

Dépollution du centre de recyclage à Bassens (33)

*Analyse des Risques Résiduels liée à la présence de
terres résiduelles dans les cuves n°3, 6 et 10*

*Septembre 2013
Rapport A72342/A*

COMMUNAUTE URBAINE DE BORDEAUX
Esplanade Charles de Gaule
33076 BORDEAUX



AGENCE OUEST – SUD-OUEST – Implantation de Bordeaux
Equipe Sites et Sols Pollués
Europarc - 19, Avenue Léonard de Vinci
33600 PESSAC
Tél. : 05.57.26.02.80
Fax. : 05.57.26.80.13

Sommaire

	Pages
1. Contexte et objectifs	3
2. Synthèse des données disponibles pour l'ARR	4
3. Analyse des Risques Résiduels	8
3.1. Préambule et méthodologie	8
3.2. Aménagement de la zone	9
3.3. Identification des sources de danger, des vecteurs et des cibles.....	9
3.4. Evaluation des doses-effets pour les substances retenues	13
3.5. Evaluation des expositions	13
3.6. Evaluation et caractérisation des risques	15
3.7. Discussion sur les calculs de risques	17
3.8. Conclusions de l'ARR.....	19

Liste des figures

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

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des analyses de sol réalisées en fond des cuves 3, 6, et 10	6
Tableau 2 : Résultats des analyses de sol réalisées en fond des cuves 3, 6, et 10	7
Tableau 3 : Eléments traceurs de risques et concentrations retenus dans les sols au droit des cuves pour l'ARR (en mg/kg MS)	11
Tableau 4 : Hypothèses de caractérisation des sols de transfert	14
Tableau 5 : Hypothèses d'aménagement retenues pour le milieu extérieur (voirie).....	14
Tableau 6 : Hypothèses d'exposition retenues pour chaque scénario	14
Tableau 7 : Excès de Risques Individuels	16
Tableau 8 : Quotient de Danger	16
Tableau 9 : Test de sensibilité – prise en compte du mercure sous forme volatile	18

Liste des annexes

Annexe 1 : Bordereaux des résultats d'analyses des terres en fond des cuves 3, 6 et 10
Annexe 2 : Valeurs Toxicologiques de Référence et paramètres physico-chimiques
Annexe 3 : Relations doses-réponses
Annexe 4 : Evaluation des expositions
Annexe 5 : Détail des calculs de risque
Annexe 6 : Tableau des prestations codifiées selon la norme NF X 31-620

1. Contexte et objectifs

A la demande de l'administration, la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) a lancé la réalisation de travaux de dépollution au droit de la déchèterie de Bassens (33).

Le site est actuellement occupé par une déchèterie pour la partie sud, et par un terrain en friche en partie nord.

Ces travaux de dépollution sont motivés par le fait que le terrain d'emprise renferme **d'anciennes cuves de stockage d'hydrocarbures de l'armée allemande**, destinées à l'approvisionnement des sous-marins pendant la seconde guerre mondiale. Ces cuves ont été à l'origine de pollution des sols et de la nappe d'eau souterraine ainsi qu'en attestent les résultats d'études antérieures menées depuis 1997 sur le site.

Les investigations mises en œuvre sur le site ont mis en évidence :

- La présence de résidus dans les cuves enterrées ;
- La présence de sols contaminés par des hydrocarbures dans la zone de battement de la nappe dans la partie sud du site.

Les travaux liés à la dépollution du site de Bassens sont répartis comme suit :

- LOT1 : travaux de traitement des résidus des cuves 3, 6, 10, 13 et 14 ;
- LOT2 : Travaux de confinement des sols contaminés par les hydrocarbures.

Les travaux du LOT1 ont été attribués à la société ORTEC GENERALE DE DEPOLLUTION.

Des matériaux supplémentaires, et de nature différente à celle prévue au marché, ont été mis en évidence en phase chantier. Les moyens à mettre en œuvre pour leur extraction n'étant pas couvert par le marché existant en termes de techniques, coûts et de délais, la CUB a missionné Antea Group pour la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels afin d'évaluer la possibilité de laisser ces matériaux en place.

Cette étude fait l'objet du présent document.

2. Synthèse des données disponibles pour l'ARR

Les travaux de vidange des cuves ont été menés par l'entreprise ORTEC. Ils ont consisté en l'élimination des liquides et résidus pâteux présents en fond des cuves implantées au droit du site (vidange et nettoyage).

Lors des travaux, des tas de terres et de blocs ont été mis en évidence dans les cuves, en plus des déchets pâteux. Ces matériaux auraient été utilisés en remblaiement afin de boucher d'anciennes ouvertures pratiquées dans le toit des cuves. La partie superficielle de ces tas avait fait l'objet d'analyses de contrôle indiquant la présence de métaux lourds et l'absence de contamination en hydrocarbures. Par contre, la base de ces tas a donc baigné dans les résidus de fioul pâteux.

