

Rapport final de fin de travaux

Ancienne fonderie de Saulnières (28)

Novembre 2014

A 77782/B



Préparé pour :



AGGLO DU PAYS DE DREUX

4 rue de Châteaudun
BP 20159
28103 Dreux Cedex

Préparé par :



**Agence Paris Centre Normandie
Equipe Sites et Sols Pollués**

Implantation d'Orléans
ZAC du Moulin
803 boulevard Duhamel du Monceau
CS 30602 - 45166 OLIVET Cedex
Tél. : 02 38 23 22 20

Sommaire

	Pages
1. Introduction.....	4
2. Présentation du site	4
2.1. Contexte géographique	4
2.2. Projet d'aménagement.....	7
2.3. Rappel - Contexte géologique	7
2.4. Impacts identifiés.....	8
2.4.1. Etudes réalisées sur le site	8
2.4.2. Synthèse des résultats.....	9
3. Bilan technico-économique	10
3.1. Description technique détaillée des travaux réalisés	10
3.2. Analyse des écarts entre les travaux prévus et ceux réellement effectués.....	11
3.3. Récapitulatif des filières autorisées de traitement et/ou de stockage	11
3.4. La surface dépolluée	12
3.5. Justification des dépenses engagées et montant de la charge foncière finale .	12
4. Planning des opérations de dépollution.....	12
5. Analyses des risques résiduels.....	13
5.1. Méthodologie	13
5.1.1. Les moyens.....	13
5.1.2. Le concept	13
5.2. Identification des sources de danger, des vecteurs et des cibles	14
5.2.1. Identification des sources de danger	14
5.2.2. Description des voies d'exposition non retenues	15
5.2.3. Description des scénarios retenus et voies d'exposition	15
5.2.4. Cibles	16
5.2.5. Scénarii d'exposition retenus	17
5.3. Choix des substances et concentrations retenues.....	18
5.3.1. Méthodologie de sélection des substances	18
5.3.2. Choix des substances	18
5.3.3. Synthèse des données.....	19
5.4. Autres paramètres de calcul	21
5.4.1. Caractéristiques des sols	21
5.4.2. Profondeur des sources :	21
5.4.3. Caractéristiques des aménagements	21
5.4.4. Paramètres physiques	22
5.4.5. Paramètres pour la consommation de végétaux	23
5.5. Relation dose / effets pour les substances	23
5.6. Evaluation des expositions	24
5.6.1. Préambule	24
5.6.2. Transfert de pollution	24
5.6.3. Calcul de la concentration moyenne inhalée au point d'exposition.....	25

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

5.6.4.	Calcul de l'exposition et des risques	25
5.7.	Caractérisation des risques.....	26
5.7.1.	Résultats des calculs.....	26
5.8.	Incertitudes	27
5.8.1.	Incertitudes portant sur la définition des cibles et des usages.....	27
5.8.2.	Incertitudes liées aux Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	27
6.	Conclusion	28

Liste des figures

Figure 1 :	Localisation du site sur fond de plan IGN.....	5
Figure 2 :	Plan parcellaire du site (Extrait feuille 000D02 de la commune de Saulnières) .	6
Figure 3 :	Localisation du site sur photo aérienne avant démolition	6
Figure 4 :	Schéma de l'usage futur du site.....	7
Figure 5 :	Extrait de la carte géologique du secteur d'étude	8

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Description des zones de travaux.....	10
Tableau 2 :	Bilan des quantités réalisés avant et après travaux.....	11
Tableau 3 :	Durées d'exposition.....	16
Tableau 4 :	Temps de présence en intérieur et en extérieur.....	16
Tableau 5 :	Taux d'exposition pour les différents scénarios.....	17
Tableau 6 :	Valeurs pour la prise en compte des métaux.....	19
Tableau 7 :	Synthèse des valeurs retenues dans les sols pour les calculs de risques – Scenario 1	20
Tableau 8 :	Synthèse des valeurs retenues dans les sols pour les calculs de risques – Scenario 2	20
Tableau 9 :	Essais granulométriques et type de sol.....	21
Tableau 10 :	Caractéristiques du sous-sol.....	21
Tableau 11 :	Profondeur des sources retenues	21
Tableau 12 :	Caractéristiques des aménagements	22
Tableau 13 :	Paramètres physiques des modèles.....	22
Tableau 14 :	Paramètres d'exposition liés à la consommation de végétaux.....	23
Tableau 15 :	Modèle de calcul par voie d'exposition.....	24
Tableau 16 :	Synthèse des risques totaux calculés	26

Liste des annexes

Annexe 1 :	Photographies des travaux
Annexe 2 :	Plan du site – Localisation des travaux
Annexe 3 :	Rapport d'exécution – ORTEC
Annexe 4 :	Annexe financière et justificatifs
Annexe 5 :	Détail des coûts et charge foncière
Annexe 6 :	Bordereaux d'analyse et localisation des sondages Antea Group
Annexe 7 :	Procédures de choix des VTR et paramètres toxicologiques et physico-chimiques
Annexe 8 :	Formules de transfert mises en œuvre dans les différents modèles
Annexe 9 :	Feuilles de calculs de risques et hypothèses de travail
Annexe 10 :	Résultats des calculs de risques

1. Introduction

Dans le cadre de sa politique de reconquête des espaces industriels dégradés et des friches, l'Agglo du Pays de Dreux a racheté en 2008 un site, localisé à Saulnières (28) et anciennement occupé par la SARL Fonderies Techniques de Saulnières, dans l'objectif d'en opérer sa reconversion et son changement d'usage : passage d'un usage industriel en un usage d'habitat et jardin / espaces publics.

L'Agglo du Pays de Dreux a missionné Antea Group pour une prestation d'assistance à maîtrise d'ouvrage puis de maîtrise d'œuvre, pour des travaux de démolition des bâtiments et de dépollution.

