21-C40	mg/kgds			7,7	<5	8,9	<5	<5	<5			<5	<5	<5
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kgds		500	<20	<20	<20	<20	<20	<20			<20	<20	<20
HAP - liste des 16 US EPA														
Naphtalène	mg/kgds	0,0017		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02			<0,05	<0,05	<0,05
Acénaphylène	mg/kgds								<0,02					
Acénaphthène	mg/kgds								<0,02					
Fluorène	mg/kgds								<0,02					
Phénanthrène	mg/kgds	0,03							<0,02					
Anthracène	mg/kgds								<0,02					
Fluoranthène*	mg/kgds	0,0003-0,04							<0,02					
Pyrène*	mg/kgds	0,001-0,0197							<0,02					
Benzo (a) anthracène*	mg/kgds	0,005-0,02							<0,02					
Chrysène*	mg/kgds	0,0383							<0,02					
Benzo (b) fluoranthène*	mg/kgds	0,002-0,003							<0,02					
Benzo (k) fluoranthène*	mg/kgds	0,01-0,11							<0,02					
Benzo (a) pyrène*	mg/kgds	0,002-1,3							<0,02					
Dibenzo (a,h) anthracène	mg/kgds								<0,02					
Benzo (g,h,i) pérylène	mg/kgds	0,01-0,07							<0,02					
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène*	mg/kgds	0,01-0,015							<0,02					
Somme des 8 HAP*	mg/kgds								n.d.					
Somme des 16 HAP	mg/kgds		50						<0,32					
BTEX-N														
Benzène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
Xylènes totaux	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
- orthoxylène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
- para- et méta-xylène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05
Somme des BTEX	mg/kgds		6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			<0,2	<0,2	<0,2
Métaux lourds														
Arsenic (As)	mg/kgds	1,0-25,0				11						<4		
Cadmium (Cd)	mg/kgds	0,05-0,45				<0,2						<0,2		
Chrome total (Cr)	mg/kgds	10,0-90,0				17						<10		
Cuivre (Cu)	mg/kgds	2,0-20,0				9,1						<5		
Mercurie (Hg)	mg/kgds	0,02-0,1				<0,05						<0,05		
Nickel (Ni)	mg/kgds	2,0-60				7,9						<3		
Plomb (Pb)	mg/kgds	9,0-50				18						<10		
Zinc (Zn)	mg/kgds	10-100				24						<20		
PolyChloroBiphényles (PCB)														
PCB 28	mg/kgds													
PCB 52	mg/kgds													
PCB 101	mg/kgds													
PCB 138	mg/kgds													
PCB 153	mg/kgds													
PCB 180	mg/kgds													
PCB 118	mg/kgds													
Somme des 7 PCB	mg/kgds		1											
Autre analyse														
COT	mg/kgds		30000						<2000	<2000				
ETBE	mg/kgds													
MTBE	mg/kgds													
TPH														
fraction aromat. >C5-C7	mg/kgds													
fraction aromat. >C7-C8	mg/kgds													
fraction aromat. >C8-C10	mg/kgds													
fraction aromat. >C10-C12	mg/kgds													
fraction aromat. >C12-C16	mg/kgds													
fraction aromat. >C16-C21	mg/kgds													
fraction aromat. >C21-C35	mg/kgds													
fraction aliphat. C5-C6	mg/kgds													
fraction aliphat. C6-C8	mg/kgds													
fraction aliphat. C8-C10	mg/kgds													
fraction aliphat. C10-C12	mg/kgds													
fraction aliphat. C12-C16	mg/kgds													
fraction aliphat. C16-C21	mg/kgds													
fraction aliphat. C21-C35	mg/kgds													
Granulométrie														
parties min. <2µm	% fract. Min.								19	5				
parties min. <20µm	% fract. Min.								31	5,9				
parties min. <50µm	% fract. Min.								30	7,6				
parties min. <210µm	% fract. Min.								65	13				
parties min. <2mm	% fract. Min.								96	63				

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR ECHANTILLONS DE SOL

Désignation de l'échantillon (Année-Site-Sondage (Profondeur en m))		Critères de comparaison		14_BRI_PM105 (4.0-5.0)	14_BRI_PM106 (0.5-1.0)	14_BRI_PM106 (1.0-2.0)	14_BRI_PM106 (2.0-3.0)	14_BRI_PM106 (3.0-4.0)	14_BRI_PM107 (0.1-0.5)	14_BRI_PM107 (1.0-2.0)	14_BRI_PM108 (1.0-2.0)	14_BRI_PM108 (3.0-4.0)	14_BRI_PM108 (4.0-4.6)	14_BRI_PM109 (1.0-2.0)
Nature de l'échantillon		Gamme Aspitel "sols ordinaires"	Déchets inertes arrêté du 12/12/214 ISDI											
Valeurs PID	ppmV	Fond géochimique "sols ruraux"		-	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	-	10
Matière sèche														
Matière sèche	%			90	81	92,1	94,6	95	84,4	89,8	88,1		84,2	87,1
Huiles minérales volatiles														
fraction C5-C6	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fraction C6 - C8	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
fraction C8 - C10	mg/kgds			<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Somme HCT C5-C10	mg/kgds			<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Huiles minérales (HCT)														
fraction C10-C12	mg/kgds			14	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C12-C16	mg/kgds			45	<5	<5	<5	<5	5,9	<5	<5	<5	<5	22
fraction C16-C21	mg/kgds			43	<5	<5	<5	<5	21	<5	<5	<5	<5	37
fraction C21-C40	mg/kgds			23	<5	<5	<5	<5	26	<5	<5	<5	<5	21
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kgds		500	120	<20	<20	<20	<20	55	<20	<20	<20	<20	85
HAP - liste des 16 US EPA														
Naphtalène	mg/kgds	0,0017		<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Acénaphylène	mg/kgds			<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Acénaphthène	mg/kgds			0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fluorène	mg/kgds			0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,17	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Phénanthrène	mg/kgds	0,03		0,24	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,69	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Anthracène	mg/kgds			0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,46	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fluoranthène*	mg/kgds	0,0003-0,04		0,06	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,33	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pyrène*	mg/kgds	0,001-0,0197		0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,22	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo (a) anthracène*	mg/kgds	0,005-0,02		0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,19	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Chrysène*	mg/kgds	0,0383		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,14	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo (b) fluoranthène*	mg/kgds	0,002-0,003		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,23	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo (k) fluoranthène*	mg/kgds	0,01-0,11		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo (a) pyrène*	mg/kgds	0,002-1,3		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dibenzo (a,h) anthracène	mg/kgds			<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo (g,h,i) pérylène	mg/kgds	0,01-0,07		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,12	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Indéno (1,2,3-c,d) pyrène*	mg/kgds	0,01-0,015		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,13	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Somme des 8 HAP*	mg/kgds			0,12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somme des 16 HAP	mg/kgds		50	0,61	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	3,1	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32
BTEX-N														
Benzène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Xylènes totaux	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
- orthoxylène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
- para- et méta-xylène	mg/kgds			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Somme des BTEX	mg/kgds		6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Métaux lourds														
Arsenic (As)	mg/kgds	1,0-25,0												
Cadmium (Cd)	mg/kgds	0,05-0,45												
Chrome total (Cr)	mg/kgds	10,0-90,0												
Cuivre (Cu)	mg/kgds	2,0-20,0												
Mercurie (Hg)	mg/kgds	0,02-0,1												
Nickel (Ni)	mg/kgds	2,0-60												
Plomb (Pb)	mg/kgds	9,0-50												
Zinc (Zn)	mg/kgds	10-100												
PolyChloroBiphényles (PCB)														
PCB 28	mg/kgds													
PCB 52	mg/kgds													
PCB 101	mg/kgds													
PCB 138	mg/kgds													
PCB 153	mg/kgds													
PCB 180	mg/kgds													
PCB 118	mg/kgds													
Somme des 7 PCB	mg/kgds		1											
Autre analyse														
COT	mg/kgds		30000								<2000	<2000		
ETBE	mg/kgds													
MTBE	mg/kgds													
TPH														
fraction aromat. >C5-C7	mg/kgds													
fraction aromat. >C7-C8	mg/kgds													
fraction aromat. >C8-C10	mg/kgds													
fraction aromat. >C10-C12	mg/kgds													
fraction aromat. >C12-C16	mg/kgds													
fraction aromat. >C16-C21	mg/kgds													
fraction aromat. >C21-C35	mg/kgds													
fraction aliphat. C5-C6	mg/kgds													
fraction aliphat. C6-C8	mg/kgds													
fraction aliphat. C8-C10	mg/kgds													
fraction aliphat. C10-C12	mg/kgds													
fraction aliphat. C12-C16	mg/kgds													
fraction aliphat. C16-C21	mg/kgds													
fraction aliphat. C21-C35	mg/kgds													
Granulométrie														
parties min. <2µm	% fract. Min.										5,3	3		
parties min. <20µm	% fract. Min.										8,9	3,4		
parties min. <50µm	% fract. Min.										9	4		
parties min. <210µm	% fract. Min.										22	7,6		
parties min. <2mm	% fract. Min.										61	92		

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR COMPOSITES DU TAS DE TERRES POLLUEES

Désignation de l'échantillon (Année-Site-Sondage (Profondeur en m))		Critères de comparaison		C1	C2
Nature de l'échantillon		Gamme Aspité "sols ordinaires"	Déchets inertes arrêté du 12/12/2014 ISDI	mélange	mélange
Valeurs PID maximale	ppmV	Fond géochimique "sols ruraux"		0.8	50
Matière sèche					
Matière sèche	%			85.7	83.6
Huiles minérales (HCT)					
fraction C10-C12	mg/kgds			40	66
fraction C12-C16	mg/kgds			150	280
fraction C16-C21	mg/kgds			190	400
fraction C21-C40	mg/kgds			100	240
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kgds		500	480	990
HAP - liste des 16 US EPA					
Naphtalène	mg/kgds	0.0017		0.03	0.03
Acénaphthylène	mg/kgds			<0,02	0.02
Acénaphthène	mg/kgds			0.05	0.15
Fluorène	mg/kgds			0.14	0.17
Phénanthrène	mg/kgds	0.03		0.34	0.38
Anthracène	mg/kgds			0.16	0.13
Fluoranthène*	mg/kgds	0,0003-0,04		0.28	0.28
Pyrène*	mg/kgds	0,001-0,0197		0.22	0.24
Benzo (a) anthracène*	mg/kgds	0,005-0,02		0.14	0.18
Chrysène*	mg/kgds	0.0383		0.13	0.17
Benzo (b) fluoranthène*	mg/kgds	0,002-0,003		0.21	0.25
Benzo (k) fluoranthène*	mg/kgds	0,01-0,11		0.09	0.11
Benzo (a) pyrène*	mg/kgds	0,002-1,3		0.17	0.24
Dibenzo (a,h) anthracène	mg/kgds			0.03	0.04
Benzo (g,h,i) pérylène	mg/kgds	0,01-0,07		0.17	0.17
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène*	mg/kgds	0,01-0,015		0.14	0.19
Somme des 8 HAP*	mg/kgds			1.38	1.66
Somme des 16 HAP	mg/kgds		50	2.3	2.8
BTEX-N					
Benzène	mg/kgds			<0,05	<0,05
Toluène	mg/kgds			<0,05	<0,05
Ethylbenzène	mg/kgds			<0,05	<0,05
Xylènes totaux	mg/kgds			<0,10	<0,10
- orthoxylène	mg/kgds			<0,05	<0,05
- para- et métaxylène	mg/kgds			<0,05	<0,05
Somme des BTEX	mg/kgds		6	<0,25	<0,25
PolyChloroBiphényles (PCB)					
PCB 28	mg/kgds			0,0021	<0,0012
PCB 52	mg/kgds			0,0012	<0,0014
PCB 101	mg/kgds			0,002	0,0024
PCB 138	mg/kgds			0,0015	0,0021
PCB 153	mg/kgds			0,0022	0,005
PCB 180	mg/kgds			0,0019	0,0032
PCB 118	mg/kgds			<0,001	0,002
Somme des 7 PCB	mg/kgds		1	0,011	0,015
COT	mg/kgds		30000	5000	5900
Sur éluat (suite à lixiviation)					
Métaux lourds					
Arsenic (As)	mg/kgds		0.5	<0,1	<0,1
Cadmium (Cd)	mg/kgds		0.04	<0,01	<0,01
Chrome total (Cr)	mg/kgds		0.5	<0,1	<0,1
Cuivre (Cu)	mg/kgds		2	<0,1	<0,1
Mercuré (Hg)	mg/kgds		0.01	<0,001	<0,001
Nickel (Ni)	mg/kgds		0.4	<0,1	<0,1
Plomb (Pb)	mg/kgds		0.5	<0,1	<0,1
Zinc (Zn)	mg/kgds		4	<0,2	<0,2
Métaux complémentaires					
Antimoine (Sb)	mg/kgds		0.06	<0,039	<0,039
Baryum (Ba)	mg/kgds		20	0.15	<0,1
Molybdène (Mo)	mg/kgds		0.5	<0,1	<0,1
Sélénium (Se)	mg/kgds		0.1	<0,039	<0,039
Autres analyses sur lixiviats					
L/S	ml/g			10	10
pH				8.48	7.73
Température	°C			20	19.4
Conductivité	µS/cm			157.4	135.3
Principaux ions					
Chlorure (Cl-)	mg/kgds			<10	<10
Fluorure (F-)	mg/kgds			5.2	5.9
Sulfates (SO42-)	mg/kgds			193	204
Indice phénol	mg/kgds			<0,1	<0,1
Fraction soluble	mg/kgds		4000	700	1040
COT	mg/kgds		500	50	41

Annexe 6 Tableaux de synthèse des résultats des eaux souterraines

TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES SUR ECHANTILLONS D'EAU SOUTERRAINE

Nom du projet	Critères de comparaison			Unité	BRI_PZ1	BRI_PZ2	BRI_PZ3	BRI_PZ4	BRI_PZ5
	AM du 11/01/2007 Annexe I	AM du 11/01/2007 Annexe II	OMS		eau souterraine	eau souterraine	eau souterraine	eau souterraine	eau souterraine
Nature de l'échantillons									
Huiles minérales volatiles									
fraction C5-C6				µg/l	<10	<10	<10	<10	<10
fraction C6 - C8				µg/l	<10	<10	<10	<10	<10
fraction C8 - C10				µg/l	<10	<10	<10	<10	<10
Somme HCT C5-C10				µg/l	<30	<30	<30	<30	<30
Huiles minérales (HCT)									
fraction C10-C12				µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C12-C16				µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C16-C21				µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
fraction C21-C40				µg/l	<5	<5	<5	<5	<5
Somme HCT C10-C40		1000		µg/l	<20	<20	<20	<20	<20
HAP - liste des 16 US EPA									
Naphtalène				µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.40	<0.1
Acénaphylène				µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acénaphthène				µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Fluorène				µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Phénanthrène				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	0.12	<0.02
Anthracène				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Fluoranthène 6				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02
Pyrène				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo (a) anthracène	0,01		0,7	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Chrysène				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo (b) fluoranthène 4, 6				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo (k) fluoranthène 4, 6				µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo (a) pyrène 6				µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo (a,h) anthracène				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo (g,h,i) pérylène 4, 6				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Indeno (1,2,3-c,d) pyrène 4, 6				µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Somme des 4 HAP 4					-	-	-	-	-
Somme des 6 HAP 6		1			-	-	-	-	-
HAV									
Benzène	1		10	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Toluène			700	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.31
Ethylbenzène			300	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Xylènes totaux			500	µg/l	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
- orthoxylène				µg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
- para- et métaxylène				µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Somme des BTEX				µg/l	<1	<1	<1	<1	<1
ETBE / MTBE									
ETBE (ethyl(tertio)butyléther)				µg/l	3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
MTBE(méthyl(tertio)butyléther)				µg/l	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Annexe 7 Schéma conceptuel