Afin de déterminer la qualité des terres résiduelles présentes dans les cuves implantées au droit de la déchetterie, Antea Group a réalisé des prélèvements de terres dans la frange imprégnée des tas présents dans les cuves 3, 6 et 10. Les cuves 13 et 14 n'ont pu faire l'objet de prélèvement, mais sont assimilées à la même problématique d'exposition que les cuves 3, 6 et 10 (hypothèse sécuritaire, ces cuves étant implantées sur la friche au nord de la déchetterie).

Les échantillons ainsi prélevés ont été envoyés au laboratoire AGROLAB pour la recherche des métaux lourds, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), des Hydrocarbures totaux et du TPH-WG (répartition des fractions aliphatiques et aromatiques C5-C40).

Les résultats d'analyses sont synthétisés dans le tableau ci-après et les bordereaux d'analyse du laboratoire sont joints en Annexe 1.

Ces résultats mettent en évidence :

- La présence de métaux avec une majorité de concentrations comprises dans la gamme de valeurs de « sols ordinaires » ou de sols avec des « anomalies naturelles modérées » définies par le bruit de fond de l'INRA. Des anomalies plus marquées sont observées pour l'arsenic (cuve 6 et 10), le cuivre et le mercure (cuve 10) et le plomb (toutes les cuves).

Les anomalies en métaux les plus soutenues concernent les terres prélevées en fond de la cuve 10.

- L'absence de détection des BTEX (teneurs inférieures aux limites de quantification du laboratoire).
- La présence de HAP à des teneurs significatives (somme des HAP) pour la cuve 3 (1 700 mg/kg MS) et la cuve 6 (400 mg/kg MS) tandis que les terres de la cuve 10 présentent des concentrations nettement moindres (3,8 mg/kg MS).

- La présence d'hydrocarbures totaux avec des teneurs égales à 17 770 mg/kg MS pour la cuve 3, 3 220 mg/kg MS pour la cuve 6 et 105 mg/kg MS pour la cuve 10. La répartition des fractions carbonées montre la prédominance des fractions lourdes C16-C40 pour les trois échantillons analysés (source fioul). Toutefois, les fractions volatiles C10-C16 sont également détectées.

- Les analyses TPH-WG montrent l'absence des fractions C5-C10. Les répartitions moyennes calculées sur les TPH-WG des trois échantillons montrent que les fractions C10-C12 présentent une répartition équilibrée entre les formes aliphatiques et aromatiques tandis que les fractions C12-C16 montrent une prédominance des formes aliphatiques par rapport aux formes aromatiques (respectivement 72 % et 28 %).

Ces résultats confirment les observations de terrain n'ayant pas mis en évidence d'indices organoleptiques de pollution (traces, odeurs, imprégnation) pour les terres de la cuve 10.

Matière sèche	%	Base cuve3	Base cuve6	Base cuve10	Bruit de fond INRA		
		85,4	84,4	89,8	"sols ordinaires"	"anamoliaies naturelles modérées"	"fortes anomalies naturelles"
Arsenic (As)	mg/kg Ms	50	75	990	1 à 25	30 à 60	60 à 284
Cadmium (Cd)	mg/kg Ms	0.17	0.34	0.83	0.05 à 0.45	0.7 à 2	2 à 46.3
Chrome (Cr)	mg/kg Ms	8	11	24	10 à 90	90 à 150	150 à 3180
Cuivre (Cu)	mg/kg Ms	25	40	130	2 à 20	20 à 62	65 à 160
Mercure (Hg)	mg/kg Ms	0.79	1.5	39	0.02 à 0.10	0.15 à 2.3	-
Nickel (Ni)	mg/kg Ms	4.7	6.8	14	2 à 60	60 à 130	130 à 2076
Plomb (Pb)	mg/kg Ms	180	220	2300	9 à 50	60 à 90	100 à 10180
Zinc (Zn)	mg/kg Ms	58	95	240	10 à 100	100 à 250	250 à 11426
Naphtalène	mg/kg Ms	130	51	<0.05			
Acénaphthylène	mg/kg Ms	<5	<5	<0.05			
Acénaphthène	mg/kg Ms	130	30	0.077			
Fluorène	mg/kg Ms	180	40	0.16			
Phénanthrène	mg/kg Ms	600	140	0.77			
Anthracène	mg/kg Ms	64	14	0.28			
Fluoranthène	mg/kg Ms	270	59	0.62			
Pyrène	mg/kg Ms	220	50	0.55			
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms	34	7.7	0.2			
Chrysène	mg/kg Ms	36	8.2	0.21			
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms	18	<5	0.24			
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms	7	<5	0.11			
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms	12	<5	0.22			
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms	<5	<5	<0.05			
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg Ms	21	<5	0.19			
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms	9	<5	0.18			
HAP (EPA) - somme	mg/kg Ms	1700	400	3.8			
Benzène	mg/kg Ms	<0.5	<0.5	<0.05			
Toluène	mg/kg Ms	<0.5	<0.5	<0.05			
Ethylbenzène	mg/kg Ms	<0.5	<0.5	<0.05			
m,p-Xylène	mg/kg Ms	<0.5	<0.5	<0.1			
o-Xylène	mg/kg Ms	<0.5	<0.5	<0.05			
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms	17700	3220	105			
Fraction C10-C12	mg/kg Ms	680	170	4			
Fraction C12-C16	mg/kg Ms	4440	850	27			
Fraction C16-C20	mg/kg Ms	5120	880	22			
Fraction C20-C24	mg/kg Ms	3110	530	13			
Fraction C24-C28	mg/kg Ms	1870	340	16			
Fraction C28-C32	mg/kg Ms	1390	250	12			
Fraction C32-C36	mg/kg Ms	810	140	7			
Fraction C36-C40	mg/kg Ms	280	60	3			