Elle a sollicité Antea Group en fin de mission, afin de répondre à la demande de l'ADEME : réaliser un rapport de fin de travaux, avec les données suivantes :

- un bilan technico-économique de la dépollution ;
- un planning de la réalisation des opérations de dépollution ;
- une analyse des risques résiduels (ARR) après travaux ;
- un rapport de recollement.

Le présent rapport répond à cette demande.

2. Présentation du site

2.1. Contexte géographique

Le site de l'ancienne fonderie des Fonderies Techniques de Saulnières se situe sur le territoire communal de Saulnières (28). Sa localisation géographique est présentée sur fond de plan IGN en Figure 1, sur fond de plan cadastral en Figure 2 et sur vue aérienne en Figure 3.

L'entourage immédiat du site est constitué :

- au nord-ouest, par un habitat individuel ;
- au nord-est, par des parcelles cultivées et une zone boisée, longeant la vallée de la Blaise ;
- à l'Est, par des parcelles cultivées ;
- au Sud, par le site dit du Relais, puis par des parcelles cultivées ;
- à l'Ouest par des parcelles cultivées et un habitat individuel.

Le site se trouve en fond de vallée, de part sa proximité immédiate avec la Blaise, avec une topographie descendante vers la rivière. La Blaise traverse d'ailleurs la partie Est du site en s'écoulant vers le Nord.

L'altitude moyenne du terrain est de 120 m NGF.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
A 77782/B*

Les coordonnées Lambert II carto du centre du site sont :

- X : 521 700 m ;
- Y : 2 407 250 m.

La surface du site est de 44 000 m².

Le site occupe les parcelles n° 570, 601, 600, 328, 325, 324, 323 et 322 de la feuille 000D02 et est composé de deux parties, coupées par la route (exclue des travaux).

La commune de Saulnières est soumise à un PLU, approuvé le 30 novembre 2007, modifié le 1^{er} juin 2012 et en décembre 2013.

Le site étudié est concerné principalement par les zones 1AUCi, et pour une surface moindre, par la zone UBi. La zone 1AUCi correspond à des espaces soumis à des risques d'inondations. Elle est incluse dans la zone 1AUC, correspondant à des espaces du centre du village, actuellement à l'état de friches industrielles. La zone 1AUC est destinée à un réaménagement pour créer une opération type « cœur de village ».

Cette opération doit globalement permettre d'associer trois types de réalisation :

- une association de bâtiments anciens réhabilités ou restructurés avec des constructions neuves ;
- un groupement d'habitat individuel et groupé ;
- un jardin public.

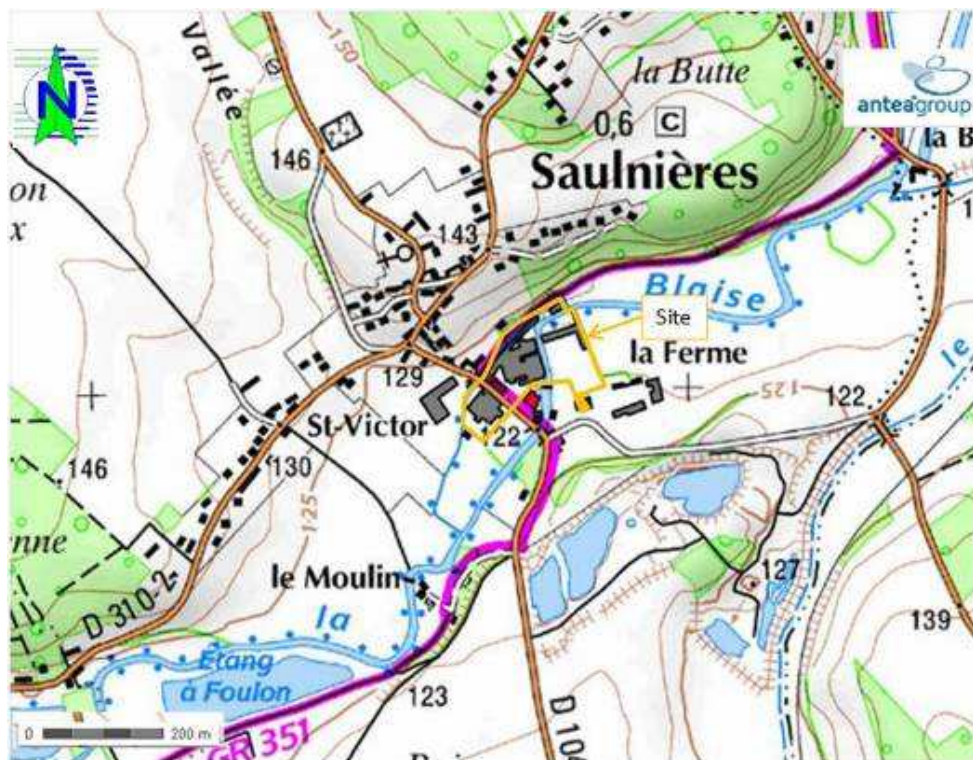


Figure 1 : Localisation du site sur fond de plan IGN

AGGLO DU PAYS DE DREUX
Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
A 77782/B