BUDGET ESPACE / TEMPS

Scénario	Cibles	Temps de présence	Fréquence d'exposition	Durée d'exposition
Tertiaire	Employés	8h/j	220 j/an	42 ans

HORS SITE

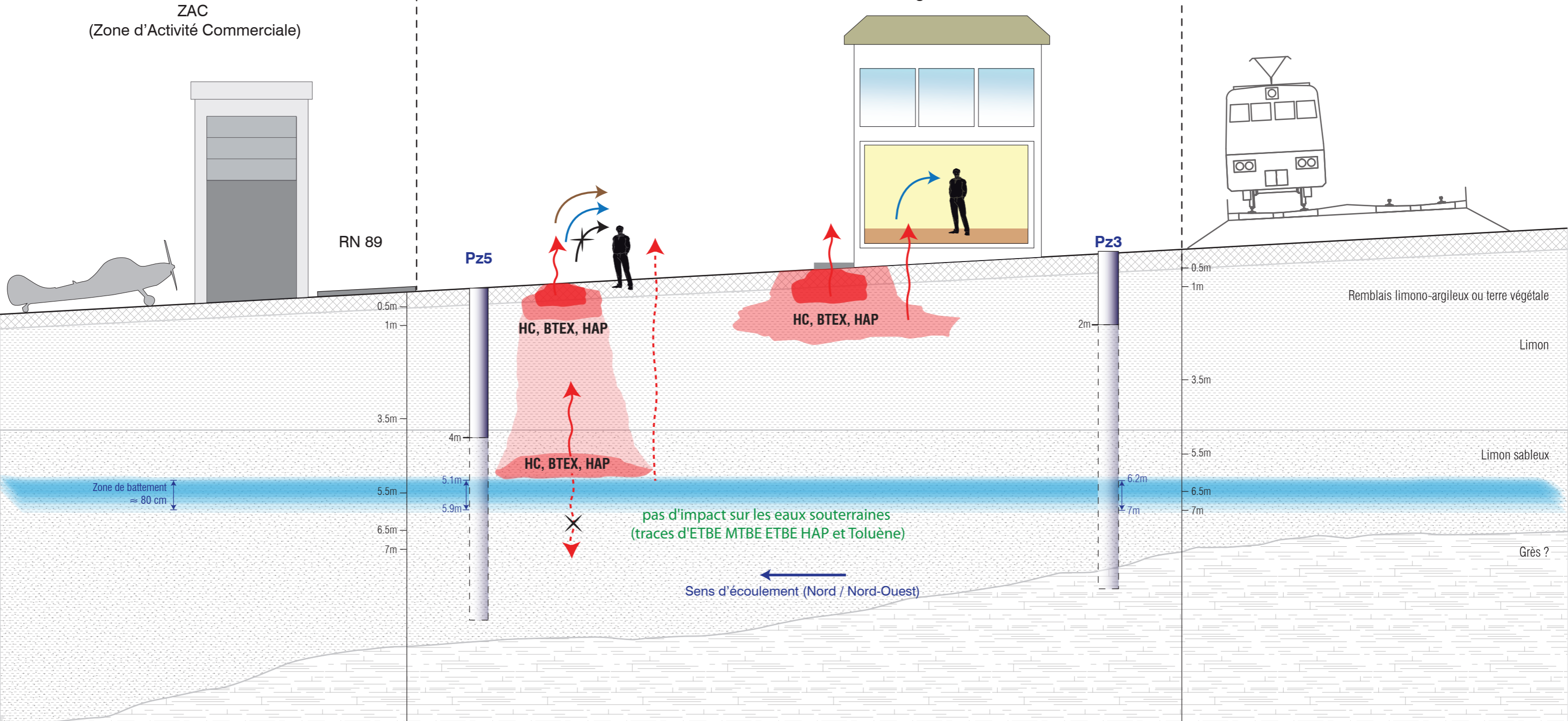
SUR SITE

HORS SITE

Aéroport + ZAC (Zone d'Activité Commerciale)

Bâtiment à usage tertiaire / commercial

Voie ferrée



LÉGENDE

VOIES DE TRANSFERT

- ↑ Volatilisation depuis les sols
- ⊗ Transfert des sols vers la nappe (voie inactive)
- ↑ Volatilisation depuis les eaux souterraines

VOIES D'EXPOSITION

- ↪ Inhalation (poussières ou vapeurs)
- ↪ Contact cutané (sol)
- ↪ Ingestion (sol)

SCHEMA CONCEPTUEL

ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

Date : 12/05/2016
 Dessinateur : TGA
 Ingénieur : ASE
 Echelle : graphique

Total Marketing France
 Ancien dépôt pétrolier de Brive BRIVE-LA-GAILLARDE (19)
 Affaire n° : FR0114.001661
 Annexe : 07

Document protégé, propriété exclusive d'Arcadis ESO. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée. Reproduction intégrale ou partielle non autorisée strictement interdite pouvant entraîner des poursuites devant un tribunal.

Annexe 8 Méthodologie de calcul des risques

Le calcul des risques pour la santé est un outil d'analyse au service de la gestion des sites et sols pollués. A ce titre, elle doit répondre aux principes suivants :

- principe de prudence scientifique,
- principe de proportionnalité (qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude, l'importance de la pollution et son incidence prévisible),
- principe de spécificité.

Le calcul des risques est un outil qui s'appuie sur des connaissances scientifiques constamment réactualisées et des informations propres au site. Cependant, du fait de l'absence de certaines données ou des incertitudes inhérentes à l'évaluation des risques, des hypothèses sont posées lors de la réalisation des calculs. L'utilisation de ces hypothèses doit s'appuyer sur les principes de précaution et de proportionnalité et tout choix doit être justifié de façon claire et concise afin de pouvoir évaluer son impact sur la quantification du risque.

Classiquement, quatre étapes sont décrites dans la démarche de calcul des risques pour la santé:

- **L'identification du potentiel dangereux** consiste à estimer les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme.
- **L'évaluation du rapport dose – effet** correspond à l'estimation de la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence ou la gravité de cet effet.
- **L'évaluation de l'exposition** consiste à déterminer les voies de passage du polluant vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition.
- **La caractérisation des risques** correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Les incertitudes sont évaluées et les résultats interprétés.

Identification du potentiel dangereux

Dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier toutes les substances dangereuses pour l'homme rencontrées sur site. Leur sélection dépend de :

- la détection effective de la substance sur le site,
- la relation dose effet attribuable à la substance,
- le comportement de la substance dans l'environnement (persistance, produits de dégradation...).

Leur identification en tant que substances dangereuses est fonction des effets indésirables qu'elles provoquent sur la santé humaine. L'exposition à des substances toxiques peut produire des effets biochimiques, histologiques ou morphologiques et ainsi amener des altérations spécifiques d'un organe, d'un système ou d'un processus biochimique ou biologique (effets cancérigènes, mutagènes, tératogènes, systémiques).

Il est nécessaire d'étudier de façon séparée, les substances pour lesquelles il existe un effet à seuil (effet qui survient au-delà d'une certaine dose administrée) des substances à effets sans seuil (effet qui apparaît quelle que soit la dose administrée ; l'effet cancérigène en est l'exemple type).

Evaluation du rapport dose – effet

La variété et la sévérité des effets toxiques observés dans les populations augmentent généralement avec le niveau d'exposition : c'est la relation dose - effet.

Il se différencie de la relation dose- réponse qui est définie comme décrivant la relation entre la fréquence de survenue de l'effet toxique dans une population et le niveau d'exposition à un toxique.

Trois voies d'exposition sont généralement à considérer :

- l'inhalation,
- l'ingestion,
- l'absorption cutanée.

Les valeurs toxicologiques varient en fonction des voies d'exposition et des durées d'exposition (chronique, sub-chronique ou aiguë).

Les relations dose – effet et dose - réponse sont définies à partir d'études toxicologiques et/ou épidémiologiques sur l'homme ou l'animal auxquelles sont appliqués divers modèles d'extrapolation.

L'effet sans seuil (de type cancérigène) se définit comme l'effet qui apparaît quelle que soit la dose reçue : l'hypothèse retenue étant qu'une seule molécule de substance toxique peut engendrer des effets sur la santé. La probabilité de survenue croît avec la dose mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas.

La Valeur Toxicologique de Référence correspondante est définie comme étant la probabilité supplémentaire qu'un individu, exposé pendant sa vie entière à une dose de substance cancérigène, contracte un cancer. Cette valeur est différenciée en fonction des voies d'exposition (USEPA) :

- Oral slope factor $((\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{jr})^{-1})$ pour l'ingestion
- Inhalation Unit Risk $((\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1})$ pour la voie respiratoire.

Les valeurs définissent la pente de la courbe de la relation doses – effets et expriment l'accroissement du risque de développer un cancer pour un accroissement de la dose journalière d'exposition.

L'effet à seuil est un effet qui survient au-delà d'une certaine dose administrée de produit. En deçà de cette dose, le risque est considéré comme nul. Au-delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée. Ces valeurs sont définies comme étant la quantité maximale de produit à laquelle un individu peut être exposé sans constat d'effet nuisible

Les seuils de référence acceptables chez l'homme proposés par l'USEPA sont :

- la dose de référence (RfD) en mg/kg de poids corporel/jr pour l'ingestion.
- la RfC (Concentration de référence) en mg/m³ pour l'inhalation

Le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) se fait ainsi en accord avec les recommandations de la circulaire DGS/SD. 7B n°2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et des VTR.

Evaluation de l'exposition - Calcul de la DJE (Dose journalière d'exposition)

L'exposition résulte de l'existence d'un danger, d'une voie de transfert et d'une cible.

Différents types de données relatives au site sont donc nécessaires pour le calcul de la DJE. Il s'agit :

- des types de populations concernées (populations sensibles telles que les enfants, les personnes âgées ou les travailleurs sur site, etc....) ;
- des usages futurs du site et les aménagements à considérer ;
- des caractéristiques du site favorisant la mobilité des polluants ou l'exposition des populations.

Les différentes voies potentielles d'exposition considérées pour le site étudié sont présentées sur un schéma conceptuel.

Le premier stade dans l'évaluation de l'exposition humaine aux polluants consiste à estimer la contamination des différents milieux (eau, air, sol) en fonction de la pollution détectée dans les sols. La contamination des différents compartiments est liée au devenir et au comportement du polluant considéré, c'est à dire à sa biodégradabilité naturelle et à divers phénomènes de transfert.

Cette première étape permet de déterminer les voies potentielles d'exposition.

Le deuxième stade consiste à évaluer la capacité d'absorption des polluants par l'organisme en fonction de l'usage des sols, du milieu contaminé et des caractéristiques physiologiques de la population.

Ainsi, pour chaque substance, une Dose Journalière d'Exposition est calculée pour chaque voie d'exposition jugée appropriée à la problématique du site.

La DJE est ensuite calculée pour chaque substance en sommant les DJE obtenues pour chaque voie d'exposition pertinente.

La DJE peut être calculée sur la base de mesures dans les différents milieux (métrologie) ou par modélisation.

Caractérisation des risques

L'étape de caractérisation des risques est l'étape de synthèse. Elle doit prendre en compte les voies d'exposition, les différentes substances, les effets (de type aigu, subchronique ou chronique).

La toxicité d'une substance vis à vis d'une cible n'est pas nécessairement la même en fonction de la voie de passage du polluant dans l'organisme.

Si une valeur de référence n'est pas disponible, le calcul du risque est impossible.

Le risque global correspond à la somme des risques liés aux substances qui produisent les mêmes effets. Ainsi, les risques liés aux substances cancérigènes et aux substances à effet à seuil sont étudiés de façon séparée. Dans le cas des substances à seuil d'effet, les risques liés aux substances ayant les mêmes organes cibles sont sommés.

Un niveau de risque acceptable est défini, d'après la circulaire du 8 février 2007 :

- pour les effets cancérigènes, l'excès de risque individuel (**ERI**) représente la probabilité d'occurrence que la cible développe l'effet associé à la substance du fait de l'exposition considérée. Il est comparé à la valeur 10^{-5} .
- pour les effets non cancérigènes, le quotient de danger (**QD**) représente la possibilité de survenue d'effets toxiques, il est comparé à la valeur 1.

Annexe 9 Toxicologie des substances et organes cibles

Composés	Voie d'absorption		Effets systémiques			Effets cancérigènes		
	principale	secondaire	Organes cibles			Classification		Type cancer
			Ingestion	Inhalation	Contact cutané	CIRC	EPA	
HAP								
Acénaphthène	Inhalation, Ingestion, Contact cutané		Foie	Foie	Foie	3	-	
Acénaphthylène						-	-	
Anthracène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Pas d'organe cible	Pas d'organe cible	Pas d'organe cible	3	D	
Benzo(a)anthracène	Ingestion	Inhalation	Systèmes hématopoïétique et lymphoïque	Système respiratoire		2A	B2	
Benzo(a)pyrène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané					2A	B2	
Benzo(b)fluoranthène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Système immunologique		2B	B2	
Benzo(g,h,i)perylene	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Système immunologique		3	D	
Benzo(k)fluoranthène			Pas d'information sur la toxicité pour l'homme			2B	B2	
Chrysène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Tissus adipeux, foie, poumon, peau			3	B2	
Dibenz(a,h)anthracène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Système immunologique		2B	B2	
Fluoranthène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Foie, rein, sang	Foie, rein, sang	Foie, rein, sang	3	D	
Fluorène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		Foie, sang	Foie, sang	Foie, sang	3	D	
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané					2B	B2	
Naphtalène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané		SS, yeux	Yeux, SS, SGI, SNC, foie, rein		2B	C	
Phénanthrène	Inhalation	Contact cutané		TGI, poumons		3	D	
Pyrène			Pas d'information sur la toxicité pour l'homme			3	D	
CAV								
Ethylbenzène	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Foie, rein, SH		2B	D	
Toluène	Inhalation	Ingestion	Foie, rein, SN	SNC, yeux (vision)		3	D	
Xylène	Inhalation	Ingestion, Contact cutané		SNC, foie, sang, poumon	Yeux, SNC, peau, foie	3	D	
HYDROCARBURES								
Hydrocarbures aliphatiques								
C6-C8	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Reins, foie		3	D	
C8-C10	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Reins, foie		3	D	
C10-C12	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Foie, système hématologique		3	D	
C12-C16	Ingestion, Inhalation, Contact cutané				Foie, système hématologique	3	D	
C16-C21	Ingestion, Contact cutané				Foie	3	D	
C21-C35	Ingestion, Contact cutané				Foie	3	D	
Hydrocarbures aromatiques								
C5-C7	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Rein, foie		3	D	
C7-C8	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Rein, foie		3	D	
C8-C10	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Diminution poids corporel		3	D	
C10-C12	Ingestion, Inhalation, Contact cutané			Diminution poids corporel		3	D	
C12-C16	Ingestion, Inhalation, Contact cutané				Diminution poids corporel	3	D	
C16-C21	Ingestion, Contact cutané				Rein	3	D	
C21-C35	Ingestion, Contact cutané				Rein	3	D	
PCB								
PCB	Ingestion, Contact cutané		Peau, yeux, SN, TGI		Troubles cutanés, neurologiques et hépatiques	2A	B2	
Ethers								
ETBE						-	-	
MTBE	Inhalation	Contact cutané		Toxicité non démontrée à ce jour			C	

Annexe 10 Justification du choix des paramètres de transfert

1 Taux de renouvellement d'air dans le bâtiment

Le taux de renouvellement d'air est un paramètre important dans le calcul de la concentration d'exposition à l'intérieur du bâtiment car il agit comme un facteur de dilution.