Tableau 1 : Résultats des analyses de sol réalisées en fond des cuves 3, 6, et 10

L'analyse TPH-WG est une analyse non-quantitative permettant la connaissance des répartitions aliphatiques et aromatiques sur les fractions carbonées C5-C40.

		Base cuve3	Base cuve6	Base cuve10
Fraction aliphatique C5-C6	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aliphatique >C6-C8	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aliphatique >C8-C10	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aromatique >C6-C7	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aromatique >C7-C8	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aromatique >C8-C10	mg/kg Ms	<20	<20	<10
Fraction aliphatique >C10-C12	mg/kg Ms	87	33	<10
Fraction aliphatique >C12-C16	mg/kg Ms	670	300	<10
Fraction aliphatique >C16-C21	mg/kg Ms	680	330	14
Fraction aliphatique >C21-C35	mg/kg Ms	1100	560	27
Fraction aliphatique >C35-C40	mg/kg Ms	180	84	<10
Fraction aliphatique C5-C40	mg/kg Ms	2700	1300	41
Fraction aromatique >C10-C12	mg/kg Ms	61	47	<10
Fraction aromatique >C12-C16	mg/kg Ms	260	120	<10
Fraction aromatique >C16-C21	mg/kg Ms	1300	620	<10
Fraction aromatique >C21-C35	mg/kg Ms	980	460	<10
Fraction aromatique >C35-C40	mg/kg Ms	100	45	<10

Tableau 2 : Résultats des analyses de sol réalisées en fond des cuves 3, 6, et 10

3. Analyse des Risques Résiduels

3.1. Préambule et méthodologie

L'évaluation menée ci-après est établie conformément aux recommandations du guide « La démarche d'Analyse des Risques Résiduels », version 0 du 8 février 2007 du Ministère en charge de l'Environnement. Elle est établie **pour l'usage futur envisagé du site pour les sols dans leur état actuel, après travaux de dépollution.**

L'évaluation des risques pour la santé humaine repose sur le concept « sources-vecteurs-cibles » (cf. schéma conceptuel) :

- source de substances à impact potentiel ;
- transfert des substances (par un « vecteur ») vers un point d'exposition ;
- exposition à ces substances des populations (ou « cibles ») situées au point d'exposition.

La démarche d'évaluation des risques est composée de quatre étapes :

- identification des dangers ;
- présentation des relations doses-réponses pour les substances considérées ;
- évaluation des expositions ;
- caractérisation des risques.

Les informations sur la « source » se basent sur les résultats des prélèvements de sol réalisés par Antea Group sur les terres résiduelles impactées aux hydrocarbures présentent en fond des cuves 3, 6 et 10 après purge des résidus pâteux par l'entreprise ORTEC.

Compte tenu du projet d'aménagement envisagé, les cibles sont constituées par les travailleurs de la déchetterie et le public extérieur. Il s'agit d'usagers adultes.

Pour un scénario donné, le risque par substance est obtenu en procédant au calcul du Quotient de Danger (QD) et de l'Excès de Risque Individuel (ERI). Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux critères sanitaires en vigueur.

On retiendra donc qu'il y a, pour chaque substance et pour chaque scénario, trois niveaux de calculs : le calcul de la concentration au point d'exposition (modèle de transfert), le calcul de la dose absorbée (modèle d'exposition) et le calcul des risques sanitaires (QD pour les risques toxiques et ERI pour les risques cancérigènes). Les risques pour un individu et pour un scénario donné sont obtenus en cumulant les risques calculés par substance, démarche qui conserve un caractère sécuritaire.

3.2. Aménagement de la zone

Le site est actuellement occupé par une déchetterie et cet usage sera conservé. Les cuves béton n°3, 6 et 10, objet du présent dossier, se trouvent au droit des quais de déchargement qui seront assimilées à des voiries. Le toit des cuves est couvert par une dalle béton (surlévé de remblais pour la cuve n°6). L'épaisseur minimale de cette dalle est de 0,60 m.

Les bureaux présents sur site ne sont pas implantés au droit des cuves et n'ont donc pas été retenus pour le choix des usages.