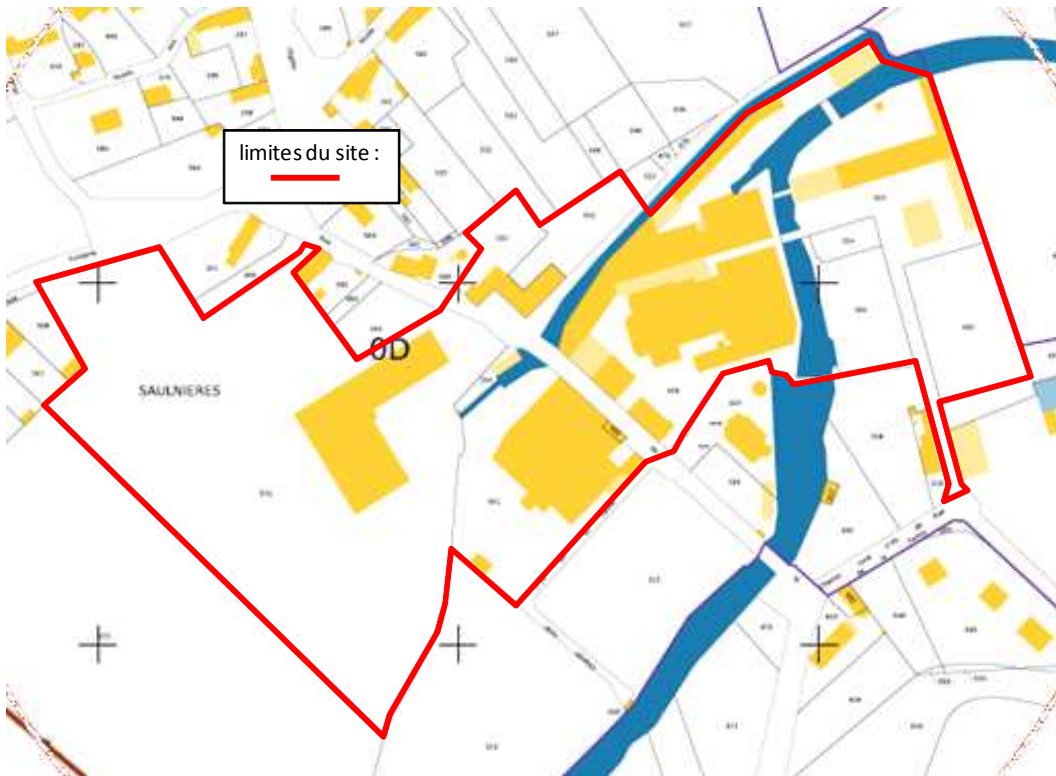


Figure 2 : Plan parcellaire du site (Extrait feuille 000D02 de la commune de Saulnières)



Figure 3 : Localisation du site sur photo aérienne avant démolition

2.2. Projet d'aménagement

L'Agglo du Pays de Dreux a pour projet de procéder à une reconversion de site de manière à lui donner un usage de jardin public d'une part, et un usage d'habitat, d'autre part.

Sur la base du projet d'aménagement du site, adapté à la qualité du sous-sol reconnue par les investigations de sol, la cartographie de l'usage futur du site est présentée en Figure 4.



Figure 4 : Schéma de l'usage futur du site

Ce schéma d'aménagement est composé de 2 zones :

- une zone (sur la partie Nord-est) destinée à l'aménagement d'un jardin public ;
- une zone (sur la partie centrale et sud-ouest) destinée à un usage de type habitation, avec pour la partie située au Nord de la route, la réhabilitation des bâtiments existants avec usage de potagers .

Le site a fait dans un premier temps l'objet d'un marché concernant le désamiantage, le déplombage et la démolition des bâtiments du site.

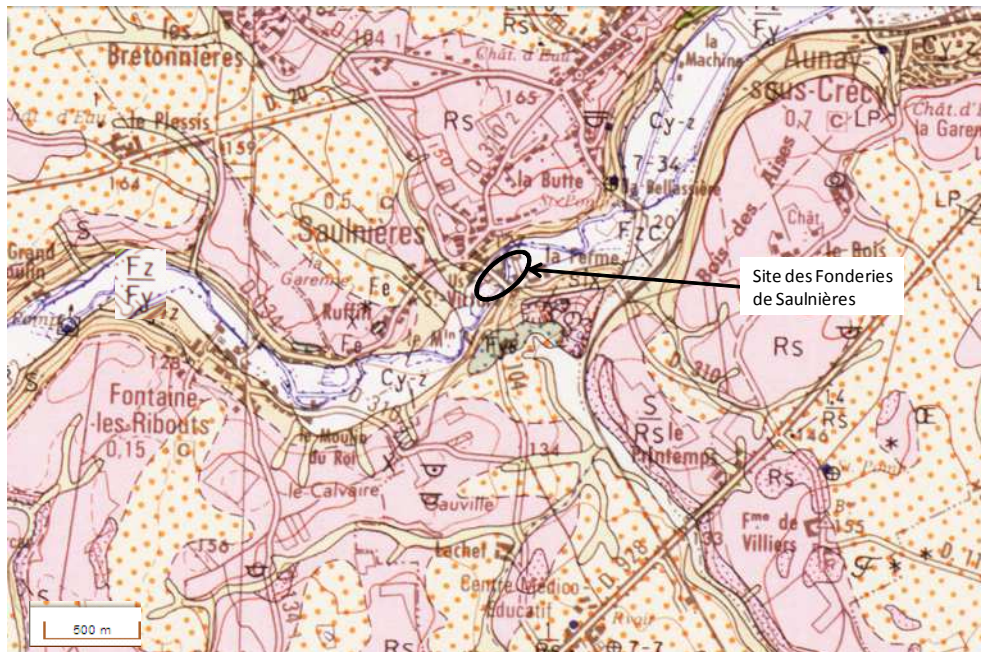
2.3. Rappel - Contexte géologique

Selon les données de l'étude géologique présentée dans le rapport Arcadis 215.08.0044 d'avril 2009 (issues de la base de données du sous-sol), le site présente une

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
A 77782/B

couverture alluviale de 0 à 5 m de profondeur. Elle recouvre des argiles à silex, présentes jusqu'à 10 m de profondeur, puis la craie (Figure 5).