Le taux de renouvellement d'air est fonction de la typologie du bâtiment et dépend de trois critères :

- le défaut d'étanchéité qui induit un taux de renouvellement d'air de 0,3 à 0,5 volume par heure ;
- la ventilation (définie par la superficie du bâtiment) qui induit un taux de renouvellement d'air de 0,7 à 1 volume par heure ;
- les ouvertures (définies par la configuration des lieux – porte livraison pour les poids lourds, taille des fenêtres, ...) qui induisent un taux de renouvellement d'air de 0,5 à 15 volumes d'air par heure.

Selon le CSTB¹, dans le cas d'une entreprise, le taux de renouvellement d'air est compris entre 2 et 15 fois le volume d'air par heure.

Le décret n°841093 du 7 décembre 1984 fixe les débits minimaux réglementaires de ventilation pour les locaux publics et de travail. Ce débit est fixé à 18 m³/h/occupant pour les bureaux et locaux assimilés, et 22 m³/h/occupant pour les locaux de vente et de restauration. Pour une pièce de 15 m² occupée par une personne, ces débits correspondent donc à 0,5 v/h pour des bureaux, et 0,6 v/h pour les locaux de vente et de restauration.

Pour cette étude, ARCADIS a sélectionné un taux de renouvellement d'air pour les bureaux de 0,5 volumes d'air par heure soit 12 volumes par jour.

2 Différence de pression air du bâtiment/air du sol

La différence de pression entre l'air du bâtiment et l'air du sol définit la prise en compte ou non du phénomène de convection qui favorise le transfert des composés volatils vers l'intérieur du bâtiment, et augmente donc, de ce fait, la valeur du risque.

Selon l'INERIS, la différence de pression varie selon les publications (américaines et hollandaises) entre 0 et 4 Pa.

Afin de majorer le calcul d'exposition, ARCADIS a utilisé pour cette étude la valeur la plus défavorable, soit 4 Pa.

3 Taux de fissuration

Ce paramètre traduit l'espace par lequel les vapeurs issues des sols présents sous la dalle de la construction pourront pénétrer à l'intérieur. Le taux de fissuration est sans unité dans la mesure où il correspond à un ratio de deux surfaces (surface de fissuration/surface de la dalle).

¹ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Dans la littérature, les taux de fissuration mentionnés sont très variables, compris entre 0,0001 et 0,001 (cf. tableau de synthèse 9 dans « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » - USEPA, 2003).

Pour cette étude, ARCADIS a sélectionné la valeur contraignante de 0,001.

4 Epaisseur des fondations

La valeur prescrite par le Connecticut Department of Environmental Protection dans la publication de mars 2003: Remediation Standard Regulations Volatilization Criteria est de 15 cm pour l'épaisseur des fondations de l'habitation prise en considération dans l'étude.

Cette épaisseur est par ailleurs couramment mise en œuvre dans les bâtiments commerciaux.

Dans l'étude, cette valeur de 0,15 m, jugée réaliste, a été retenue par ARCADIS pour l'épaisseur des fondations.

5 Nature du sol en zone non saturée

La nature des sols en zone non saturée retenue dans le cadre de cette étude est de type « limons sableux » compte tenu des observations faites sur le terrain.

Les paramètres de modélisation relatifs à la nature des sols correspondent à des valeurs communément admises au regard de la lithologie du site :

- porosité totale : 0,2 (cm³/cm³) ;
- teneur en eau : 0,103 (cm³/cm³) ;
- fraction de matière organique : 0,008 (mg/mg).

Ces paramètres sont développés dans le guide de Johnson et Ettinger².

6 Porosité de la dalle

Ce paramètre définit la porosité de la matrice en place au niveau des fissures et correspond à la porosité du sol sous le bâtiment. Par défaut, le modèle de Johnson & Ettinger considère que les sols présents sous le bâtiment correspondent à une couche de forme de porosité égale à 0,25 cm³/cm³.

C'est cette valeur de 0,25 cm³/cm³ proposée par défaut par le modèle qui a été retenue pour l'étude.

7 Nature du sol en zone capillaire

La nature des sols en zone capillaire retenue dans le cadre de cette étude est de type « sable » compte tenu des observations faites sur le terrain.

Les paramètres de modélisation associés par défaut à ce type de sols sont les suivants :

² « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » - USEPA- 19 juin 2003

- Epaisseur de la zone capillaire : 17 cm ;
- teneur en air dans la zone capillaire : 0,12 (cm³/cm³) ;
- teneur en eau dans la zone capillaire : 0,25 (cm³/cm³).

Ces paramètres sont développés dans le guide de Johnson et Ettinger³.

³ « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » - USEPA- 19 juin 2003

Annexe 11 Equations de transfert

CALCUL DE LA CONCENTRATION DANS L'AIR INTERIEUR DES BATIMENTS

Le modèle mathématique utilisé pour calculer des concentrations dans l'air à l'intérieur de bâtiments à partir de concentrations dans les sols ou dans les eaux souterraines repose sur le modèle de Johnson et Ettinger (1991).

L'entrée de substances volatiles dans un bâtiment va dépendre d'une part de paramètres environnementaux (concentration dans le sol ou la nappe, perméabilité et humidité du sol sous-jacent, distance de la source,...) et d'autre part des caractéristiques propres du bâtiment (dimensions du bâtiment, type de soubassement, fissuration de la surface en contact avec le sol, système de ventilation, ...).

Les phénomènes de convection sont associés à la dépression existant au sein du bâtiment provoquée par le tirage thermique essentiellement compte tenu de la différence de température entre l'intérieur du bâtiment et le sol. Plus la différence de température sera forte, plus la pénétration des vapeurs dans les bâtiments sera importante.

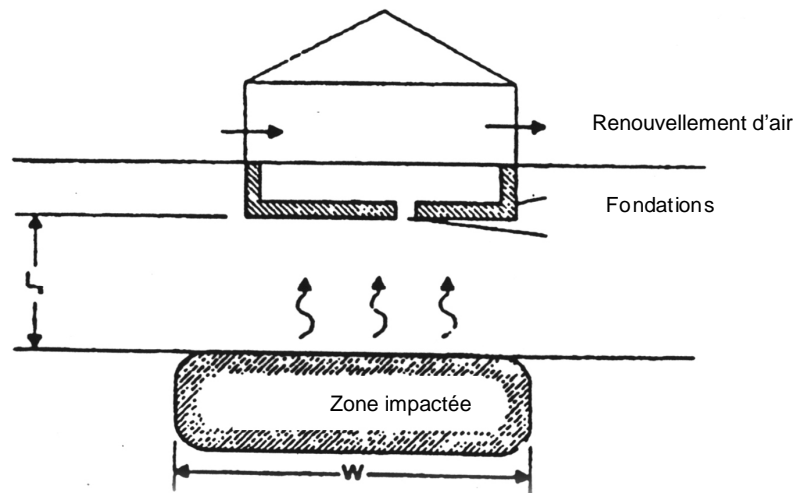


Figure 1 : Schéma conceptuel pour le calcul des concentrations d'exposition à l'intérieur des bâtiments à partir d'une source sol

Les équations de transfert mises en œuvre dans le logiciel RISC Workbench sont basées sur les équations établies par Johnson et Ettinger. Ces dernières ont été validées par l'USEPA et les informations relatives à ce modèle mathématique sont développées dans le document « User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings » - USEPA - 19 juin 2003.¹

¹ http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/airmodel/johnson_ettinger.htm

1 Transfert à partir des sols

1.1 Equations de transfert à partir d'une source sol

Le modèle combine un modèle de transport par diffusion et convection à travers le sol avec un modèle de transport à travers les fondations.

Dans le sol, hors zone d'influence du bâtiment, le transport des polluants est régi par la diffusion ; il peut être décrit par la loi de Fick.

$$E = \frac{D_{eff} (C_{vs} - C_{vf}) \times A_B}{L_T} \quad (1)$$

Avec :

E : Flux massique du polluant vers le bâtiment (g/s)

D_{eff} : Coefficient de diffusion effectif (cm²/s)

C_{vs} : Concentration des vapeurs dans la zone source (g/cm³)

C_{vf} : Concentration des vapeurs sous les fondations du bâtiment (g/cm³)

A_B : Surface des fondations (cm²)

L_T : Distance de la source aux fondations (cm)

Au voisinage des fondations, le transport des polluants est régi par la diffusion et la convection à travers les fissures. L'équation traduisant ces phénomènes est la suivante :

$$E = Q_{sol} C_{vf} - \frac{Q_{sol} (C_{vf} - C_{int})}{\left[1 - \exp\left(\frac{Q_{sol} L_{crack}}{D_{crack} A_{crack}} \right) \right]} \quad (2)$$

Avec :

D_{crack} : Coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm²/s)

A_{crack} : Surface des fissures par lesquelles les vapeurs pourront entrer dans le bâtiment (cm²)

L_{crack} : Epaisseur des fondations (cm)

Q_{sol} : Débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment (cm³/s).

Ce paramètre peut être spécifié ou calculé à partir des données relatives à la surface des fissures, au type de sol en place, à la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, à la surface des fondations. Le flux est considéré passer dans un cylindre de longueur X_{crack} , de rayon r_{crack} localisé à une profondeur Z_{crack} sous le sol.

$$Q_{sol} = \frac{2\pi(\Delta P) K_V X_{crack}}{\mu \ln \left[\frac{2Z_{crack}}{r_{crack}} \right]}$$

ΔP : Gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur (g/cm.s²)

Z_{crack} : Profondeur des fondations (cm)

X_{crack} : Périmètre des fondations (cm)

μ : Viscosité de l'air (g/cm.s)

K_V : Perméabilité intrinsèque des sols aux vapeurs (cm²)

r_{crack} : Rayon équivalent de la fissure (cm) calculé comme suit :

$$r_{crack} = \frac{\eta A_B}{X_{crack}} \text{ avec } \eta = \frac{A_{crack}}{X_{crack}} \quad 0 \leq \eta \leq 1$$

A_{crack} : Surface des fissures (cm²)

Les phénomènes de diffusion domineront avec des sols fins induisant une faible perméabilité ($K_v < 10^{-8} \text{ cm}^2$). Inversement les phénomènes de convection conditionneront le transport dans des sols plus perméables aux vapeurs ($K_v > 10^{-8} \text{ cm}^2$).

A l'équilibre, les flux massiques vers le bâtiment sont en équilibre ; le couplage des équations (1) et (2) permettent d'extraire C_{vf} qui est alors introduit dans l'équation (2).

Sur la base d'une concentration à l'intérieur du bâtiment constante et d'une homogénéisation de la concentration assurée par le système de ventilation, le flux massique peut également s'écrire sous la forme d'une troisième équation :

$$E = C_{int} Q_B \quad (3)$$

Avec :

C_{int} : Concentration des vapeurs dans le bâtiment (g/cm³)

Q_B : Taux de ventilation du bâtiment, calculé à partir du taux de renouvellement d'air journalier et du volume du bâtiment (cm³/s)

$$Q_B = (L_B \times W_B \times H_B \times ER) \times 1h / 3600s$$

L_B, W_B, H_B : Longueur, largeur et hauteur du bâtiment (cm)

ER : Taux de renouvellement de l'air (h⁻¹)

Il en résulte l'équation de base suivante :

$$C_{int} = \frac{C^*_{int} \times \left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) \right]}{\left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) + \left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] \right] + \left[\frac{D_{eff} \times A_B}{Q_{sol} \times L_T} \right] \times \left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) - 1 \right]}$$

Où
$$C^*_{int} = \frac{D_{eff} A_B C_{vs}}{Q_B L_T}$$

C^*_{int} : Concentration des vapeurs dans le bâtiment en l'absence de fondation (g/cm³).

La concentration dans l'air du sol C_{vs} peut être soit spécifiée si des mesures sur site ont été réalisées soit calculée à partir de la concentration en polluant au niveau de la source sol à partir de l'équation suivante :

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

Avec :

C_{vs} : Concentration des vapeurs dans la zone source (g/cm³)

C_t : Concentration en polluant dans le sol (mg/kg)

ρ_b : Densité du sol (g/cm³)

F_{oc} : Fraction de carbone organique dans le sol (g oc/g sol)

K_{oc} : Coefficient de partition du carbone organique (ml/g ou m³/kg)

K_H : Constante de Henry

θ_a : Teneur en air dans les sols (cm³ d'air/cm³ de sol)

θ_w : Teneur en eau dans les sols (cm³ d'eau/cm³ de sol)

1.2 Domaine d'application et limites du modèle

Il s'agit d'un modèle stationnaire. La source est considérée comme constante c'est à dire infinie. Cette hypothèse implique que la source soit suffisamment importante au regard de la vitesse de transfert des polluants dans le bâtiment. Cette hypothèse aura d'autant plus d'incidence que les polluants considérés présenteront des effets dits sans seuil ou cancérigènes pour lesquels la période d'exposition considérée sera de 30 ans minimum.

Les phénomènes de biodégradation des polluants ne sont pas pris en compte. Ce modèle est davantage approprié pour des polluants se dégradant lentement et pour des distances de diffusion courtes.

La source doit se trouver en zone non saturée. Pour des sources localisées en zone saturée, le modèle de volatilisation à partir de la nappe sera davantage approprié.

L'absence de contact entre le sol source et les fondations sera en mesure de supprimer tout phénomène de transfert ; ce sera le cas pour des bâtiments construits sur pilotis.

La nature du sous-sol et en particulier la porosité et la teneur en eau des sols traversés va conditionner les phénomènes de diffusion. Les caractéristiques des différents horizons de sol traversés restent le plus souvent inconnues induisant une incertitude importante sur la valeur du coefficient de diffusion effectif global. Il est possible de s'affranchir des incertitudes associées à la nature du sous-sol mais également de prendre en compte les phénomènes d'atténuation naturelle liée à la biodégradation des composés lors du processus de transport en réalisant directement des mesures des concentrations en polluants dans l'air du sol.

2 Volatilisation à partir de la nappe

2.1 Equations de transfert à partir d'une source nappe

Les concentrations sont calculées en prenant en compte les seuls phénomènes de diffusion. L'influence des phénomènes de convection est considérée comme négligeable au regard de l'influence des phénomènes de diffusion au sein de la zone capillaire qui vont imposer la cinétique de transfert des polluants.

Les principales équations utilisées dans le logiciel RISC sont les suivantes :

$$C_{int} = \frac{A_B \times F}{Q_B}$$

Avec :

A_B : Surface des fondations (cm²)

Q_B : Taux de ventilation du bâtiment, calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment (cm³/s)

F : Flux massique du composé vers le bâtiment (g/cm²/s)

$$F = \frac{D_{eff} (C_{vs} - C_{vf})}{L_d} \approx \frac{D_{eff} \times C_{vs}}{L_d}$$

D_{eff} : Coefficient de diffusion effectif (cm²/s)

C_{vs} : Concentration des vapeurs juste au-dessus de la nappe dans la frange capillaire (g/cm³)

C_{vf} : Concentration des vapeurs dans le sol au niveau des fondations du bâtiment (g/cm³).

L_d : Distance entre la nappe et les fondations (cm)

Il est fait l'hypothèse que la concentration C_{vf} est négligeable par comparaison à la concentration dans la frange capillaire.

La concentration dans l'air du sol C_{vs} peut être soit spécifiée si des mesures sur site ont été réalisées soit calculée à partir de la concentration en polluant au niveau de la nappe à partir de l'équation suivante :

$$C_{vs} = C_{gw} \times K_h$$

Avec :

C_{vs} : Concentration des vapeurs juste au-dessus de la nappe dans la frange capillaire (g/cm³)

C_{gw} : Concentration en polluant dans la nappe (mg/l)

K_h : Constante de Henry

2.2 Domaine d'application et limites du modèle

Ce modèle considère que la source se trouve uniquement dans la nappe. Si la source se trouve dans la zone saturée, les phénomènes de transport des polluants à partir du sol à l'intérieur des bâtiments conditionneront alors les risques.