Ces aménagements resteront inchangés et conduisent à retenir les usages suivants :

- **Usage de la déchetterie par les futurs travailleurs adultes ou du public (adulte) au droit des quais de déchargement implantés sur les cuves n°3, 6 et 10.**

3.3. Identification des sources de danger, des vecteurs et des cibles

Les sources de pollution, les milieux de transfert et les cibles sont présentées successivement dans les paragraphes ci-dessous.

3.3.1. *Eléments traceurs de risque considérés*

La sélection des substances est fondée sur deux critères appliqués successivement :

- critère 1 : sélection des substances dont la concentration est supérieure au seuil de quantification ;
- critère 2 : parmi les substances retenues selon le critère 1, sélection des substances pour lesquelles une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) est disponible dans la bibliographie.

Les substances n'ayant pas de Valeurs Toxicologiques de Référence ne seront pas prises en compte dans l'étude. En effet, nous avons retenu les éléments traceurs de risques pour lesquels des Valeurs Toxicologiques de Référence étaient disponibles dans les bases spécialisées (US-EPA, OMS, ATSDR, PEHHA, Health Canada).

Le choix des substances à impact potentiel repose sur les analyses de terres résiduelles en fond de cuve réalisées en juillet 2013 par Antea Group. Les éléments traceurs du risque sont donc les métaux, les BTEX, les hydrocarbures C10-C40 et les HAP.

On rappelle que les BTEX n'ont pas été détectés dans les terres.

3.3.2. *Sol considéré comme source*

Les prélèvements et analyses de sol mis en œuvre sur les terres présentes en fond des cuves n°3, 6 et 10 ont mis en évidence la présence d'anomalies en métaux, Hydrocarbures totaux C10-C40 et HAP.

Ces sols sont donc retenus comme source.

3.3.2.1. Substances retenues dans les sols

Les substances à retenir dans les sols sont présentées dans le tableau ci-après.

Cas des hydrocarbures totaux

Pour les fractions carbonées volatiles C10-C16, la répartition aliphatiques/aromatiques est calculée à partir des indices TPH WG disponibles sur les sols. La moyenne des répartitions observées sur l'ensemble des échantillons analysés (cuve 3, cuve 6 et cuve 10) a été retenue. Cette répartition sera répercutée sur la concentration en hydrocarbures retenue et est la suivante :

- ✓ HC C10-C12 : 50 % d'aliphatiques et 50 % d'aromatiques.
- ✓ HC C12-C16 : 72 % d'aliphatiques et 28 % d'aromatiques.

Cas des métaux

Compte tenu du fait que le projet d'aménagement et le plan de gestion prévoient le recouvrement de l'ensemble des zones étudiées, l'exposition par inhalation de poussière n'est pas retenue (confinement de la source).

En ce qui concerne le mercure, pour lequel des teneurs résiduelles resteront en place en fond de cuve, en l'absence de données sur la nature précise de ce dernier (présence ou absence de part sous forme volatile), celui-ci a été pris en compte comme non volatil. Ce choix sera discuté dans le calcul des incertitudes.

3.3.2.2. Concentrations retenues dans les sols

Les calculs de risque ont été réalisés sur la base de l'ensemble des analyses de contrôle des terres présentes en fond des cuves 3, 6 et 10. Il s'agit de prélèvements réalisés en fond de cuve au niveau où les terres ont été en contact avec les résidus pâteux qui étaient présents avant la dépollution des cuves.

Les terres présentant des anomalies résiduelles en substances volatiles sont considérées affleurantes sous la dalle béton présente au toit de la cuve, en surface de la déchetterie. Cette hypothèse est pénalisante puisqu'en réalité les terres imprégnées sont situées en fond de cuve sur une épaisseur de 20 cm environ alors que le reste de la cuve est vide (cf. Figure 1). Cette hypothèse suppose donc un équilibre des concentrations de l'air du sol et de l'air de la cuve.

Les concentrations résiduelles dans les terres retenues pour la voie inhalation de vapeur sont les **concentrations maximales** pour une exposition en extérieur. Cette hypothèse est sécuritaire.

Les concentrations retenues pour chaque usage sont présentées au tableau 2. Le détail est présenté en Annexe 1.

ANTEA GROUP
 COMMUNAUTE URBAINE DE BORDEAUX
 Dépollution du centre de recyclage à Bassens (33) – Analyse des risques résiduels liée à la présence de terres
 résiduelles dans les cuves n°3, 6 et 10 - Rapport A72342/A