: colluvions indifférenciées de bas versant (argile à silex) (Holocène)



: alluvions de fond de vallée (Holocène)

Figure 5 : Extrait de la carte géologique du secteur d'étude

2.4. Impacts identifiés

2.4.1. Etudes réalisées sur le site

Plusieurs études environnementales (investigations sur les sols, les sédiments, les eaux de surface, les eaux souterraines et les gaz du sol) ont été réalisées sur ce site :

- Bilan environnemental du site – SARL Fonderies Techniques de Saulnières (28) : étude historique et documentaire – Octobre 2006 – Rapport ANTEA A 43585/A ;
- Fonderies techniques de Saulnières (28) – Diagnostic de pollution – Avril 2009 - Rapport Arcadis 215.08.0044 ;
- Diagnostic complémentaire et plan de gestion – Ancien site industriel des Fonderies techniques de Saulnières – Mars 2011 - Rapport Géotec 2010/106821/ORLNS ;
- Rapport de fin de travaux – Dépollution et mise en sécurité du site des anciennes fonderies techniques de Saulnières – Avril 2011 – 2 rapports GRS Valtech n° R10T182

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

version 01 : Lot1 – Collecte et retrait des polluants usagers – Lot 2 – Retrait et traitement des sables de Fonderie ;

- Extrait du dossier de cessation d'activité – Fonderies techniques de Saulnières – Site de Saulnières (28) – Mars 2012 – Rapport Antea Group A 66117/A ;
- Etude d'Avant-projet – Anciens sites de la Fonderie et du Relais – Site de Saulnières (28) – Février 2012 – Rapport Antea Group A 70750/A ;
- Dossier de cessation d'activité – SARL Fonderies techniques de Saulnières – Site de Saulnières (28) – Août 2012 – Rapport Antea Group A 69867/A.

2.4.2. Synthèse des résultats

Les différentes études ont mis en évidence :

- pour **les sources** :
 - o la présence de trois spots en hydrocarbures et d'un spot en plomb, devant faire l'objet d'une excavation et de ce fait, non pris en compte dans les calculs sanitaires ;
 - o des anomalies de concentration en mercure par rapport à la CMA inhalation de gaz du sol ;
 - o des anomalies de concentration en HCT, plomb, antimoine, mercure, dioxines et furanes, par rapport à la CMA inhalation de poussières, ingestion de poussières et ingestion accidentelle de sol.
- pour **les vecteurs** :
 - o l'inhalation de gaz ;
 - o l'ingestion de sol et l'inhalation de poussières.
- pour **les cibles** :
 - o les personnes présentes sur le futur site aménagé (enfants et adultes).

D'après l'EQRS menée en août 2012, les sources induisent :

- des risques sanitaires inacceptables pour la voie d'exposition par inhalation de vapeurs, générés par le mercure ;
- des risques sanitaires inacceptables, pour les HCT, le plomb, l'antimoine, le mercure, les dioxines et les furanes, vis-à-vis des expositions par inhalation de poussières, ingestion de sol et de poussières.

Les études montrent aussi :

- que les substances détectées dans le sol génèrent également une contrainte en cas de terrassement et d'évacuation des sols. La ré-utilisation ou l'élimination de ceux-ci devra s'effectuer sous certaines conditions et dans des centres filières adaptées ;
- que des précautions seront à prendre du fait du caractère agressif de l'eau de la nappe sur les bétons.

3. Bilan technico-économique

3.1. Description technique détaillée des travaux réalisés

La dépollution du site, mise en œuvre pour rendre le site compatible avec les usages futurs (logements, jardins, espaces verts, etc...), a consisté en des travaux d'excavation, de terrassement et de remblaiement.

Le Tableau 1 reprend les travaux effectués pour chaque zone définie. L'Annexe 1 et l'**Annexe 2** présente respectivement des photographies prises pendant les travaux et le plan du site avec les différentes zones faisant l'objet des travaux. Le rapport d'ORTEC (**Annexe 3**) détaille les différents travaux.

Dénomination	Travaux
Zone A	Excavation sur 30 cm pour élimination des terres en filière agréée. Remblaiement sur 30 cm avec de la terre inerte (mise en place au préalable de 10 cm de sable de fonderie sous la terre de remblaiement)
Zone B	Excavation sur 30 cm pour élimination en filière agréée puis remblaiement de 30 cm avec de la terre inerte
Zone C	
Zones D et D'	Mise en place au préalable sur la zone D, de 10 cm de sable de fonderie. Recouvrement de 30 cm avec de la terre saine d'apport extérieur (pour 20 cm) et de la terre provenant de la zone F (pour le complément), compatible avec un usage de type jardin public
Zone G	Mise en place au préalable de 10 cm de sable de fonderie. Remblaiement pour retrouver le niveau initial avec de la terre provenant de la zone F
HCT-A	Recherche, analyses, excavation et évacuation en filière agréée. Puis remblaiement avec de la terre provenant de la zone F jusqu'à une profondeur de -30 cm/sol puis avec de la terre inerte d'apport extérieur
HCT -B	
HCT -C	
HCT -D	
Spot Mercure	
Spot Plomb	
Zone F	Excavation de 1 892 m ³ de terre de la zone F pour une réutilisation sur le site en remblaiement – Finition des talus
Zones J1 à J5	Mise en place de merlons de 70 cm de haut avec de la terre végétale, au droit de futurs potagers
Zone E	Mise en place de 10 cm de sable de fonderie, puis de 30 cm de terre végétale, et d'un ajout de 40 cm de terre végétale supplémentaire sur l'emprise de chaque futur potager. Sur les zones de voiries et l'interzone, le remblai est constitué de 20 cm de terre végétale et de 10 cm de terre provenant de la zone F.
Cuve de fuel	Découverte sur le site. Pompage du fioul puis retrait de la cuve et curage des terres impactées autour de la cuve (avec prélèvements de parois et fonds de fouille).