Les dimensions de la source sont considérées comme a minima égales à celles du bâtiment.

Les concentrations dans la nappe sont considérées comme constantes au cours du temps. Si un couplage du modèle avec un modèle de transfert des polluants dans la nappe est effectué, les concentrations considérées deviennent celles calculées au niveau du point récepteur. Ces concentrations seront également considérées comme constantes au cours du temps.

Si des mesures de concentrations dans les gaz du sol sont disponibles, le modèle de transfert à partir d'une source sol sera alors utilisé.

De même que pour une source sol, les phénomènes de biodégradation des polluants ne sont pas pris en compte. Ce modèle est davantage approprié pour des polluants se dégradant lentement et pour des distances de diffusion courtes.

Les concentrations imposées dans la nappe doivent être inférieures à la solubilité effective du composé.

Annexe 12 Feuilles de transfert sols / air ambiant

Summary of Input Values Used in Fate and Transport Model

Model Description:

Source media: Unsaturated zone soil beneath a building
 Johnson and Engel Indoor air model
 Volatilization from unsaturated soil source to indoor air (on-site)

Unsaturated Zone Soil Source		
Depth to top of source	m	0.0E+00
Thickness of contamination	m	2.0E+00
Length of source	m	1.5E+01
Width of source	m	1.5E+01
Depth to top of contamination	m	0.0E+00
Soil bulk density	g/cm ³	1.6E+00
Fraction organic carbon	g/g	8.0E-03

 Lense not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm ³ /cm ³	3.9E-01
Water content	cm ³ /cm ³	1.0E-01
Air content	cm ³ /cm ³	2.8E-01
Distance from source to building	m	1.0E+00
Decorrelation factor	-	1.0E+00

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1.5E+01
Fraction of cracks	cm ³ /cm ³	1.0E-03
Porosity in cracks	-	2.5E-01
Water content in cracks	-	0.0E+00
Enclosed space floor length	m	5.0E+00
Enclosed space floor width	m	3.0E+00
Enclosed space height	m	2.4E+00
Volume of building	m ³	3.5E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5.0E-01
Length of foundation perimeter	m	0.0E+00
Depth of foundation	m	1.5E+01
Pressure difference	g/cm ²	4.0E-01
Permeability of soil to vapors	cm ²	1.0E-08
**Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.		
Length of foundation perimeter cannot equal zero		
Length changed to 0.01 m.		
This analysis may not be reasonable if pressure-driven flow is considered.		

Molecular weight of TPH	g/mol	8.5E+01
-------------------------	-------	---------

Unsaturated Zone Vapor Model Source		
Chemical	Concentration mg/kg	TPH Concentration mg/kg
Aceonaphthene	2.1E+01	4.5E+02
Aceonaphthylene	4.8E-01	3.9E+02
Acephenylene	7.7E+01	4.5E+02
Benzofluoranthene	2.7E+01	4.5E+02
Benzofluoranthene	2.6E+01	4.5E+02
Benzofluoranthene	2.8E+01	4.5E+02
Benzofluoranthene	1.2E+01	4.5E+02
Benzofluoranthene	1.2E+01	4.5E+02
Chrysene	2.4E+01	4.5E+02
Dibenzofluoranthene	4.4E+00	4.5E+02
Ethylbenzene	8.0E-02	9.2E+02
Fluoranthene	5.4E+01	4.5E+02
Fluorene	5.8E+01	4.5E+02
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1.5E-01	4.5E+02
Naphthalene	1.2E+01	4.5E+02
PCB 101	2.4E-03	9.9E+02
PCB 118	2.0E-03	9.9E+02
PCB 138	2.1E-03	9.9E+02
PCB 153	5.0E-03	9.9E+02
PCB 180	3.2E-03	9.9E+02
PCB 28	2.1E-03	9.9E+02
PCB 52	1.2E-03	4.9E+02
Phenanthrene	1.8E+02	4.5E+02
Pyrene	3.7E+01	4.5E+02
TPH Aliphatic C8-8	1.3E+01	2.1E+03
TPH Aliphatic C9-10	1.1E+02	4.3E+03
TPH Aliphatic C10-12	5.7E+02	4.3E+03
TPH Aliphatic C13-16	1.5E+03	4.6E+03
TPH Aromatic C7-8	1.3E+01	2.1E+03
TPH Aromatic C9-10	1.1E+02	4.3E+03
TPH Aromatic C10-12	5.7E+02	4.3E+03
TPH Aromatic C13-16	1.5E+03	4.6E+03
Organic acids	6.7E-01	4.6E+03

Chemical Properties	Units	Aceonaphthene	Aceonaphthylene	Anthracene	Benzofluoranthene	Benzofluoranthene	Benzofluoranthene	Benzofluoranthene	Chrysene	Dibenzofluoranthene	Ethylbenzene	Fluoranthene	Fluorene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Naphthalene	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Phenanthrene	Pyrene	TPH Aliphatic C8-8	TPH Aliphatic C9-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C13-16	TPH Aromatic C7-8	TPH Aromatic C9-10	TPH Aromatic C10-12	TPH Aromatic C13-16	Xylene Data	
Diffusion coefficient in air	cm ² /s	4.4E-02	3.2E-02	5.1E-02	4.3E-02	2.3E-02	2.5E-02	2.5E-02	2.0E-02	1.5E-02	7.5E-02	3.0E-02	3.8E-02	1.8E-02	5.3E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	1.8E-02	5.2E-02	2.3E-02	1.5E-01	1.0E-01	1.0E-01	1.0E-01	1.0E-01	1.0E-01	1.0E-01	1.0E-01	6.5E-02	
Diffusion coefficient in water	cm ² /s	7.7E-06	7.5E-06	7.7E-06	9.0E-06	9.0E-06	5.6E-06	5.6E-06	6.2E-06	5.2E-06	7.8E-06	6.4E-06	7.9E-06	6.7E-06	7.5E-06	8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	5.9E-06	7.2E-06	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	9.9E-06	
Solubility	mg/l	4.2E+00	1.8E+01	4.3E+02	1.6E+03	1.9E+03	2.6E+04	8.0E+04	1.8E+03	2.5E+03	1.7E+02	2.1E+01	2.0E+00	2.2E+05	3.1E+01	7.6E-02	7.0E-02	7.0E-02	7.0E-02	7.0E-02	7.0E-02	7.0E-02	1.2E+00	1.4E+01	5.4E+00	4.3E+01	3.4E+02	7.8E+04	5.2E+02	6.5E+01	2.5E+01	5.8E+00	1.1E+02	
K _{oc} (soil partition coefficient)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
K _{oc} (organic carbon partition coefficient)	L/kg	7.1E+03	2.8E+03	3.0E+04	4.0E+05	1.0E+06	1.2E+06	7.8E+06	1.2E+06	4.0E+05	3.8E+06	3.8E+02	1.1E+05	1.4E+04	3.5E+08	2.0E+03	5.3E+05	5.3E+05	5.3E+05	5.3E+05	5.3E+05	5.3E+05	5.3E+05	2.3E+04	1.1E+05	4.0E+03	3.2E+04	2.5E+05	5.0E+08	2.5E+02	1.6E+03	2.5E+03	5.0E+03	3.8E+02
Nernst's law coefficient	10 ⁴ K ⁻¹ mol ⁻¹	6.4E-03	4.7E-03	2.7E-03	1.4E-04	4.4E-05	4.4E-05	6.8E-05	3.4E-05	3.9E-03	6.0E-07	3.2E-01	8.6E-04	2.6E-02	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.1E-03	4.5E-04	5.1E-01	8.2E-01	1.3E+02	5.4E+02	2.7E-01	4.9E-01	1.4E-01	5.4E+02	2.1E-01	
Molecular weight	g/mol	1.5E+02	1.5E+02	1.8E+02	2.3E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.8E+02	2.8E+02	2.3E+02	2.8E+02	1.1E+02	2.0E+02	1.7E+02	2.8E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.9E+02	1.8E+02	2.0E+02	1.0E+02	1.3E+02	1.6E+02	2.0E+02	2.2E+02	1.2E+02	1.3E+02	1.5E+02	1.1E+02

Indoor air concentration (mg/m³)

Time (Year)	Acenaphthene (mg/m ³)	Acenaphthylene (mg/m ³)	Anthracene (mg/m ³)	Benzo[a]anthracene (mg/m ³)	Benzo[a]pyrene (mg/m ³)	Benzo[b]fluoranthene (mg/m ³)	Benzo[k]fluoranthene (mg/m ³)	Benzo[e]fluoranthene (mg/m ³)	Chrysene (mg/m ³)	Dibenz[a,h]anthracene (mg/m ³)	Ethylbenzene (mg/m ³)	Fluoranthene (mg/m ³)	Fluorene (mg/m ³)	Indeno[1,2,3-cd]pyrene (mg/m ³)	Naphthalene (mg/m ³)	PCB 101 (mg/m ³)	PCB 118 (mg/m ³)	PCB 138 (mg/m ³)	PCB 153 (mg/m ³)	PCB 180 (mg/m ³)	PCB 28 (mg/m ³)	PCB 52 (mg/m ³)	Phenanthrene (mg/m ³)	Pyrene (mg/m ³)	TPH Aliphatic C6-8 (mg/m ³)	TPH Aliphatic C9-10 (mg/m ³)	TPH Aliphatic C10-12 (mg/m ³)	TPH Aliphatic C12-16 (mg/m ³)	TPH Aromatic C7-8 (mg/m ³)	TPH Aromatic C9-10 (mg/m ³)	TPH Aromatic C10-12 (mg/m ³)	TPH Aromatic C12-16 (mg/m ³)	Xylenes (total) (mg/m ³)
0	4.9E-04	3.5E-05	6.5E-06	2.1E-08	1.0E-09	9.5E-08	1.0E-10	1.7E-10	8.3E-08	3.4E-12	2.8E-03	4.7E-06	2.4E-04	8.6E-12	7.9E-03	3.4E-11	2.8E-11	2.9E-11	7.0E-11	4.5E-11	5.9E-11	3.4E-11	2.3E-04	1.4E-06	1.1E+00	4.4E-01	2.3E-01	4.2E-02	6.0E-01	4.3E-01	2.3E-01	4.3E-02	2.5E-03
62	4.9E-04	3.5E-05	6.5E-06	2.1E-08	1.0E-09	9.5E-08	1.0E-10	1.7E-10	8.3E-08	3.4E-12	2.8E-03	4.7E-06	2.4E-04	8.6E-12	7.9E-03	3.4E-11	2.8E-11	2.9E-11	7.0E-11	4.5E-11	5.9E-11	3.4E-11	2.3E-04	1.4E-06	1.1E+00	4.4E-01	2.3E-01	4.2E-02	6.0E-01	4.3E-01	2.3E-01	4.3E-02	2.5E-03

Annexe 13 Feuilles de transfert eaux souterraines / air ambiant

Summary of Input Values Used in Fate and Transport Model

Model Description:

Source media: Groundwater (dissolved phase concentration)

Saturated zone model (dissolved phase source)

Lens not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm3/cm3	3.9E-01
Water content	cm3/cm3	1.0E-01
Air content	cm3/cm3	2.8E-01
Distance from groundwater to building	m	4.2E+00
Bioattenuation factor	-	1.0E+00

Capillary Fringe		
Thickness of the capillary fringe	cm	1.7E+01
Air content	-	1.2E-01
Water content	-	2.5E-01

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1.5E+01
Fraction of cracks	-	1.0E-03
Porosity in cracks	cm3/cm3	2.5E-01
Water content in cracks	cm3/cm3	0.0E+00
Enclosed space floor length	m	5.0E+00
Enclosed space floor width	m	3.0E+00
Enclosed space height	m	2.4E+00
Volume of building	m3	3.6E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5.0E-01
Length of foundation perimeter = 2 * (length + width of foundation)	m	1.6E+01
Depth of foundation	cm	1.5E+01
Pressure difference	g/cm-s2	4.0E+01
Permeability of soil to vapors	cm2	1.0E-08
***Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.		

Dissolved Source for Groundwater Model [mg/l]		
ETBE	mg/l	3.0E-03
Fluoranthene	mg/l	3.0E-05
MTBE	mg/l	3.0E-04
Naphthalene	mg/l	4.0E-04
Phenanthrene	mg/l	1.2E-04
Toluene	mg/l	3.1E-04

Chemical Properties	Units	ETBE	Fluoranthene	MTBE	Naphthalene	Phenanthrene	Toluene
Diffusion coefficient in air	cm2/s	6.9E-02	3.0E-02	1.0E-01	5.9E-02	5.2E-02	8.7E-02
Diffusion coefficient in water	cm2/s	7.3E-06	6.4E-06	1.1E-05	7.5E-06	5.9E-06	8.6E-06
Solubility	mg/l	1.2E+04	2.1E-01	5.1E+04	3.1E+01	1.2E+00	5.3E+02
Kd (total soil partition coefficient)	L/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND
KOC (organiChem carbon partition coefficient)	L/kg	2.0E+01	1.1E+05	1.2E+01	2.0E+03	2.3E+04	1.8E+02
Henry's Law coefficient	m3-H2O)/(m3-air	8.2E-02	6.6E-04	2.4E-02	2.0E-02	1.5E-03	2.7E-01
Molecular weight	g/mol	1.0E+02	2.0E+02	8.8E+01	1.3E+02	1.8E+02	9.2E+01

Indoor air concentration (mg/m3)

Time (year)	ETBE (mg/m3)	Fluoranthene (mg/m3)	MTBE (mg/m3)	Naphthalene (mg/m3)	Phenanthrene (mg/m3)	Toluene (mg/m3)
0	5.4E-05	3.1E-09	2.1E-06	1.6E-06	3.7E-08	2.2E-05
42	5.4E-05	3.1E-09	2.1E-06	1.6E-06	3.7E-08	2.2E-05

Annexe 14 Equations de calcul des DJE

1 DJE par ingestion de sol :

L'équation pour le calcul de la dose d'exposition par ingestion de composés chimiques présents dans les sols est :

$$DA = \frac{CS \times IR \times CF \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Avec :

- DA : Dose Journalière d'exposition via l'ingestion de sol (mg/kg poids corporel/j)
- CS : Concentration en polluant dans les sols (mg/kg)
- CF : Facteur de conversion
CF = 10⁻⁶ pour les sols (kg/mg)
- IR : Quantité ingérée (sols en mg/j)
- EF : Fréquence d'exposition (jours/an)
- ED : Durée d'exposition (ans)
- BW : Masse corporelle (kg)
- AT : Temps global sur lequel l'exposition est pondérée (jours)
AT = pour les effets à seuil (ED x 365 j) ;
AT = pour les effets sans seuil (70 ans x 365 j)

2 DJE par inhalation

L'équation pour le calcul de la dose journalière d'exposition liée à l'inhalation est :

$$DA = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED}{VR \times AT}$$

Avec :

- DA : Dose Journalière Exposition via l'inhalation (mg/m³)
- CA : Concentration en polluant dans l'air ambiant (mg/m³)
- ET : Temps d'exposition (heures/jour)
- IR : Quantité inhalée (m³/heure)
- EF : Fréquence d'exposition (jours/an)
- ED : Durée d'exposition (ans)
- VR : Volume d'air inhalé par jour (m³/j)
- AT : Temps global sur lequel l'exposition est pondérée (jours)
AT = pour les effets à seuil (ED x 365j) ;
AT = pour les effets sans seuil (70 ans x 365j)

Annexe 15 Justification du choix des paramètres d'exposition

1 Durée d'exposition

La durée d'exposition est définie par le scénario étudié.