Résultats terres	substance retenue	Concentrations retenues USAGE EXTERIEUR
		concentrations maximales pour les cuves 3, 6 et 10
		TPH: cuves 3, 6 et 10
HCT C5-C10		
aliphatiques C5-C6	c5-c6 non détectés dans le TPH terres pas d'analyse des c5-c6 dans les terres	non retenu
aliphatiques C>6-C8	c>6-c8 non détectés dans le TPH terres pas d'analyse des c>6-c8 dans les terres	non retenu
aliphatiques C>8-C10	c>8-c10 non détectés dans le TPH terres pas d'analyse des c>8-c10 dans les terres	non retenu
aromatiques C>6-C7 (benzène)	c>6-c8 non détectés dans le TPH terres benzène non détecté dans les terres	non retenu
aromatiques C>7-C8 (toluène)	c>6-c8 non détectés dans TPH terres toluène non détecté dans les terres	non retenu
aromatiques C>8-C10	c>8-c10 non détectés dans le TPH terres pas d'analyse des alcanes dans les terres	non retenu
HCT C10-C40		
aliphatiques C>10-C12	c>10-c12 détectés dans le TPH terres analyse c>10-c12 disponible	analyse c>10-c12 retenue avec prise en compte du TPH moyen terres : 92 % d'aliphatiques
aliphatiques C>12-C16	c>12-c16 détecté dans le TPH terres analyse c>12-c16 disponible	analyse c>12-c16 retenue avec prise en compte du TPH moyen terres : 86 % d'aliphatiques
aromatiques C>10-C12	c>10-c12 détectés dans le TPH terres analyse c>10-c12 disponible	analyse c>10-c12 retenue avec prise en compte du TPH moyen terres : 8 % d'aromatiques
aromatiques C>12-C16	c>12-c16 détecté dans le TPH terres analyse c>12-c16 disponible	analyse c>12-c16 retenue avec prise en compte du TPH moyen terres : 14 % d'aromatiques
		c>10-c12 - cuve 3: 680 50 % aliphatiques: 340
		c>12-c16 - cuve 3: 4440 72 % aliphatiques: 3196.8
		c>10-c12 - cuve 3: 680 50 % aromatiques: 340
		c>12-c16 - cuve 3: 4440 28 % aromatiques: 1243.2
BTEX		
benzène	benzène non détecté dans les terres	non retenu
toluène	toluène non détecté dans les terres	non retenu
éthylbenzène	éthylbenzène non détecté dans les terres	non retenu
xylènes	xylènes non détectés dans les terres	non retenu
HAP		
Naphtalène	détecté dans les terres	retenu
Acénaphthylène	détecté dans les terres	retenu
Acénaphthène	détecté dans les terres	retenu
Fluorène	détecté dans les terres	retenu
Phénanthrène	détecté dans les terres	retenu
Anthracène	détecté dans les terres	retenu
Fluoranthène	détecté dans les terres	retenu
Pyrène	détecté dans les terres	retenu
Benzo(a)anthracène	détecté dans les terres	retenu
Chrysène	détecté dans les terres	retenu
Benzo(b)fluoranthène	détecté dans les terres	retenu
Benzo(k)fluoranthène	détecté dans les terres	retenu
Benzo(a)pyrène	détecté dans les terres	retenu
Di benzo(a,h)anthracène	détecté dans les terres	retenu
Benzo(g,h,i)pérylène	détecté dans les terres	retenu
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	détecté dans les terres	retenu
		130
		5
		130
		180
		600
		64
		270
		220
		34
		36
		18
		7
		12
		5
		21
		9

Tableau 3 : Eléments traceurs de risques et concentrations retenus dans les sols au droit
des cuves pour l'ARR (en mg/kg MS)

3.3.3. Vecteurs de transferts

Dans le cadre de cette étude, le seul vecteur de transfert identifié est la **remontée de vapeurs depuis les terres résiduelles vers l'air de la cuve** puis au travers du revêtement de surface vers l'air extérieur (inhalation par des cibles dans l'air extérieur).

Compte tenu de l'absence de sols nus au droit de la zone étudiée (sols résiduels présents dans des cuves couvertes), les voies de transfert par inhalation de poussières (intérieur et extérieur) et ingestion de sol ne sont pas retenues.

3.3.4. Cibles

Les cibles sont constituées par les travailleurs de la déchetterie et le public fréquentant celle-ci. Il s'agit d'usagers adultes.

3.3.5. Scénarios retenus

Au vu des aménagements du site et des vecteurs de transfert identifiés, les scénarii retenus pour les calculs seront les suivants :

- inhalation de vapeurs issues des terres résiduelles des cuves, en extérieur, au droit de la déchetterie.

Le schéma conceptuel du site est présenté sur la figure 1.