AGGLO DU PAYS DE DREUX
Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
 A 77782/B

Tableau 1 : Description des zones de travaux

3.2. Analyse des écarts entre les travaux prévus et ceux réellement effectués

Le Tableau 2 présente, pour chaque type de travaux identifié dans le dossier technique déposé à l'ADEME en mars 2012, une comparaison entre :

- les quantitatifs initialement prévus et présentés dans le rapport Antea Group A 66117/A déposé à l'ADEME en mars 2012 ;
- et les quantitatifs réellement réalisés.

	Travaux	Quantités initiales prévues (dossier ADEME) mars 2012	Quantités réalisées
Traitement sur site	Terrassement	-	5 100 m ³
	Confinement par couverture de terre végétale	11 065 m ³	9 885 m ³
	Réemploi sous voirie et espace vert	-	3 150 m ³
Traitement hors site	Terrassement	10 505 t	1 702,95 t
	Transport	10 505 t	1 702,95 t
	ISDD / ISDND	10 505 t	411,38 t
	ISDI	non prévu	1 292 t

Tableau 2 : Bilan des quantités réalisés avant et après travaux

Les écarts constatés entre les quantités initiales et celles réalisées sont notamment dus au changement de projet intervenu après le dépôt du dossier à l'ADEME.

En effet, au moment du dépôt du dossier, l'agglomération n'avait pas connaissance des prescriptions de l'Etat (Police de l'Eau) sur la méthodologie de dépollution et les futurs aménagements projetés, du fait du risque d'inondation grevant le site.

La réalisation d'un Dossier Loi Sur l'Eau (régime de déclaration) a été nécessaire. Dans ce cadre, un nombre limité de délais et remblais ont été autorisés, nécessitant que l'agglomération revoie sa copie initiale pour maintenir une capacité de rétention d'eau et respecter le lit d'expansion de la rivière Blaise en cas de crue.

Par ailleurs, cette adaptation est plus réaliste quand aux coûts de dépollution coûts engendrés par le premier projet. La partie Est du site sera ainsi réaménagée en espace vert. Ce changement d'usage a ainsi permis de limiter les excavations et évacuations des terres hors site privilégiant ainsi la réutilisation sur site.

3.3. Récapitulatif des filières autorisées de traitement et/ou de stockage

Les excavations ont été dirigées vers 3 filières différentes selon la nature des terres et la nature et la quantité des polluants présents.

Ainsi, une partie des terres excavées ont été évacuées :

- vers le centre ISDI de Flonville (28) - 1 292 tonnes ;
- vers l'ISDD EMTA à Issou (78) – 26,18 tonnes ;
- vers le Biocentre EMTA à Issou (78) – 331,6 tonnes ;
- vers le centre de revalorisation SONOLUB – 53,6 tonnes.

Les tonnages présentés ici constituent un récapitulatif basé sur les BSD présentés en Annexe 8 et en annexe 14 du rapport de fin de travaux du prestataire (cf. Rapport en **Annexe 3**).

3.4. La surface dépolluée

La surface finalement dépolluée est de 29 035 m². Elle est présentée en **Annexe 2**. Ce plan reprend également les différentes zones ayant fait l'objet de travaux.

3.5. Justification des dépenses engagées et montant de la charge foncière finale

Les **Annexe 4** et **Annexe 5** présentent respectivement les justifications des dépenses engagées et le montant de la charge foncière finale.

4. Planning des opérations de dépollution

Le planning de réalisation des travaux réalisé par le prestataire (OGD ORTEC) est présenté en Annexe 7 du rapport de fin de travaux du prestataire (rapport en **Annexe 3**).

5. Analyses des risques résiduels

5.1. Méthodologie

5.1.1. Les moyens

L'évaluation porte sur les risques sanitaires liés à une **exposition chronique** des futurs usagers aux substances à impact potentiel reconnues lors des diagnostics environnementaux.

L'ARR est réalisée à l'aide de SANTEA, feuille de calcul mise au point par Antea Group en 2004. Cette feuille de calcul n'est pas un logiciel en soi, dans le sens où elle ne propose pas de nouvelles équations mais se base uniquement sur des équations issues d'autres modèles.

Il s'agit plus exactement d'une feuille de calcul sécurisée¹, intégrant les codes de calcul des modèles de calculs reconnus internationalement, tels que : RBCA, HESP, VOLASOIL, JOHNSON & ETTINGER, etc ...

Ces modèles, et les critères sanitaires qui les accompagnent, sont largement reconnus à l'échelle internationale. Ils permettent le calcul, d'une part, des concentrations aux points d'exposition et, d'autre part, des concentrations moyennes inhalées (CI_{moy}) par les futurs usagers du site.

5.1.2. Le concept

L'évaluation des risques pour la santé humaine repose sur le concept « sources-vecteurs-cibles » :

- 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.

Pour un scénario donné, le risque par substance est obtenu en procédant au calcul du Quotient de Danger (QD pour les risques toxiques) et de l'excès de risque individuel (ERI pour les risques cancérigènes) et en comparant les résultats obtenus aux critères sanitaires en vigueur. Ces derniers sont fournis par la circulaire ministérielle du 8 février 2007 :

$$\begin{aligned} QD &< 1 \\ ERI &< 1.10^{-5} \end{aligned}$$

¹ SANTEA est sécurisée car la saisie des paramètres de calcul est étroitement cadrée et les utilisateurs habilités par Antea Group n'ont accès ni aux équations ni aux VTR, ce qui limite fortement les erreurs de calcul.