Pour information, dans le cadre d'un usage non sensible soit un scénario industriel, l'INERIS¹ retient pour le calcul des Valeurs de Constat d'Impact une durée d'exposition de 220 jours par an (déduction faite des jours de week-ends et de congés) pendant 40 ans (durée de travail en France). La durée de vie globale est prise égale à 70 ans. L'évolution de la durée légale du temps de travail en France induit la prise en compte d'une durée de 42 ans pour ce paramètre.

Concernant la durée d'occupation du poste de travail, une étude de Carey (1988)² montre que celui-ci s'échelonnerait entre 1,9 ans pour les travailleurs les plus jeunes à 21,9 ans pour les travailleurs les plus âgés (hommes et femmes confondus), la moyenne étant de 6,6 ans. La représentativité de cette étude reste toutefois limitée à la population américaine.

Les durées d'exposition retenues dans cette étude sont, **pour un scénario industriel ou commercial, de 42 ans et 220 jours par an.**

2 Masse de l'individu

La valeur de la masse corporelle correspond à la masse moyenne relative à la période d'exposition.

L'US-EPA³ recommande la valeur de 70 kg pour l'adulte. Cette valeur est reprise par l'INERIS pour le calcul des VCI où l'adulte se caractérise par un poids moyen de 70 kg.

La valeur de 70 kg pour l'adulte a été retenue pour cette étude.

3 Volume d'air inhalé

Le volume respiratoire dépend de l'âge, du sexe mais également de l'activité physique pratiquée par l'individu.

Le volume d'air moyen inhalé par jour pour l'exposition chronique d'un adulte serait de 11,3 m³/ jour pour une femme et 15,2 m³/ jour pour un homme, sur la base des calculs présentés dans l'étude de Layton⁴ (1993).

L'US-EPA utilise pour la construction des valeurs toxicologiques de référence le volume d'air inhalé de 20 m³/jour correspondant au volume moyen pour un adulte.

¹ INERIS- « Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols », Novembre 2001.

² Etude citée dans « Exposure factors handbook », EPA/600/P-95/002Fa – August 1997, Volume III : Activity factors

³ cf. note 2

⁴ Layton D.W (1993) « Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments » ; Health Physics 64 (1):23-26 – Etude citée dans « Exposure factors handbook », EPA/600/P-95/002Fa – August 1997, Volume I : General factors

Les valeurs retenues dans cette étude sont **20 m³ soit 0,83 m³/h d'air inhalé par jour pour l'exposition d'une personne adulte ;**

4 Quantité de sols ingérée

Le choix des paramètres concernant le volume de sol ingéré est basé sur le document « Evaluation and revision of the CSOIL parameter set ».

Ce document, datant de mars 2001, permet de réviser l'ensemble des paramètres utilisés dans le modèle mathématique CSOIL pour le calcul de l'exposition humaine par ingestion.

Dans ce document, la quantité estimée de sol ingéré par jour pour un adulte est de 50 mg/j sur la base des études de Hawley (1985), Linders (1990), Calabrese (1989, 1990, 1997), Stanek (1997) et Van Wijnen et al. (1990).

En ce qui concerne l'exposition des adultes, seules quatre études sont disponibles pour évaluer le volume de sol ingéré par des adultes. Les résultats de ces études indiquent des quantités de sol ingérées variant entre 10 et 480 mg/j. L'étude de Stanek (Stanek et al., 1997), qui est la plus récente disponible, a permis de définir un volume de 10 mg/j (valeur la plus faible) de sol ingéré. Toutefois, l'étude ayant été réalisée sur 4 semaines, la valeur finale correspond à une moyenne sur ces 4 semaines. Cependant, cette valeur relativement faible est le résultat de valeurs faibles pour la semaine numéro 4. Si l'on considère uniquement les trois premières semaines la moyenne est alors de 53 mg/j. La quantité de sol ingérée par un adulte a été arrondie à 50 mg/j.

A partir d'hypothèses sur la surface corporelle et les fréquences de contact avec le sol et les poussières, Hawley (Hawley 1985) estime qu'un adulte ingère une quantité de sol et de poussières de :

- 0.5 mg/j dans une pièce de séjour
- 110 mg/j s'il fréquente une zone empoussiérée
- 480 mg/j lors de travaux de jardinage

Pour son étude, ARCADIS a donc retenu les valeurs suivantes :

- **50 mg de sol ingéré en 12 h pour les adultes, ce qui équivaut à ingérer 33,33 mg de terre pour un temps de présence de 12 h sur le site.**

Annexe 16 VTR retenues pour l'étude

Composés	VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE							
	Risque non cancérigène				Risque cancérigène			
	Ingestion		Inhalation		Ingestion		Inhalation	
	mg/kg/j	Base de données	mg/m ³	Base de données	(mg/kg/j) ¹	Base de données	(mg/m ³) ¹	Base de données
HYDROCARBURES								
Aliphatiques								
TPH Aliphatiques EC6-EC8	5.00E+00	TPH WG	1.84E+01	TPH WG	-		-	
TPH Aliphatiques EC8-EC10	1.00E-01	TPH WG	1.00E+00	TPH WG	-		-	
TPH Aliphatiques EC10-EC12	1.00E-01	TPH WG	1.00E+00	TPH WG	-		-	
TPH Aliphatiques EC12-EC16	1.00E-01	TPH WG	1.00E+00	TPH WG	-		-	
TPH Aliphatiques EC16-EC35	2.00E+00	TPH WG	-	TPH WG	-		-	
Aromatiques								
TPH Aromatiques EC5-EC7	2.00E-01	TPH WG	4.00E-01	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC7-EC8	2.00E-01	TPH WG	4.00E-01	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC8-EC10	4.00E-02	TPH WG	2.00E-01	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC10-EC12	4.00E-02	TPH WG	2.00E-01	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC12-EC16	4.00E-02	TPH WG	2.00E-01	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC16-EC21	3.00E-02	TPH WG	-	TPH WG	-		-	
TPH Aromatiques EC21-EC35	3.00E-02	TPH WG	-	TPH WG	-		-	
HAP								
Acénaphtène	6.00E-02	US EPA	-		2.00E-04		1.10E-03	
Acénaphtylène	-		-		2.00E-04		1.10E-03	
Anthracène	3.00E-01	US EPA	-		2.00E-03		1.10E-02	
Benzo(a)anthracène	-		-		2.00E-02		1.10E-01	
Benzo(a)pyrène	-		-		2.00E-01	RIVM/expertise INERIS	1.00E+00	OEHHA/expertise INERIS
Benzo(b)fluoranthène	-		-		2.00E-02		1.10E-01	
Benzo(g,h,i)perénylène	3.00E-02	RIVM	-		2.00E-03		1.10E-02	
Benzo(k)fluoranthène	-		-		2.00E-02		1.10E-01	
Chrysène	-		-		2.00E-03		1.10E-02	
Dibenzo(a,h)anthracène	-		-		2.00E-01		1.10E+00	
Fluoranthène	4.00E-02	US EPA	-		2.00E-04		1.10E-03	
Fluorène	4.00E-02	US EPA	-		2.00E-04		1.10E-03	
Indéno(1,2,3-CD)pyrène	-		-		2.00E-02		1.10E-01	
Naphtalène	2.00E-02	US EPA	3.70E-02	ANSES	2.00E-04		5.60E-03	ANSES
Phénanthrène	4.00E-02	RIVM	-		2.00E-04		1.10E-03	
Pyrène	3.00E-02	US EPA	-		2.00E-04		1.10E-03	
CAV (dont BTEX)								
Toluène	2.23E-01	OMS	3.00E+00	ANSES	-		-	
Ethylbenzène	9.71E-02	OMS	2.60E-01	ATSDR	1.10E-02	OEHHA	2.50E-03	OEHHA
Xylènes	2.00E-01	ATSDR	2.20E-01	ATSDR	-		-	
AROCHLOR - PCB								
PCB 28	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 52	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 101	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 118	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 138	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 153	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
PCB 180	2.00E-05	OMS	5.00E-04	RIVM	2.00E+00	US EPA	1.000E-01	US EPA
ETHERS								
Methyl tert-butyl ether (MTBE)	3.00E-01	RIVM	2.60E+00	ATSDR	1.80E-03	OEHHA	2.60E-04	OEHHA
Tertio butyl ether (ETBE)	2.50E-01	RIVM	1.90E+00	RIVM	-		-	

Légende :

- : Absence de VTR

NP: voie non pertinente dans notre étude

0.01: VRT provisoire retenue

Annexe 17 Tableau de toutes les VTR existantes dans la littérature

	Composé	Numéro CAS	Base de donnée source	Dose de Référence par ingestion (Dring) mg/kg/j	Année	Confiance	Dose Expérimentale	Facteur d'incertitude	Etude pivot	Etude réalisée sur	Effets ou organe cible
HAP	Acénaphthène	83-32-9	US EPA	6.00E-02	1994	Faible	NOAEL, 175	3000	USEPA 1989	Souris	Foie
	Acénaphthylène	208-96-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anthracène	120-12-7	US EPA RIVM	3.00E-01 4.00E-02	1993 2000	Faible	NOAEL, 1000	3000	USEPA 1989	Souris	Toxicité subchronique
	Benzo(a)anthracène	56-55-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	RIVM	0,03	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chrysène	218-01-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fluoranthène	206-44-0	US EPA	4.00E-02	1993	Faible	NOAEL, 125	3000	USEPA 1988	Souris	Foie
	Fluorène	86-73-7	US EPA	4.00E-02	1990	Faible	NOAEL, 125	3000	USEPA 1989	Souris	Troubles sanguins
			RIVM	4.00E-02	-	-	-	-	Baars et al.2001(source TPH)	-	-
	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	193-39-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Naphtalène	91-20-3	US EPA	2.00E-02	1998	Faible	NOAEL, 71	3000	BCL 1980	Rat	Perte de poids
			RIVM	4.00E-02	-	-	-	-	Baars et al.2001(source TPH)	-	-
	Phénanthrène	85-01-8	RIVM	4.00E-02	-	-	-	-	-	-	-
	Pyrène	129-00-0	US EPA	3.00E-02	1993	Faible	NOAEL, 75	3000	USEPA 1989	Souris	Reins
	Ethylbenzène	100-41-4	US EPA	1.00E-01	1991	Faible	NOEL 97.1	1000	Wolf, 1956	Rat /oral	Rein et foie
			RIVM	1.00E-01	2000	-	NOEL 97	1000	Wolf, 1956	Rat /oral	Rein et foie
OMS			9.71E-02	2006	-	NOAEL adj 97.1	1000	Wolf et al., 1956	Rat	Rein, foie	
ATSDR			-	2010	-	-	-	-	-	-	
-			-	-	-	-	-	-	-	-	
Xylènes	1330-20-7	US EPA	2.00E-01	2003	Moyen	NOAEL 179	1000	NTP, 1986	Rat /gavage	Augmentation de la mortalité, perte de poids	
		Health Canada	1.50E+00	1991	-	NOAEL 150	100	Condie, 1988	Rat	foie	
		ATSDR	2.00E-01	2007	-	NOAEL 250	100	NTP, 1986	Rat	Augmentation de la mortalité	
		RIVM	1.50E-01	2000	-	LOAEL 150	1000	Condie, 1988	Rat	Reins	
PCB 28	7012-37-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 52	35693-99-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 101	37680-73-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 118	31508-00-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 138	35065-28-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 153	35065-27-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PCB 180	35065-29-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Basé sur l'évaluation des TPH qui recommande une TDI de 0,04 mg/kgj pour les HC aromatiques C9-C16 non cancérogènes

	Composé	Numéro CAS	Classification		Excès de risque unitaire par ingestion (ERUing ou Sfo) (mg/kg/j)-1	Année	Base de l'excès de risque unitaire par ingestion	Base de donnée source	Type de cancer ou organe cible
			CIRC	USEPA					
HAP	Acénaphthène	83-32-9	-	-	-	-	-	-	-
	Acénaphthylène	208-96-8	-	D	-	-	-	-	-
	Anthracène	120-12-7	3	D	-	-	-	-	-
	Benzo(a)anthracène	56-55-3	2B	B2	1.20E+00	2002	-	OEHHA	-
	benzo(a)pyrène	50-32-8	2A	B2	7.30E+00	1992	Neal & Rigdon, 1967	US EPA	estomac
					2.00E-01	1999	Kroese et al, 2001Culp et al, 1998	INERIS d'après RIVM	Foie, estomac
					1.20E+01	2002	Neal & Rigdon, 1967	OEHHA	Estomac
					1.2	2002	-	OEHHA	-
		Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	2B	B2	-	-	-	-
		Benzo(g,h,i)ppérylène	191-24-2	3	D	-	-	-	-
		Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	2B	B2	1.2	2002	-	OEHHA
		Chrysène	218-01-9	3	B2	1.20E-01	2002	-	OEHHA
		Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	2B	B2	4.1	2002	-	OEHHA
		Fluoranthène	206-44-0	3	D	-	-	-	-
		Fluorène	86-73-7	3	D	-	-	-	-
		Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	193-39-5	2B	B2	1.2	2002	-	OEHHA
		Naphtalène	91-20-3	2B	C	1.20E-01	2002	-	OEHHA
		Phénanthrène	85-01-8	3	D	-	-	-	-
	Pyrène	129-00-0	3	D	-	-	-	-	
CAV (dont BTEX)	Ethylbenzène	100-41-4	2B	D	0,011	2007	-	OEHHA	-
	Xylènes	1330-20-7	3	D	-	-	-	-	-
PCB et Arochlors	PCB 28	7012-37-5	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 52	35693-99-3	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 101	37680-73-2	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 118	31508-00-6	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 138	35065-28-2	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 153	35065-27-1	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 180	35065-29-3	2A	B2	-	-	-	-	-

	Composé	Numéro CAS	Base de donnée source	Concentration de référence par inhalation (CR _{inh})	Année	Confiance	NOAEL	Facteur d'incertitude	Etude pivot	Etude réalisée sur	Effets ou organe cible
				mg/m ³							
HAP	Acénaphthène	83-32-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Acénaphthylène	208-96-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anthracène	120-12-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(a)anthracène	56-55-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chrysène	218-01-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fluoranthène	206-44-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fluorène	86-73-7	-	-	-	-	-	-	-	-	s
	Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	193-39-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Naphtalène	91-20-3	ATSDR	4.00E-03	2009	-	LOAEL (ADJ) 1	300	NTP, 1992	Souris	Foie
		US EPA	3.00E-03	1998	Faible	LOAEL(HEC) 9,3	3000	NTP, 1992	Souris	Trouble épithélium nasal	
		OEHHA	9.00E-03	-	-	-	-	-	animal	Système respiratoire	
		ANSES	3.70E-02	2013	moyen	LOAEC 52 mg/m3	250	NTP - 2000	Rats F344	système respiratoire	
	Phénanthrène	85-01-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pyrène	129-00-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAV (dont BTEX)	Toluène	108-88-3	US EPA	5.00E+00	2005	Moyen	NOAEL 128	10	Multiple	homme	Effets neurologiques
			RIVM	4.00E-01	1999	-	LOAEL 119	300	Foo et al 1990	homme	SNC
			Health Canada	3.75E+00	1991	-	37,5	10	Andersen, 1983	homme	Effets neurologiques
			ANSES	3.00E+00	2010	Moyen	NOAEC 123 mg/m3	10	Zavalic et al., 1998	Homme	Effets neurologiques
			ATSDR	3.00E-01	2000	-	LOAEL 8ppm	100	Zavalic 1998	homme	Trouble de la vue
			OEHHA	3.00E-01	-	-	-	-	-	-	système nerveux, système respiratoire, développemen
	Ethylbenzène	100-41-4	US EPA	1.00E+00	1991	Faible	NOAEL (HEC) 434	300	Andrew , 1981	Rat / inh.	Développement
			RIVM	7.70E-01	2000	-	NOAEL (Adj) 77	100	NTP, 1991	Rat	Foie et rein
			OEHHA	2.00E+00	-	-	-	-	-	-	Foie,r ein, système endocrinien
			ATSDR	2.60E-01	2010	-	LOAEL 326	300	NTP 1999	rat	reins
Xylènes	1330-20-7	US EPA	1.00E-01	2003	Moyen	NOAEL(HEC) 39	300	Korsak et al, 1994	Rat	Coordination moteur	
		ATSDR	2.20E-01	2007	-	LOAEL 60,76	100	Uchida, 1993	Homme	Symptômes multiples	
		Health Canada	1.80E-01	1991	-	LOEL 250	1000	Ungvary, 1985	Rat	Effets sur le fœtus	
		RIVM	8.70E-01	1999	-	LOAEL 870	1000	Hass et Jakobsen, 1993	Rat	Troubles du développement	
		OEHHA	7.00E-01	1999	-	LOAEL 47.5	30	Uchida, 1993	Rat	Système nerveux et respiratoire	
PCB et Arochlors	PCB 28	7012-37-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 52	35693-99-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 101	37680-73-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 118	31508-00-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 138	35065-28-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 153	35065-27-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PCB 180	35065-29-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethers	MTBE	1634-04-4	USEPA	3.00E+00	1993	Moyen	NOAEL (HEC) 259	100	Chun , 1992	Singe	Augmentation du poids des fœtus
			ATSDR	2.60E+00	1996	-	NOAEL 257	100	Chun , 1992	Rat / inh.	Rein et Foie
			Health Canada	3.70E-02	1991	-	NOAEL 369	10000	Dodd, 1989	rat	Rein
			RIVM	2.60E+00	2004	-	NOAEL 1.44	100	Chun , 1992	rat	SNC
	ETBE	637-92-3	RIVM	1.90E+00	2007	-	NOAEL (adj) 380	200	Medinski et al, 1999	Rat	foie, rein
									rat, souris	Multiple	