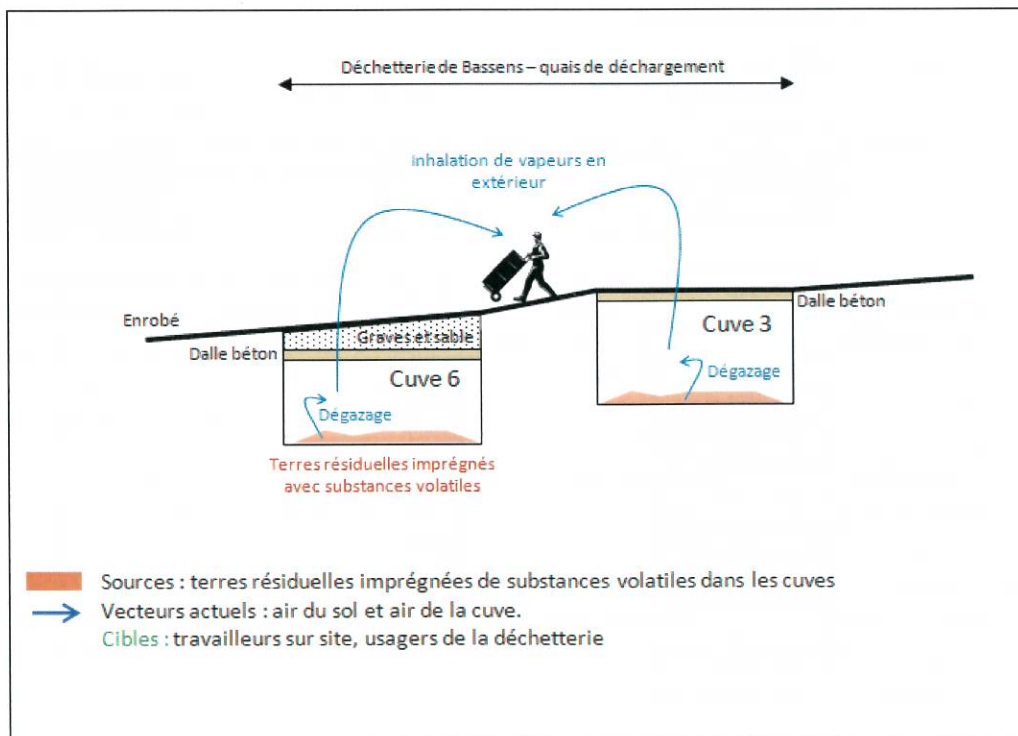


Figure 1 : Schéma conceptuel

3.4. Evaluation des doses-effets pour les substances retenues

Cette étape concerne, d'une part, la description pour les substances en présence, des symptômes pouvant être observés suite à une exposition à court ou à long terme, d'autre part, le choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (V.T.R.). Si ces valeurs n'existent pas réglementairement, elles seront recherchées dans la littérature scientifique. On distingue deux types d'effets : les effets à seuil ou systémiques et les effets sans seuil ou cancérogènes, pour lesquels des VTR différentes sont disponibles.

Le détail de cette étape est présenté en Annexe 3.

3.5. Evaluation des expositions

3.5.1. Estimation des expositions

Les étapes nécessaires au calcul du risque, pour un scénario donné, sont les suivantes :

- Transfert des polluants des sols vers le point d'exposition ; cette première étape permet de calculer la concentration du polluant au point d'exposition ;
- Evaluation de la Dose Journalière d'Exposition (DJE) : celle-ci dépend d'une part, de la concentration au point d'exposition et, d'autre part, du régime d'exposition des individus (taux d'inhalation, durée d'exposition ...).

L'annexe 4 détaille ces deux étapes principales.

3.5.2. Paramètres d'exposition retenus

3.5.2.1. Caractéristiques des sols

Pour la caractérisation des sols, on distingue le sol source (les terres contaminées) et le sol vecteur de transfert (c'est-à-dire la nature du terrain directement sous le revêtement de surface). Dans le cas présent, on considère que la source sol est présente directement sous le revêtement de surface et constitue donc également les sols de transfert. Ces sols sont des remblais et seront assimilés à des « sables » dans les calculs du fait des observations de terrain.

Les sols impactés (source sol) sont supposés directement présents sous le revêtement de surface (dalle béton et/ou remblai) c'est-à-dire à 0,60 m de profondeur au regard des épaisseurs minimales de dalle béton présentes au droit des cuves investiguées.

Le tableau ci-après synthétise les caractéristiques retenues pour les sols de transferts.

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Masse volumique du sol	1,7	T/m ³	Bibliographie
Fraction de carbone organique	0,02		Hypothèse sécuritaire
Perméabilité à l'air	9,91 ^E -12	m ²	Valeur calculée à partir de Johnson et Ettinger pour un sol de type sableux
Teneur en air du sol	0,321	-	Différence entre porosité et teneur en eau pour un sol de type sableux
Teneur en eau du sol	0,054	-	Valeur moyenne du modèle Johnson et Ettinger pour un sol de type sableux

Tableau 4 : Hypothèses de caractérisation des sols de transfert

3.5.2.2. Caractéristiques des lieux d'exposition

Le tableau ci-après présente les hypothèses retenues selon l'aménagement du site.

Les caractéristiques du milieu de transfert peuvent influencer fortement sur les résultats de l'évaluation. Le choix de certains des paramètres pris en compte sera discuté dans l'analyse des incertitudes.

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Longueur de la source	24	m	Longueur hypothétique de voirie au droit des zones des cuves étudiées
Vitesse du vent	3	m/s	Valeur sécuritaire

Tableau 5 : Hypothèses d'aménagement retenues pour le milieu extérieur (voirie)

3.5.2.3. Budget espace/temps

Le tableau suivant présente les hypothèses d'exposition retenues :

- ✓ Adultes : exposition de type « travailleur » retenue. Calcul fait sur la base de 220 jours travaillés par an.