AGGLO DU PAYS DE DREUX*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)*

A 77782/B

On retiendra 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 concentration moyenne inhalée (modèle d'exposition) et le calcul des risques sanitaires (QD pour les risques toxiques et ERI pour les risques cancérogènes).

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.

S'agissant de risques liés à l'exposition par inhalation de vapeurs, ceux-ci sont calculés à partir de teneurs mesurées dans les sols et l'air du sol.

Les paragraphes qui suivent détaillent les 4 étapes de l'ARR :

- identification des sources de dangers, des vecteurs et des cibles,
- relations « dose-effets » pour les substances retenues,
- évaluation des expositions,
- évaluation et caractérisation des risques.

Les incertitudes affectant cette évaluation seront discutées au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

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

5.2.1. Identification des sources de danger

Les calculs de risques résiduels sont réalisés sur la base des analyses :

- réalisées par Antea Group après les travaux de dépollution ;
- réalisées par OGD ORTEC, pour les substances volatiles, sur les bords et fond de fouille des spots de pollution ayant fait l'objet d'une purge.

Les investigations après travaux réalisées par Antea Group ont consisté en la réalisation de 8 prélèvements et analyses sur les sols de surface afin de vérifier leur qualité (localisation en **Annexe 6**). Ces prélèvements ont été répartis au droit du futur lotissement (S1, S2, S5 et S7) et du futur espace vert (S3, S4, S6 et S8). Les sondages S1, S2, S3 et S4 ont donné lieu à des échantillons ponctuels tandis que les échantillons S5, S6, S7 et S8 sont issus de prélèvements composites.

Les analyses ont porté sur les paramètres HCT, HAP et métaux pour les échantillons S1 à S6 et sur les dioxines, furanes et phénols pour les échantillons S7 et S8. Une analyse de granulométrie et des analyses de COT (échantillons S1 à S6) ont également été mises en œuvre afin d'avoir une information sur les caractéristiques du sol.

Concernant les analyses de bords et fond de fouille, les zones HCT-A, HCT-D et zone cuve seront considérées pour le futur lotissement et les zones HCT-B, HCT-C et zone mercure seront considérées pour le futur jardin public.

Les sondages de surface (réalisés après travaux par Antea Group) seront pris en compte dans les calculs de risques pour toutes les voies d'exposition contrairement aux résultats obtenus sur les parois et fond de fouille qui ne seront retenus que pour l'inhalation de vapeur. En effet, les spots de pollution ont été excavés, remblayés et recouverts afin de supprimer tout contact direct avec les futurs usagés.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

Les bordereaux de résultats des analyses réalisées par Antea Group et des analyses réalisées par OGD ORTEC sont fournis en respectivement en Annexe 12 du rapport de fin de travaux du prestataire (**Annexe 3**).

Les concentrations mesurées dans les eaux souterraines lors des études précédentes ne sont pas prises en compte dans cette ARR car l'EQRS initiale avait montré que les teneurs mesurées n'étaient pas à l'origine des risques sanitaires.

5.2.2. Description des voies d'exposition non retenues

Il n'est pas prévu d'utilisation des eaux souterraines au droit du site. L'usage des eaux souterraines pour des usages sensibles tels que l'arrosage et la consommation devra être proscrit.

Les canalisations d'adduction d'eau potable seront implantées hors zones impactées. Le cas échéant, ces dernières seront installées dans un volume de terres saines dont la section sera d'au moins un mètre. Les risques engendrés par l'ingestion d'eau contaminée ne sont donc pas étudiés.

Aucun usage sensible des eaux souterraines n'a été recensé en aval immédiat du site. Les risques vis-à-vis de la ressource en eaux ne sont donc pas étudiés dans le cadre de la présente EQRS.

En outre, les structures construites utiliseront des matériaux adaptés aux caractéristiques physico-chimiques des sols. Les éventuelles influences sur les ouvrages ne sont pas étudiées dans la présente étude.

Les informations relatives à la mise en place de ces différents aménagements devront être conservées dans le temps (sous forme de servitudes). Par ailleurs, il faudra veiller à l'entretien régulier de ces aménagements afin d'assurer la pérennité de la suppression des voies de transfert de contact direct.

Nota : la voie d'exposition par contact cutané n'est plus à considérer selon la nouvelle méthodologie, qui précise (circulaire DGS 2006) : « *en l'absence à ce jour de procédure établie pour la construction d'une VTR pour la voie cutanée, il ne peut être envisagé une transposition pour cette voie à partir de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire* ».

5.2.3. Description des scénarios retenus et voies d'exposition

L'aménagement consiste en la création d'une zone résidentielle pouvant comprendre :

- de l'habitat individuel avec possibilité de jardins potagers mais sans arrosage possible des plantations avec l'eau souterraine prélevée,
- des espaces verts,
- des zones de parking.

Les bâtiments seront construits sans niveau de sous-sol.

Sur la base de ces éléments, la population concernée en termes d'exposition correspond à des adultes et des enfants résidant sur le site.

Les vecteurs de transfert des substances polluantes vers les milieux d'exposition sont :

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

- la volatilisation des substances depuis les sols et la dispersion atmosphérique à l'intérieur de bâtiments (habitat individuel) ou à l'extérieur (jardins, espaces verts, parkings),
- l'ingestion de sols ou l'inhalation de poussières par les futurs usagers du site au droit des jardins,
- l'ingestion ou l'inhalation de poussières par les futurs usagers du site ou par des personnes extérieures au droit des espaces verts,
- l'ingestion de végétaux produits dans les jardins potagers.

5.2.4. Cibles

5.2.4.1. Population cible

La population concernée correspond à une population d'adultes et d'enfants résidant sur le site. Les durées et fréquences d'exposition sont celles utilisées par l'INERIS dans la méthode de calcul des VCI² ou sont estimées dans le cadre du projet.