* VTR a seuil de dose pour les effets cancérogènes

Tableau récapitulatif des concentrations de référence par inhalation (effets cancérigènes)

	Composé	Numéro CAS	Classification		Excès de risque unitaire par inhalation (ERUinh) (µg/m³)-1	Année	Base de l'excès de risque unitaire par inhalation	Base de donnée source	Type de cancer ou organe cible
			CIRC	USEPA					
HAP	Acénaphène	83-32-9	-	-	-	-	-	-	-
	Acénaphthylène	208-96-8	-	D	-	-	-	-	-
	Anthracène	120-12-7	3	D	-	-	-	-	-
	Benzo(a)anthracène	56-55-3	-	B2	1.10E-04	2002	-	OEHHA	-
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	2A	B2	1.10E-03	2002	-	OEHHA	Cancer chez l'animal
					8.70E-02	-	-	OMS	cancers des poumons chez l'homme
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	2B	B2	1.10E-04	2002	-	OEHHA	-
	Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	3	D	-	-	-	-	-
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	2B	B2	1.10E-04	2002	-	OEHHA	-
	Chrysène	218-01-9	3	B2	1.10E-05	2002	-	OEHHA	-
	Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	2B	B2	1.20E-03	2002	-	OEHHA	-
	Fluoranthène	206-44-0	3	D	-	-	-	-	-
	Fluorène	86-73-7	3	D	-	-	-	-	-
	Indeno(1,2,3,c,d)pyrène	193-39-5	2B	B2	1.10E-04	2002	-	OEHHA	-
	Naphtalène	91-20-3	2B	C	-	1998	-	US EPA	-
					3.40E-05	2004	-	OEHHA	génétoxicité
				5.60E-06	2013	-	ANSES	Neroblastomes de l'épithélium olfactif	
CAV (dont BTEX)	Phénanthrène	85-01-8	3	D	-	-	-	-	-
	Pyrène	129-00-0	3	D	-	-	-	-	-
	Toluène	108-88-3	3		-	-	-	-	-
	Ethylbenzène	100-41-4	2B	D	2.50E-06	2007	Méthode LMS appliquée à la LTWA	OEHHA	Reins chez le rat
PCB et Arochlors	Xylènes	1330-20-7	3	D	-	-	-	-	-
	PCB 28	7012-37-5	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 52	35693-99-3	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 101	37680-73-2	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 118	31508-00-6	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 138	35065-28-2	2A	B2	-	-	-	-	-
Ethers	PCB 153	35065-27-1	2A	B2	-	-	-	-	-
	PCB 180	35065-29-3	2A	B2	-	-	-	-	-
	MTBE	1634-04-4	3	-	2.60E-07	2003	OEHHA	OEHHA	multiple
	ETBE	637-92-3	-	-	-	-	-	-	-

	Effets non cancérigènes		Effets cancérigènes		Classification EPA
	Ingestion	Inhalation	Ingestion	Inhalation	
	RfDoral	RfCinh	Sfo	ERU	
	mg/kg/j	mg/m3	(mg/kg/j)-1	(mg/m3)-1	
Hydrocarbures aliphatiques					
Hydrocarbures aliphatiques >C6-C8	5.00E+00	1.84E+01	-	-	D
Hydrocarbures aliphatiques >C8-C10	1.00E-01	1.00E+00	-	-	D
Hydrocarbures aliphatiques >C10-C12	1.00E-01	1.00E+00	-	-	D
Hydrocarbures aliphatiques >C12-C16	1.00E-01	1.00E+00	-	-	D
Hydrocarbures aliphatiques >C16-C21	2.00E+00	-	-	-	D
Hydrocarbures aliphatiques >C21-C34	2.00E+00	-	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques					
Hydrocarbures aromatiques >C5-C7	2.00E-01	4.00E-01	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C7-C8	2.00E-01	4.00E-01	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C8-C10	4.00E-02	2.00E-01	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C10-C12	4.00E-02	2.00E-01	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C12-C16	4.00E-02	2.00E-01	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C16-C21	3.00E-02	-	-	-	D
Hydrocarbures aromatiques >C21-C35	3.00E-02	-	-	-	D

Annexe 18 Justification du choix des VTR

Annexe 19 Calcul de l'exposition et du risque résiduel– scénario tertiaire

Scénario tertiaire - Risques par inhalation de vapeurs issues du dégazage des sols dans les bâtiments - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE - Effets SANS seuil								VTR (mg/m3)-1	Excès de risque individuel ERI
	Conc. mg/m3	IR m3/h	CF h/j	EF j/an	ED ans	VR m3/j	AT jours	DJE mg/m3		
		0.83	8	220	42	20	25550			
HAP										5.45E-06
Acenaphthene	4.92E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.91E-05	1.10E-03	6.50E-08
Acenaphthylene	3.53E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	4.24E-06	1.10E-03	4.66E-09
Anthracene	6.55E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	7.86E-07	1.10E-02	8.65E-09
Benzo(a)anthracene	2.08E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.50E-09	1.10E-01	2.75E-10
Benzo(a)pyrene	1.05E-09	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.26E-10	1.00E+00	1.26E-10
Benzo(b)fluoranthene	9.47E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.14E-08	1.10E-01	1.25E-09
Benzo(g,h,i)perylene	1.01E-10	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.22E-11	1.10E-02	1.34E-13
Benzo(k)fluoranthene	1.67E-10	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.00E-11	1.10E-01	2.20E-12
Chrysene	8.27E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	9.93E-09	1.10E-02	1.09E-10
Dibenz(a,h)anthracene	3.43E-12	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	4.12E-13	1.10E+00	4.53E-13
Fluoranthene	4.71E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.66E-07	1.10E-03	6.23E-10
Fluorene	2.39E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.86E-05	1.10E-03	3.15E-08
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	8.45E-12	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.01E-12	1.10E-01	1.12E-13
Naphthalene	7.89E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	9.47E-04	5.60E-03	5.31E-06
Phenanthrene	2.34E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.81E-05	1.10E-03	3.09E-08
Pyrene	1.43E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.72E-07	1.10E-03	1.89E-10
Métaux lourds										0.00E+00
Mercury (inorganic)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Alcanes										0.00E+00
Heptane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Hexane (n-)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Octane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Hydrocarbures aliphatiques										0.00E+00
TPH Aliphatic C6-8	1.08E+00	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.29E-01	-	0.00E+00
TPH Aliphatic C8-10	4.38E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.26E-02	-	0.00E+00
TPH Aliphatic C10-12	2.31E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.77E-02	-	0.00E+00
TPH Aliphatic C12-16	4.25E-02	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.10E-03	-	0.00E+00
Hydrocarbures aromatiques										0.00E+00
TPH Aromatic C7-8		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
TPH Aromatic C8-10	4.28E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.14E-02	-	0.00E+00
TPH Aromatic C10-12	2.25E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.70E-02	-	0.00E+00
TPH Aromatic C12-16	4.32E-02	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.19E-03	-	0.00E+00
BTEX										8.40E-07
Ethylbenzene	2.80E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	3.36E-04	2.50E-03	8.40E-07
Xylenes (total)	2.50E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	3.00E-04	-	8.40E-07
PCB par Congénère										3.60E-12
PCB 28	5.95E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	7.14E-12	1.00E-01	7.14E-13
PCB 52	3.40E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	4.08E-12	1.00E-01	4.08E-13
PCB 101	3.36E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	4.04E-12	1.00E-01	4.04E-13
PCB 118	2.80E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	3.37E-12	1.00E-01	3.37E-13
PCB 138	2.94E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	3.53E-12	1.00E-01	3.53E-13
PCB 153	7.01E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	8.42E-12	1.00E-01	8.42E-13
PCB 180	4.49E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	5.39E-12	1.00E-01	5.39E-13

Tableau de synthèse des ERI par famille	
Composés	Somme ERI
HAP	5.45E-06
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures	0.00E+00
BTEX	8.40E-07
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	3.60E-12
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phthalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	0.00E+00
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Somme	6.29E-06

Scénario tertiaire - Risques par inhalation de vapeurs issues du dégazage des sols dans les bâtiments - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE - Effets à seuil								VTR mg/m3	Quotient de danger
	Conc. mg/m3	IR m3/h	CF h/j	EF j/an	ED ans	VR m3/j	AT jours	DJE mg/m3		QD -
		0.83	8	220	42	20	15330	-		4.27E-02
HAP										
Acenaphthene	4.92E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	9.85E-05	-	
Acenaphthylene	3.53E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	7.06E-06	-	
Anthracene	6.55E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.31E-06	-	
Benzo(a)anthracene	2.08E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.16E-09	-	
Benzo(a)pyrene	1.05E-09	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	2.10E-10	-	
Benzo(b)fluoranthene	9.47E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.90E-08	-	
Benzo(g,h,i)perylene	1.01E-10	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	2.03E-11	-	
Benzo(k)fluoranthene	1.67E-10	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	3.33E-11	-	
Chrysene	8.27E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.65E-08	-	
Dibenz(a,h)anthracene	3.43E-12	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	6.86E-13	-	
Fluoranthene	4.71E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	9.43E-07	-	
Fluorene	2.39E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.77E-05	-	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	8.45E-12	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.69E-12	-	
Naphthalene	7.89E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.58E-03	3.70E-02	4.27E-02
Phenanthrene	2.34E-04	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.69E-05	-	
Pyrene	1.43E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	2.86E-07	-	
Métaux lourds										0.00E+00
Mercury (inorganic)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	3.00E-05	0.00E+00
Alcanes										0.00E+00
Heptane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Hexane (n-)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	3.00E+00	0.00E+00
Octane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Hydrocarbures aliphatiques										1.54E-01
TPH Aliphatic C5-6		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	1.84E+01	0.00E+00
TPH Aliphatic C6-8	1.08E+00	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	2.15E-01	1.84E+01	1.17E-02
TPH Aliphatic C8-10	4.38E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	8.76E-02	1.00E+00	8.76E-02
TPH Aliphatic C10-12	2.31E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.62E-02	1.00E+00	4.62E-02
TPH Aliphatic C12-16	4.25E-02	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	8.50E-03	1.00E+00	8.50E-03
Hydrocarbures aromatiques										6.97E-01
TPH Aromatic C8-10	4.28E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	8.57E-02	2.00E-01	4.29E-01
TPH Aromatic C10-12	2.25E-01	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.51E-02	2.00E-01	2.25E-01
TPH Aromatic C12-16	4.32E-02	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	8.65E-03	2.00E-01	4.33E-02
TPH Aromatic C16-21		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
TPH Aromatic C21-35		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
BTEX										4.43E-03
Ethylbenzene	2.80E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	5.60E-04	2.60E-01	2.15E-03
Xylenes (total)	2.50E-03	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	5.00E-04	2.20E-01	2.27E-03
PCB par Congénère										1.20E-07
PCB 28	5.95E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.19E-11	5.00E-04	2.38E-08
PCB 52	3.40E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	6.80E-12	5.00E-04	1.36E-08
PCB 101	3.36E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	6.73E-12	5.00E-04	1.35E-08
PCB 118	2.80E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	5.61E-12	5.00E-04	1.12E-08
PCB 138	2.94E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	5.89E-12	5.00E-04	1.18E-08
PCB 153	7.01E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.40E-11	5.00E-04	2.81E-08
PCB 180	4.49E-11	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	8.98E-12	5.00E-04	1.80E-08

Tableau de synthèse des QD par famille	
Composés	Somme QD
HAP	4.27E-02
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures Aliphatiques	1.54E-01
Hydrocarbures Aromatiques	6.97E-01
BTEX	4.43E-03
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	1.20E-07
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phtalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	0.00E+00
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Somme Aliphatiques	2.01E-01
Somme Aromatiques	7.44E-01

Scénario tertiaire - Risques par inhalation de vapeurs issues du dégazage de la nappe dans les bâtiments - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE - Effets SANS seuil								VTR (mg/m3)-1	Excès de risque individuel
	Conc. mg/m3	IR m3/h	CF h/j	EF j/an	ED ans	VR m3/j	AT jours	DJE mg/m3		ERI -
		0.83	8	220	42	20	25550			
HAP										1.07E-09
Acenaphthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00
Acenaphthylene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00
Anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-02	0.00E+00
Benz(a)anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-01	0.00E+00
Benzo(a)pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
Benzo(b)fluoranthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-01	0.00E+00
Benzo(g,h,i)perylene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-02	0.00E+00
Benzo(k)fluoranthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-01	0.00E+00
Chrysene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-02	0.00E+00
Dibenz(a,h)anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E+00	0.00E+00
Fluoranthene	3.14E-09	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	3.77E-10	1.10E-03	4.14E-13
Fluorene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00
Indeno(1,2,3-cd)pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-01	0.00E+00
Naphthalene	1.59E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	1.91E-07	5.60E-03	1.07E-09
Phenanthrene	3.70E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	4.44E-09	1.10E-03	4.89E-12
Pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.10E-03	0.00E+00
Métaux lourds										0.00E+00
Mercury (inorganic)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	
Alcanes										0.00E+00
Heptane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	
Hexane (n-)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	
Octane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	
BTEX										0.00E+00
Toluene	2.18E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.62E-06	-	
Ethers										6.54E-11
MTBE	2.09E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	2.52E-07	2.60E-04	6.54E-11
ETBE	5.43E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	2.56E+04	6.52E-06	-	

Tableau de synthèse des ERI par famille	
Composés	Somme ERI
HAP	1.07E-09
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures	0.00E+00
BTEX	0.00E+00
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	0.00E+00
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phtalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	6.54E-11
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Somme	1.14E-09