Scénario considéré	Adultes	Enfants (0-6 ans)
Exposition en milieu extérieur (voirie)	8 heure par jour, 220 jours par an soit 73 j/an pendant 40 ans	Non concernés

NB : les jours mentionnés dans le tableau correspondent à des jours de 24H.

Tableau 6 : Hypothèses d'exposition retenues pour chaque scénario

L'apport de déchets par le public adulte ne fera pas l'objet de calculs de risque dans la mesure où la présence du personnel d'exploitation de la déchetterie est majorante d'un point de vue sanitaire. En effet, le personnel d'exploitation est exposé sur une durée journalière plus importante que le transporteur ou le public.

3.6. Evaluation et caractérisation des risques

3.6.1. Règle de cumul des effets entre voies et substances

Les niveaux de risques sont calculés en pratiquant l'additivité des risques selon les règles de l'art en la matière. Le cumul des effets entre substances sera traduit par la sommation des Quotients de Danger ou des Excès de Risques Individuels, selon les règles suivantes :

- pour les effets à seuil : addition des Quotients de Danger pour l'ensemble des substances sans distinction des organes cibles dans une première approche sécuritaire ;
- pour les effets sans seuil : addition de tous les Excès de Risque Individuel.

3.6.2. Résultats des calculs des risques sanitaires

Les tableaux suivants présentent la somme des Quotients de Danger (QD) et des Excès de Risques Individuels relatifs aux usages retenus.

Pour les effets à seuil, un Quotient de Danger (QD) est calculé en faisant le rapport entre la Dose Journalière d'Exposition (DJE) et la Valeur Toxicologique de Référence pour la voie considérée.

Selon le référentiel de l'INERIS, un QD inférieur à 1 (seuil préconisé) conduit à ce que la survenue d'un effet à seuil apparaît peu probable y compris pour les populations sensibles.

Pour les effets sans seuil, un Excès de Risque Individuel (ERI) est calculé en multipliant la DJE (pour les effets sans seuil) avec l'Excès de Risque Unitaire.

Selon le référentiel de l'INERIS, un ERI inférieur à 10^{-5} (seuil préconisé) conduit à ce que la survenue d'un effet sans seuil apparaît peu probable y compris pour les populations sensibles.

L'évaluation montre (cf. tableaux 6 et 7):

- Un niveau de risque inférieur aux critères sanitaires en vigueur, pour les risques toxiques : $QD < 1$,
- Un niveau de risque inférieur aux critères sanitaires en vigueur pour les risques cancérigènes (Excès de Risque Individuel) : $ERI < 1.10^{-5}$.

Substances ERI Adultes	inhalation vapeur extérieur
Acénaphthène (Sol)	3.37E-09
Acénaphthylène (Sol)	1.27E-10
Anthracène (Sol)	1.03E-09
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	2.05E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	3.52E-14
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	2.80E-13
Benzo(a)Anthracène (Sol)	1.02E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	8.20E-13
Chrysène (Sol)	1.82E-13
Dibenzo(a,h) Anthracène (Sol)	1.17E-13
Fluoranthène (Sol)	2.25E-11
Fluorène (Sol)	1.88E-09
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	2.55E-14
Naphthalène (Sol)	1.63E-06
Phénanthrène (Sol)	7.20E-10
Pyrène (Sol)	1.18E-11
Somme	1.64E-06
Seuil réglementaire	1.00E-05

Tableau 7 : Excès de Risques Individuels

substances QD Adultes	inhalation vapeur extérieur
Aliphatique C>10-C12 (Sol)	5.86E-03
Aliphatique C>12-C16 (Sol)	5.23E-04
Aromatiques>10-12 (Sol)	6.80E-03
Aromatiques>12-16 (Sol)	2.21E-03
Naphthalène (Sol)	2.79E-02
Somme	4.33E-02
Seuil réglementaire	1

Tableau 8 : Quotient de Danger

A titre de comparaison, les calculs ont été menés également en utilisant d'autres hypothèses ; les résultats sont présentés et discutés dans le paragraphe « discussion des incertitudes ».

3.7. Discussion sur les calculs de risques

3.7.1. Incertitudes sur l'échantillonnage et l'analyse

Les analyses sur les terres utilisées pour les calculs de risques sont issues des prélèvements de contrôle de la qualité des terres en fond des cuves menées par Antea Group en juillet 2013.

Les sondages ont été réalisés en fond de cuve, au niveau de la frange imprégnée des tas présents dans les cuves et ayant été en contact avec les résidus pâteux de fioul, avant dépollution des cuves. Un point de prélèvement a été réalisé par cuve avec recherche en laboratoire des éléments traceurs de risque identifiés au travers de l'historique du site (cuves contenant du fioul) et du diagnostic déjà réalisé. Toutefois on ne peut pas exclure la présence de teneurs plus importantes dans la mesure où l'échantillonnage ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu étudié.