Conformément aux prescriptions de l'INERIS, l'adulte est caractérisé par un poids de 70 kg, l'enfant est assimilé à un individu d'âge inférieur à 6 ans, ayant un poids moyen de 15 kg.

5.2.4.2. Durées et temps d'exposition des cibles

Les durées et fréquences d'exposition sont présentées dans les 3 tableaux ci-après (Tableau 3, Tableau 4 et Tableau 5).

Scénario	Paramètre	Valeur	Justification
Usage résidentiel	Durée d'exposition adultes	30 ans	Document INERIS
	Durée d'exposition enfants	6 ans	Document INERIS

Tableau 3 : Durées d'exposition

	Exposition	Hiver	Eté	Temps rapporté en jours par an
Résidents sur site	Adultes – Intérieur de l'habitation	14 h – 5 jours sur 7 23 h – 2 jours sur 7	12 h – 7 jours sur 7	217 j/an
	Enfants – Intérieur de l'habitation	23 h – 7 jours sur 7	16 h – 7 jours sur 7	296 j/an
	Adultes – Extérieur de l'habitation	1 h – 7 jours sur 7	3 h – 5 jours sur 7 12 h – 2 jours sur 7	50 j/an
	Enfants – Extérieur de l'habitation	1 h – 7 jours sur 7	8 h – 7 jours sur 7	68 j/an
Résidents hors site	Adultes – Extérieur (espaces verts)	1 h – 7 jours sur 7	1 h – 7 jours sur 7	15 j/an
	Enfants – Extérieur (espaces verts)	1 h – 7 jours sur 7	1 h – 7 jours sur 7	15 j/an

Tableau 4 : Temps de présence en intérieur et en extérieur

Il a été considéré une présence d'1 h par jour (pour un footing quotidien par exemple), pour des personnes extérieures aux futures habitations. Cette durée a été validée par le maître d'ouvrage.

² Méthode de calcul des Valeurs de Constat d'Impact dans les sols. INERIS. Novembre 2001

AGGLO DU PAYS DE DREUX
Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
 A 77782/B

Scénario	Type d'exposition	Paramètre	Valeur	Justification
Scénario 1 Usage résidentiel	Inhalation de vapeurs et de poussières à l'intérieur d'un bâtiment sans sous-sol	Fréquence d'exposition adultes	217 j/an	INERIS
		Fréquence d'exposition enfants	296 j/an	INERIS
	Inhalation de vapeurs à l'extérieur (jardins)	Fréquence d'exposition adultes	50 j/an	INERIS
		Fréquence d'exposition enfants	68 j/an	INERIS
	Inhalation de poussières (jardins)	Fréquence d'exposition adultes	50 j/an	INERIS
		Fréquence d'exposition enfants	68 j/an	INERIS
	Ingestion de sols (jardin potager)	Fréquence d'exposition adultes et enfants	365 j/an	Voie d'exposition qui prend en compte l'évènement par jour (INERIS)
	Consommation de végétaux (jardin potager)	Fréquence d'exposition adultes et enfants	365 j/an	Voie d'exposition qui prend en compte l'évènement par jour (INERIS)
Scénario 2 Usage récréatif des espaces verts pour des personnes extérieures	Inhalation de vapeurs à l'extérieur (espaces verts)	Fréquence d'exposition adultes	15 j/an	INERIS
		Fréquence d'exposition enfants	15 j/an	INERIS
	Inhalation de poussières (espaces verts)	Fréquence d'exposition adultes	15 j/an	INERIS
		Fréquence d'exposition enfants	15 j/an	INERIS
	Ingestion de sols (espaces verts)	Fréquence d'exposition adultes et enfants	365 j/an	Voie d'exposition qui prend en compte l'évènement par jour (INERIS)

Tableau 5 : Taux d'exposition pour les différents scénarios

5.2.5. Scénarii d'exposition retenus

Deux scénarios d'exposition sont retenus dans le cadre des calculs de risques :

- scénario 1 : usage résidentiel pour les habitants de maisons individuelles avec jardins privés, avec possibilité de jardins potagers :
 - inhalation en intérieur de vapeurs issues du sol,
 - inhalation en extérieur au droit des jardins de vapeurs issues du sol,
 - ingestion de sols au droit des jardins et des espaces verts,
 - inhalation de poussières au droit des jardins et des espaces verts,
 - ingestion de légumes auto-produits,

- scénario 2 : usage récréatif des espaces verts pour des personnes extérieures au site :
 - inhalation en intérieur de vapeurs issues du sol,

AGGLO DU PAYS DE DREUX*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)**A 77782/B*

- inhalation au droit des espaces verts de vapeurs issues du sol,
- inhalation de poussières au droit des espaces verts.

Les calculs portant uniquement sur les espaces verts sont nécessaires car les concentrations mesurées sur cette partie du site sont différentes de celles détectées sur la future partie dédiée au logement.

Compte tenu que l'exposition au droit des espaces verts est génératrice de risques plus élevées que celle des parkings, les valeurs de risques sanitaires liées à l'usage des parkings ne sont pas étudiées.

5.3. Choix des substances et concentrations retenues

5.3.1. Méthodologie de sélection des substances

La méthodologie générale de sélection des substances à retenir pour les calculs s'appuie sur les principaux critères de sélection suivants :

- Soit il existe au moins une mesure supérieure à la limite de quantification, auquel cas la substance est retenue pour les calculs de risque (dans la mesure où il existe des données toxicologiques de référence) ; dans ce cas, nous avons systématiquement retenu, les valeurs mesurées les plus fortes, ce qui constitue l'hypothèse la plus sécuritaire ;
- Soit, aucune mesure ne dépasse la limite de quantification, auquel cas la substance est considérée comme non présente dans le sous-sol.