Scénario tertiaire - Risques par inhalation de vapeurs issues du dégazage de la nappe dans les bâtiments - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE - Effets à seuil								VTR mg/m3	Quotient de danger
	Conc.	IR	CF	EF	ED	VR	AT	DJE		QD
	mg/m3	m3/h	h/j	j/an	ans	m3/j	jours	mg/m3		
		0.83	8	220	42	20	15330	-		
HAP										8.58E-06
Acenaphthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Acenaphthylene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Benz(a)anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Benzo(a)pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Benzo(b)fluoranthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Benzo(g,h,i)perylene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Benzo(k)fluoranthene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Chrysene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Dibenz(a,h)anthracene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Fluoranthene	3.14E-09	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	6.28E-10	-	
Fluorene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Naphthalene	1.59E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	3.18E-07	3.70E-02	8.58E-06
Phenanthrene	3.70E-08	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	7.40E-09	-	
Pyrene		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Métaux lourds										0.00E+00
Mercury (inorganic)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	3.00E-05	0.00E+00
Alcanes										0.00E+00
Heptane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
Hexane (n-)		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	3.00E+00	0.00E+00
Octane		8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	-	
BTEX										1.45E-06
Toluene	2.18E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.36E-06	3.00E+00	1.45E-06
Ethers										5.88E-06
MTBE	2.09E-06	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	4.19E-07	2.60E+00	1.61E-07
ETBE	5.43E-05	8.30E-01	8.00E+00	2.20E+02	4.20E+01	2.00E+01	1.53E+04	1.09E-05	1.90E+00	5.72E-06

Tableau de synthèse des QD par famille	
Composés	Somme QD
HAP	8.58E-06
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures Aliphatiques	0.00E+00
Hydrocarbures Aromatiques	0.00E+00
BTEX	1.45E-06
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	0.00E+00
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phthalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	5.88E-06
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Somme Aliphatiques	1.59E-05
Somme Aromatiques	1.59E-05

Scénario tertiaire - Risques par ingestion de sols - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE								VTR (mg/kg/j)-1	Excès de risque individuel
	Conc. retenue mg/kg	CF kg/mg	IR mg/j	EF j/an	ED ans	BW kg	AT jours	DJE mg/kg/j		ERI -
Paramètres	-	1.00E-06	33.3	220	42	70	25550	-		
HAP										8.06E-08
Acénaphthène	1.04E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.79E-07	2.00E-04	3.58E-11
Acénaphthylène	1.00E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.72E-08	2.00E-04	3.44E-12
Anthracène	3.99E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	6.86E-07	2.00E-03	1.37E-09
Benzo(a)anthracène	1.49E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.56E-07	2.00E-02	5.13E-09
Benzo(b)fluoranthène	1.27E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.18E-07	2.00E-02	4.37E-09
Benzo(g,h,i)perylène	7.90E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.36E-07	2.00E-03	2.72E-10
Benzo(k)fluoranthène	7.40E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.27E-07	2.00E-02	2.55E-09
Benzo(a)pyrène	1.38E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.37E-07	2.00E-01	4.75E-08
Chrysène	1.27E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.18E-07	2.00E-03	4.37E-10
Dibenzo(a,h)anthracène	4.50E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	7.74E-08	2.00E-01	1.55E-08
Fluoranthène	2.44E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	4.20E-07	2.00E-04	8.40E-11
Fluorène	2.33E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	4.01E-07	2.00E-04	8.02E-11
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	8.70E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.50E-07	2.00E-02	2.99E-09
Naphtalène	9.10E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.57E-07	2.00E-04	3.13E-11
Phénanthrène	6.20E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.07E-06	2.00E-04	2.13E-10
Pyrène	1.71E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.94E-07	2.00E-04	5.88E-11
Métaux lourds										0.00E+00
Arsenic		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	1.50E+00	0.00E+00
Cadmium		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Chrome III		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	-	0.00E+00
Chrome VI		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	0.00E+00	4.20E-01	0.00E+00
Hydrocarbures aliphatiques										0.00E+00
TPH Aliphatiques C6-C8	1.00E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.72E-06	-	-
TPH Aliphatiques C8-C10	1.20E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.06E-06	-	-
TPH Aliphatiques C10-C12	2.10E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	3.62E-06	-	-
TPH Aliphatiques C12-C16	5.88E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.01E-05	-	-
TPH Aliphatiques C16-C35	1.04E+02	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.79E-05	-	-
Hydrocarbures aromatiques										0.00E+00
TPH Aromatiques C7-C8	1.00E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.72E-06	-	-
TPH Aromatiques C8-C10	1.20E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.06E-06	-	-
TPH Aromatiques C10-C12	2.10E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	3.62E-06	-	-
TPH Aromatiques C12-C16	5.88E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.01E-05	-	-
TPH Aromatiques C16-C21	6.81E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.17E-05	-	-
TPH Aromatiques C21-C35	3.62E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	6.22E-06	-	-
BTEX										1.51E-10
Ethylbenzène	8.00E-02	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	1.38E-08	1.10E-02	1.51E-10
Xylènes	3.30E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	5.68E-08	-	-
PCB par Congénères										5.06E-09
PCB 28	1.70E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.92E-10	2.00E+00	5.85E-10
PCB 52	1.30E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.24E-10	2.00E+00	4.47E-10
PCB 101	2.20E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	3.78E-10	2.00E+00	7.57E-10
PCB 118	1.50E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	2.58E-10	2.00E+00	5.16E-10
PCB 138	1.80E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	3.10E-10	2.00E+00	6.19E-10
PCB 153	3.60E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	6.19E-10	2.00E+00	1.24E-09
PCB 180	2.60E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	2.56E+04	4.47E-10	2.00E+00	8.95E-10

Tableau de synthèse des ERI par famille	
Composés	Somme ERI
HAP	8.06E-08
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures	0.00E+00
BTEX	1.51E-10
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	5.06E-09
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phtalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	0.00E+00
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Explosifs	0.00E+00
Somme	8.58E-08

Scénario tertiaire - Risques par ingestion de sols - cas des employés

Composé	Calcul de la DJE								VTR	Quotient de danger
	Conc. retenue	CF	IR	EF	ED	BW	AT	DJE		QD
	mg/kg	kg/mg	mg/j	j/an	ans	kg	jours	mg/kg/j	mg/kg/j	-
Paramètres	-	1.00E-06	33.3	220	42	70	15330	-		
HAP										1.24E-04
Acénaphthène	1.04E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.98E-07	6.00E-02	4.97E-06
Acénaphthylène	1.00E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.87E-08	-	-
Anthracène	3.99E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.14E-06	3.00E-01	3.81E-06
Benzo(a)anthracène	1.49E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	4.27E-07	-	-
Benzo(b)fluoranthène	1.27E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.64E-07	-	-
Benzo(g,h,i)perylène	7.90E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.27E-07	3.00E-02	7.55E-06
Benzo(k)fluoranthène	7.40E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.12E-07	-	-
Benzo(a)pyrène	1.38E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.96E-07	-	-
Chrysène	1.27E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.64E-07	-	-
Dibenzo(a,h)anthracène	4.50E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.29E-07	-	-
Fluoranthène	2.44E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	7.00E-07	4.00E-02	1.75E-05
Fluorène	2.33E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	6.68E-07	4.00E-02	1.67E-05
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	8.70E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.49E-07	-	-
Naphtalène	9.10E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.61E-07	2.00E-02	1.30E-05
Phénanthrène	6.20E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.78E-06	4.00E-02	4.44E-05
Pyrène	1.71E+00	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	4.90E-07	3.00E-02	1.63E-05
Métaux lourds										0.00E+00
Arsenic		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	3.00E-04	0.00E+00
Cadmium		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	1.00E-04	0.00E+00
Chrome III		1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	0.00E+00	1.50E+00	0.00E+00
Hydrocarbures aliphatiques										2.79E-04
TPH Aliphatiques C6-C8	1.00E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.87E-06	5.00E+00	5.74E-07
TPH Aliphatiques C8-C10	1.20E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.44E-06	1.00E-01	3.44E-05
TPH Aliphatiques C10-C12	2.10E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	6.03E-06	1.00E-01	6.03E-05
TPH Aliphatiques C12-C16	5.88E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.69E-05	1.00E-01	1.69E-04
TPH Aliphatiques C16-C35	1.04E+02	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.99E-05	2.00E+00	1.49E-05
Hydrocarbures aromatiques										1.67E-03
TPH Aromatiques C7-C8	1.00E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.87E-06	2.00E-01	1.44E-05
TPH Aromatiques C8-C10	1.20E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.44E-06	4.00E-02	8.59E-05
TPH Aromatiques C10-C12	2.10E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	6.03E-06	4.00E-02	1.51E-04
TPH Aromatiques C12-C16	5.88E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.69E-05	4.00E-02	4.21E-04
TPH Aromatiques C16-C21	6.81E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.95E-05	3.00E-02	6.51E-04
TPH Aromatiques C21-C35	3.62E+01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.04E-05	3.00E-02	3.46E-04
BTEX										7.09E-07
Ethylbenzène	8.00E-02	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	2.29E-08	9.71E-02	2.36E-07
Xylènes	3.30E-01	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	9.46E-08	2.00E-01	4.73E-07
PCB par Congénères										2.11E-04
PCB 28	1.70E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	4.87E-10	2.00E-05	2.44E-05
PCB 52	1.30E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	3.73E-10	2.00E-05	1.86E-05
PCB 101	2.20E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	6.31E-10	2.00E-05	3.15E-05
PCB 118	1.50E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	4.30E-10	2.00E-05	2.15E-05
PCB 138	1.80E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	5.16E-10	2.00E-05	2.58E-05
PCB 153	3.60E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	1.03E-09	2.00E-05	5.16E-05
PCB 180	2.60E-03	1.00E-06	3.33E+01	2.20E+02	4.20E+01	7.00E+01	1.53E+04	7.46E-10	2.00E-05	3.73E-05

Tableau de synthèse des QD par famille	
Composés	Somme QD
HAP	1.24E-04
Métaux lourds	0.00E+00
Alcanes	0.00E+00
Hydrocarbures Aliphatiques	2.79E-04
Hydrocarbures Aromatiques	1.67E-03
BTEX	7.09E-07
COHV	0.00E+00
PCB par Congénères	2.11E-04
Famille des PCB	0.00E+00
Dioxines et furanes	0.00E+00
Chlorobenzènes	0.00E+00
Phtalates	0.00E+00
Composés azotés	0.00E+00
Aldéhydes	0.00E+00
Ethers	0.00E+00
Alcools	0.00E+00
Acides	0.00E+00
Composés phénoliques	0.00E+00
Pesticides	0.00E+00
Explosifs	0.00E+00
Somme Aliphatiques	6.15E-04
Somme Aromatiques	2.00E-03

Synthèse des risques par voie - Scénario tertiaire

Quotient de Danger - Employés			
Substances	Ingestion de sols	Inhalation vapeurs	
		Intérieur	Intérieur
HAP	1.24E-04	4.27E-02	8.58E-06
Hydrocarbures Aliphatiques	2.79E-04	1.54E-01	0.00E+00
Hydrocarbures Aromatiques	1.67E-03	6.97E-01	0.00E+00
BTEX	7.09E-07	4.43E-03	1.45E-06
PCB par Congénères	2.11E-04	1.20E-07	0.00E+00
Total par voie avec hypothèse HC aliphatiques	0.001	0.201	0.000
Total général avec hypothèse HC aliphatiques		0.20	
Total par voie avec hypothèse HC aromatiques	0.002	0.744	0.000
Total général avec hypothèse HC aromatiques		0.75	

Excès de Risque Individuel - Employés			
Substances	Ingestion de sols	Inhalation vapeurs	
		Intérieur	Intérieur
HAP	8.06E-08	5.45E-06	1.07E-09
Hydrocarbures	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BTEX	1.51E-10	8.40E-07	0.00E+00
PCB par Congénères	5.06E-09	3.60E-12	0.00E+00
Total par voie	8.58E-08	6.29E-06	1.14E-09
Total général		6.38E-06	

Les valeurs supérieures aux seuils fixés par la circulaire du 08/02/07 sont indiquées en gras

Annexe 20 Incertitudes liées aux calculs de risques

INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS DE RISQUES

Les incertitudes associées aux calculs des risques sont liées d'une part aux concentrations prises en compte, d'autre part aux données de toxicité (choix de la VTR), à la modélisation des transferts et enfin aux calculs des doses d'exposition (conception et données d'entrée des modèles de transfert et d'exposition).

Les incertitudes principales sont détaillées dans les paragraphes ci-après.

1.1 Incertitudes sur les concentrations prises en compte

1.1.1 Incertitudes liées à l'échantillonnage

Le calcul des risques est basé sur des analyses d'échantillons de sols et les eaux souterraines réalisées ponctuellement lors d'investigations menées sur le site.

1.1.1.1 Echantillonnage des sols

Concernant les sols, les incertitudes liées à l'échantillonnage dépendent :

- de la taille des mailles échantillonnées ;
- de l'emplacement du sondage dans la maille ;
- du prélèvement (quelques centaines de grammes pour les sols) ;
- de la quantité d'échantillon analysée au laboratoire (quelques milligrammes pour les sols) ;

D'une manière générale, plus le nombre de prélèvements sera élevé, plus la probabilité de définir une concentration représentative des teneurs en présence sur le site sera importante.

Dans le cas présent, les prélèvements et analyses réalisés peuvent être jugés globalement représentatifs de la qualité des sols au droit de la zone d'étude, même si une pollution concentrée ponctuelle entre deux points de prélèvements ne peut jamais être exclue.

En effet en raison de l'hétérogénéité naturelle du milieu souterrain, un constat basé sur des prélèvements ponctuels (discretisation) ne peut raisonnablement pas prétendre à une détermination exhaustive des caractéristiques du sous-sol.

Concernant les composés les plus volatils comme les hydrocarbures volatils ou les BTEX notamment, leurs caractéristiques physico-chimiques en font des composés parfois peu adsorbés sur les sols, mais présents en quantités importantes dans les gaz du sol.

1.1.1.2 Echantillonnage des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont fait l'objet d'une campagne de prélèvements (janvier 2015) depuis l'implantation de Pz5 au droit du site, sur les 5 ouvrages implantés sur le site. Les concentrations dans ce milieu étant généralement évolutives au cours du temps, les données exploitées dans le cadre du plan de gestion sont donc considérées comme indicatives, mais pas forcément comme les plus pénalisantes.

Il est toutefois à noter que les investigations précédentes sur le site (suivi depuis 1998) n'ont jamais mis en évidence d'impact sur ce milieu.

1.1.2 Incertitudes liées aux analyses d'hydrocarbures

La distinction aliphatique/aromatique a été effectuée dans les sols. Cependant, il a été jugé que les 9 analyses TPH disponibles sur les 255 échantillons analysés n'étaient pas totalement représentatives de la répartition des hydrocarbures aliphatiques et aromatique sur le site.

Aussi, la distinction aliphatique/aromatique n'a pas été prise en compte bien que leur toxicité soit différente. Pour cette raison, et en application du principe de précaution, il a été supposé que les hydrocarbures mesurés étaient soit entièrement des aliphatiques soit entièrement des aromatiques. Les calculs ont donc été réalisés en appliquant les concentrations de chaque coupe pétrolière aux coupes aliphatiques et aromatiques correspondantes. On obtient alors une fourchette de valeurs de risques, dont les bornes haute et basses permettent d'orienter les recommandations et conclusions de l'étude.

1.2 Incertitudes entourant la sélection des VTR

1.2.1 Généralités sur la sélection des VTR

Il n'existe pas à l'heure actuelle une méthodologie universelle pour la détermination d'une VTR. Aussi, un composé peut présenter plusieurs valeurs de référence, déterminées par chaque organisme créateur.

Pour chaque étude, Arcadis choisit la valeur la plus adaptée et réalise une analyse des méthodes de construction pour chaque valeur. Cependant, il est parfois difficile de trouver des explications quant à la construction des valeurs : certains organismes comme l'USEPA présentent de façon transparente leurs conclusions, mais tous ne le font pas.