3.7.2. Définition des cibles et usages

Nous avons réalisés les calculs de risques sur la base des aménagements présents au droit du site et qui resteront inchangés soit un usage de déchetterie. Les cuves 3, 6 et 10 se trouvent au droit des zones de quai de déchargement qui ont été assimilées à des voiries. Les bureaux présents sur site ne sont pas implantés au droit des cuves et n'ont donc pas été retenus pour le choix des usages.

On notera que dans un souci de simplification, et en hypothèse pénalisante, certains scénarii n'ont pas été étudiés :

- Exposition du public adulte lors des déchargements : temps d'exposition plus faibles que les travailleurs sur site.

Si des usages autres que ceux décrits étaient envisagés au droit du site, une nouvelle analyse des risques sanitaires devrait être réalisée pour vérifier la compatibilité des nouveaux usages considérés.

3.7.3. Choix des milieux source

Les calculs ont été réalisés à partir des données des investigations sur les terres de juillet 2013.

Les terres résiduelles présentes dans les cuves ont été considérées affleurantes sous la dalle béton présente au toit de la cuve, en surface de la déchetterie. En réalité, les terres imprégnées sont situées en fond de cuve sur une épaisseur de 20 cm environ et le reste de la cuve est vide (zone de transfert). Cette hypothèse suppose donc un équilibre des concentrations de l'air du sol et de l'air de la cuve et peut entraîner une sous ou sur estimation du risque qu'il n'est pas possible de compenser ni d'estimer par des calculs en l'absence de données sur la qualité de l'air ambiant dans les cuves.

Il n'a pas été réalisé de mesure de qualité de l'air ambiant dans les cuves.

3.7.4. Incertitudes liées aux choix des substances et teneurs retenues

3.7.4.1. Choix des substances

Nous avons retenu l'ensemble des substances détectées dans les sols pour lesquelles nous disposons de données toxicologiques.

Compte tenu des dispositions constructives (recouvrement total des cuves), les métaux n'ont pas été retenus dans les calculs. En ce qui concerne le mercure, en l'absence de données sur la nature précise de ce dernier (présence ou absence de part sous forme volatile), celui-ci a été pris en compte comme non volatil ce qui pourrait entraîner une sous-estimation du risque dans le cas contraire.

Afin de tester la sensibilité de ce choix, nous avons réalisé un calcul pour la voie inhalation de vapeur en extérieur au dessus des cuves en considérant que 100 % du mercure en présence se trouvait sous forme volatile. Cette hypothèse est sécuritaire.

La concentration en mercure volatile retenue est donc de 39 mg/kg MS (100 % de la concentration maximale observée : terres de la cuve 10). Les résultats sont présentés ci-après (QD et ERI calculés pour l'ensemble des substances dont le mercure volatil).

Test de sensibilité	ERI adulte	QD adulte
Calcul initial	$1,64.10^{-6}$	$4,33.10^{-2}$
Calcul avec 100 % du mercure sous forme volatile	$1,64.10^{-6}$	$6,92.10^{-2}$
Seuil réglementaire	10^0	1

Tableau 9 : Test de sensibilité – prise en compte du mercure sous forme volatile

Les conclusions en termes d'acceptabilité ne sont pas modifiées.

En ce qui concerne les hydrocarbures, les analyses TPH-WG ont pu être utilisées pour définir les répartitions aromatiques/aliphatiques moyennes des sols au droit des cuves.

On notera qu'en l'absence d'analyses portant sur les alcanes volatils (hydrocarbures C5-C10), une comparaison a été faite sur la base du TPH-WG (présence/absence). On rappelle toutefois que l'analyse TPH-WG ne fournit pas des données quantitatives mais des indices de répartitions des fractions. Cette démarche a été réalisée à titre sécuritaire mais peut entraîner une sous estimation du risque qu'il n'est pas possible de compenser ni d'estimer par des calculs en l'absence de données analytiques quantitatives.

3.7.4.2. Concentrations retenues

Pour les sols, nous avons retenu dans les calculs uniquement, les sols restant en place dans les cuves n°3, 6 et 10.

Sur cette base, les concentrations dans les sols retenues sont les concentrations maximales pour le scénario d'exposition en extérieur. Cette hypothèse est sécuritaire dans la mesure où généralement, pour un scénario en extérieur, les concentrations moyennes sont retenues.

3.7.5. Choix des paramètres d'exposition

De manière générale, les paramètres d'exposition peuvent avoir une influence non négligeable sur les résultats. Aussi, si des aménagements ou dispositions autres que ceux décrits étaient envisagés au droit du site, une nouvelle analyse des risques sanitaires devrait être réalisée pour vérifier la compatibilité des nouveaux paramètres considérés.

3.8. Conclusions de l'ARR

Sur la base des analyses de sols disponibles en fond des cuves n°3, 6 et 10 issues des prélèvements réalisés par Antea Group en juillet 2013, des hypothèses retenues et des aménagements existants (quais de déchargement au droit des cuves), les calculs de risques mis en œuvre montrent que les aménagements existants au droit des cuves (quais) sont compatibles avec l'état des terres résiduelles présentes dans les cuves précitées.