1.2.2 VTR des HAP

Les valeurs toxicologiques de référence des HAP ont été élaborées à partir de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF). Ces derniers expriment la toxicité relative d'une substance de la famille par rapport à la substance de référence de cette famille qui est le plus souvent la plus toxique et la plus étudiée. Pour les HAP, il s'agit du benzo(a)pyrène.

Les TEF sont utilisés afin de définir les relations dose-réponse pour des substances chimiques issues de la même famille. Le concept TEF est fondé sur les hypothèses que l'organe cible et l'activité toxique sont identiques pour toute molécule apparentée.

La valeur de 1 est attribuée au TEF du chef de file du groupe (le benzo(a)pyrène pour les HAP) et une valeur exprimant leur potentiel toxique relatif est donnée au TEF des autres congénères.

Le produit du facteur d'équivalence toxique d'un composé par l'excès de risque unitaire de la substance prise en référence fournit alors la relation dose-réponse.

La confiance que l'on peut accorder aux TEF n'est certes pas totale ; ils ont néanmoins le mérite d'éviter l'exclusion de composés potentiellement cancérigènes des calculs de risque alors que leur présence dans l'environnement humain est attestée par les analyses de laboratoire.

1.3 Incertitudes liées à la modélisation des transferts

1.3.1 Incertitudes liées au modèle RISC Workbench 5.0

Un modèle est un outil construit pour reproduire « un système réel » en le simplifiant. En d'autres termes, il s'agit de rendre abordables des phénomènes trop complexes à décrire dans leur intégralité. Ces solutions analytiques sont donc des outils qui restent limités dans leur utilisation.

Les incertitudes du logiciel de calculs de risque RISC Workbench sont résumées dans le tableau suivant :

Modélisation dans l'air intérieur	Autres limites de la solution analytique
Le modèle ne tient compte que de la diffusion du polluant par les fissures des fondations.	La concentration est considérée infinie (recharge constante de la pollution dans le sol ou dans la nappe)
Le calcul de concentrations à l'intérieur d'un bâtiment fictif est nécessairement entaché d'une très forte incertitude (attribution de valeurs par défaut à un grand nombre de paramètres non quantifiables compte tenu des connaissances du moment).	Le modèle ne tient pas compte du fait que l'eau présente dans la zone non saturée du sol puisse s'évaporer à la surface du sol.

Tableau 1 : Incertitudes liées à la modélisation

Les calculs réalisés avec les équations de ce modèle sont majorants. En effet, la source de pollution est considérée comme constante dans le temps, il n'y a pas d'atténuation naturelle des concentrations dans les sols ni de biodégradation.

Le modèle mathématique considère que les polluants se répartissent uniformément dans l'ensemble du volume du bâtiment, le cloisonnement du volume et le mouvement spécifique des masses d'air à l'intérieur de celui-ci n'est pas pris en compte.

1.3.2 Incertitudes liées à la nature des sols

Il est reconnu que la nature du sol influence directement les phénomènes de transfert des polluants.

Le modèle RISC Workbench 5.0 distingue plusieurs natures de sol.

La nature de sol la plus représentative définie à partir des observations réalisées sur le terrain et des analyses granulométriques serait limono-sableuse pour les terres encaissant la pollution et sableuse pour la zone capillaire.

Ce sont ces natures de sol qui ont été utilisées dans le modèle mathématique pour le calcul de l'exposition. Ces types de sol tendent plutôt à favoriser les phénomènes de transfert, il serait donc majorant.

1.4 Incertitudes sur les paramètres d'exposition

La plupart des modèles multimédias possèdent une base interne équipée de paramètres standards (quantité de sol ingérée, poids de l'individu, volume d'air inhalé...).

Cependant, ces données dépendent d'un certain nombre de facteurs comme :

- l'usage du site ;
- les caractéristiques physiques du récepteur ;
- les habitudes de vie des personnes ;

mais également de bien d'autres paramètres. Aussi, afin de minimiser l'incertitude qui existe sur les données d'entrée, Arcadis s'est référé aux organismes comme l'USEPA qui disposent d'un certain nombre de données sur le sujet.

Néanmoins, chaque individu est unique et sa morphologie également. Il faut donc garder à l'esprit que tous ces paramètres sont moyennés et ne représentent qu'une vision simpliste et généralement majorante de la réalité.

1.5 Conclusions sur les incertitudes

De manière générale, les hypothèses et paramètres retenus pour les calculs de risque ont tendance à surestimer les risques sanitaires, ils sont conservateurs et majorants, ce qui est cohérent avec le principe de prudence appliqué en évaluation quantitative des risques sanitaires.

Ainsi il est rappelé que :

- la source a été considérée comme infinie (aucun épuisement de la source au cours du temps) ;
- aucune dilution, atténuation naturelle ou biodégradation des composés dans les sols ou dans les eaux n'a été prise en compte, alors que des études récentes tendraient à montrer que pour des sources sols ou des nappes profondes, ces phénomènes joueraient un rôle important dans la limitation des transferts de polluants depuis les sols ou les nappes vers l'air ambiant ;
- les concentrations maximales eaux souterraines sur le site ont été utilisées, quelle que soit leur position hydraulique ;
- les types de sol (limons sableux et sables) utilisés dans le logiciel Risc Workbench sont reconnus pour majorer les transferts ;
- les données morphologiques utilisées par défaut sont conservatrices ;
- les facteurs d'exposition retenus sont majorants.

Annexe 21 Localisation des masses de sol à traiter

Localisation des masses de sol à traiter

Bureau d'études
ARCADIS Design & Consultancy
 for natural and built assets

Plan de gestion

Date	Ind.	Objet de l'édition/révision	Etabli.	Vérif.	App.
12/05/2016	A1	Création du document	TGA	JMA	JMA
Echelle	Ref. Affaire	Document		Page	
graphique	FR0114.001661	ANNEXE N° 21		1/1	

Client
Total Marketing France

Ancien dépôt de Total Brive
 BRIVE-LA-GAILLARDE (19)

LÉGENDE

Limite du site

- Investigations :

- Sondage sol réalisé
- ⚡ Sondage non réalisé (contraintes terrain)

* Sondage non abouti (arrivées d'eau de surface importantes lors de l'excavation)

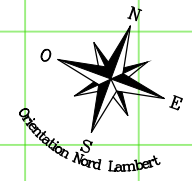
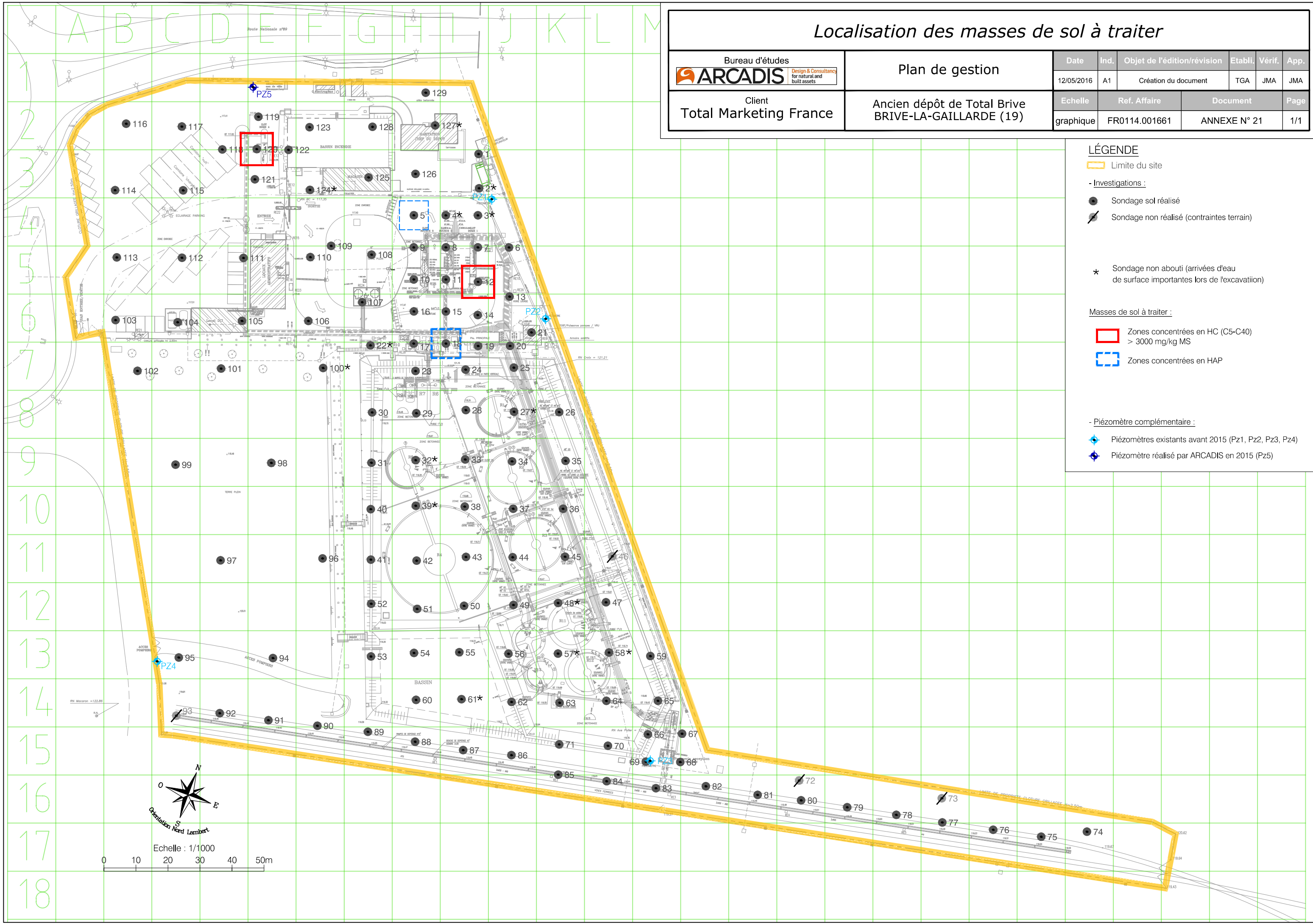
Masses de sol à traiter :

■ Zones concentrées en HC (C5-C40) > 3000 mg/kg MS

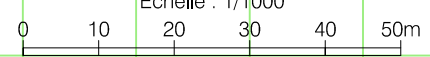
▭ Zones concentrées en HAP

- Piézomètre complémentaire :

- ⚡ Piézomètres existants avant 2015 (Pz1, Pz2, Pz3, Pz4)
- ⚡ Piézomètre réalisé par ARCADIS en 2015 (Pz5)



Echelle : 1/1000



Annexe 22 Modèle de fonctionnement

BUDGET ESPACE / TEMPS

Scénario	Cibles	Temps de présence	Fréquence d'exposition	Durée d'exposition
Tertiaire	Employés	8h/j	220 j/an	42 ans

HORS SITE

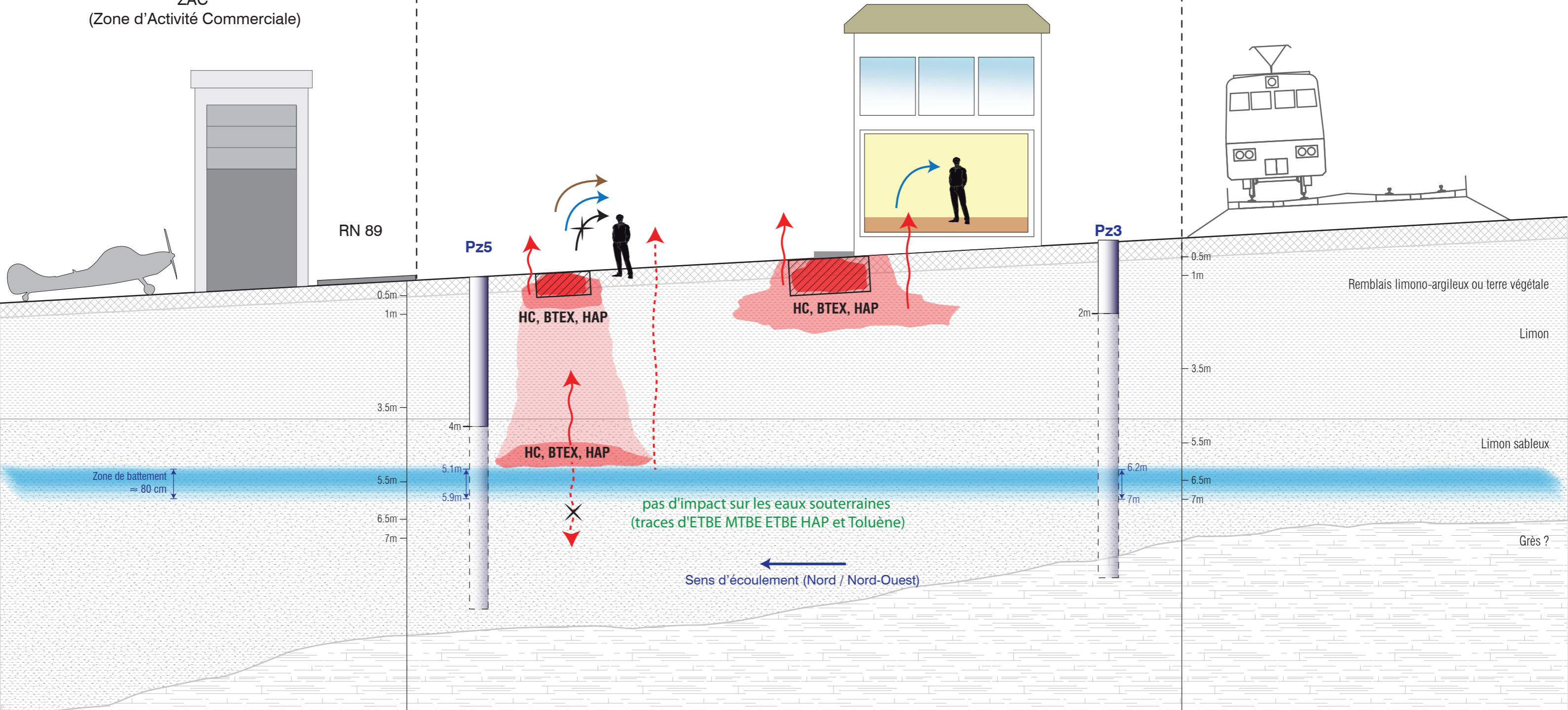
SUR SITE

HORS SITE

Aéroport + ZAC (Zone d'Activité Commerciale)

Bâtiment à usage tertiaire / commercial

Voie ferrée



LÉGENDE

VOIES DE TRANSFERT

- ↑ Volatilisation depuis les sols
- ⊗ Transfert des sols vers la nappe (voie inactive)
- ↑ Volatilisation depuis les eaux souterraines

VOIES D'EXPOSITION

- ↪ Inhalation (poussières ou vapeurs)
- ↪ Contact cutané (sol)
- ↪ Ingestion (sol)

MESURES DE GESTION

- ▨ Traitement des sols :
 - Zones concentrées en HAP (PM5-370 mg/kg MS) (PM18-590 mg/kg MS)
 - Zones concentrées en HC (C5-C40) > 3000 mg/kg MS (PM12-PM120)

MODELE DE FONCTIONNEMENT

ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

Date : 12/05/2016
 Dessinateur : TGA
 Ingénieur : ASE
 Echelle : graphique

Total Marketing France
 Ancien dépôt pétrolier de Brive BRIVE-LA-GAILLARDE (19)
 Affaire n° : FR0114.001661
 Annexe : 22

Document protégé, propriété exclusive d'Arcadis ESG. Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée. Reproduction intégrale ou partielle non autorisée strictement interdite pouvant entraîner des poursuites devant un tribunal.