5.3.2. Choix des substances

Le choix des substances à impact potentiel s'est basé sur les résultats des diagnostics présentés au §5.2.1.

La liste des substances ayant fait l'objet d'une recherche lors du diagnostic environnemental est la suivante :

- des Hydrocarbures en C10-C40 (HCT),
- des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP),
- des dioxines et furanes,
- des phénols,
- des métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn).

Cas particuliers :

Concernant les **hydrocarbures**, pour les risques liés à l'inhalation de vapeur, il apparaît que ce sont les fractions les plus légères qui présentent potentiellement le plus de risques. Les fractions les plus significatives en termes de toxicité sont celles comprenant entre 5 et 21 atomes de carbone. Les hydrocarbures dont le nombre d'atomes de carbone est supérieur à 21 ne sont pas pris en compte dans l'évaluation du risque. En effet, selon le volume 4 du document Total Petroleum Hydrocarbons Working Group (1997), les composés en C21-C35 ne sont pas volatils et l'inhalation n'est pas la voie prépondérante d'exposition.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

Le TPHWG (Total Petroleum Hydrocarbons Working Group) fournit des données toxicologiques et physico-chimiques pour les fractions suivantes : C5-C6, C>6-C8, C>8-C10, C>10-C12, C>12-C16.

Concernant les **HAP** et pour les risques liés à la consommation de végétaux autoproduit, seul le benzo(a)pyrène possède un facteur de bioaccumulation fiable et validé dans la littérature. Ainsi, la somme maximale des concentrations mesurées en HAP sera appliquée au benzo(a)pyrène.

Parmi les métaux, seul le **mercure** est retenu pour une exposition par inhalation de vapeurs. Selon la bibliographie, entre 95 et 98 % du mercure total analysé dans les sols serait sous forme non volatile car sous forme complexée inorganique. On considérera par précaution que 5 % du mercure total est volatil.

Concernant les **métaux**, les concentrations mesurées dans les sols sont comparées aux valeurs recommandées par la CIRE région Centre pour la sélection des métaux dans les évaluations de risques sanitaires. Ainsi, seuls les métaux présentant des concentrations mesurées dans les sols supérieures à ces valeurs de références seront pris en compte dans les calculs.

Pour l'**arsenic**, qui ne dispose pas de valeurs recommandées par la CIRE région Centre, seules les concentrations supérieures à la gamme de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires de toutes granulométries (INRA) sont prises en comptes dans les calculs de risques.

Le Tableau 6 présente les valeurs recommandées par la CIRE région Centre et la gamme de valeurs couramment observée dans les sols ordinaires de toutes granulométries (INRA) pour l'arsenic.

Composé	Valeurs recommandées CIRE région Centre	Gamme de valeurs couramment observée dans les sols ordinaires de toutes granulométries
	Concentration en mg/kg	
Arsenic	-	25
Cadmium	0,86	
Chrome	77,7	
Cuivre	29,9	
Mercure	0,19	
Nickel	38,9	
Plomb	54,8	
Zinc	122,6	

Tableau 6 : Valeurs pour la prise en compte des métaux

5.3.3. Synthèse des données

Les concentrations maximales retenues sont présentées dans le Tableau 7 pour le scénario 1 et dans le Tableau 8 pour le scénario 2.

Seules les valeurs retenues dans les calculs de risques sont présentées en gras dans les tableaux suivants.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

A noter que pour les voies d'exposition par ingestion de sol, inhalation de poussières et consommation de végétaux, seuls les échantillons de surface sont retenus.

Scenario 1 : Usage résidentiel	Sondage Antea (surface)		Sondage ORTEC (bord et fond de fouille)	
	Sol	Sondage	Sol	Sondage
	mg/kg MS		mg/kg MS	
Hydrocarbure Totaux (HCT)				
Indice hydrocarbure >C10-C12	<10	LQ	18.2	Zc1
Indice hydrocarbure >C12-C16	<10	LQ		
HAP				
Phénanthrène	0.05	S5	-	-
Fluoranthène (*)	0.15	S5	-	-
Pyrène	0.11	S5	-	-
Benzo(a)anthracène	0.075	S5	-	-
Chrysène	0.088	S5	-	-
Benzo(b)fluoranthène (*)	0.14	S5	-	-
Benzo(k)fluoranthène (*)	0.05	S5	-	-
Benzo(a)pyrène (*)	0.088	S5	-	-
Benzo(ghi)pérylène (*)	0.075	S5	-	-
Indéno(123-cd)pyrène (*)	0.063	S5	-	-

LQ : Limite de Quantification du laboratoire

Tableau 7 : Synthèse des valeurs retenues dans les sols pour les calculs de risques – Scenario 1

Scenario 2 : Usage récréatif	Sondage Antea (surface)		Sondage ORTEC (bord et fond de fouille)	
	Sol	Sondage	Sol	Sondage
	mg/kg MS		mg/kg MS	
Hydrocarbure Totaux (HCT)				
Indice hydrocarbure >C10-C12	<10	LQ	5.76	HCT A-01
Indice hydrocarbure >C12-C16	<10	LQ		
Indice hydrocarbure >C21-C40	12	S6	45	HCT D-01
Métaux				
Mercure (Hg)	<0.1	LQ	0.14	FF 01
Mercure volatil	<0.005	LQ	0.007	FF 01
HAP				
Acénaphthylène	0.037	S3	-	-
Phénanthrène	0.19	S3	-	-
Anthracène	0.062	S3	-	-
Fluoranthène (*)	0.31	S3	-	-
Pyrène	0.21	S3	-	-
Benzo(a)anthracène	0.12	S3	-	-
Chrysène	0.14	S3	-	-
Benzo(b)fluoranthène (*)	0.19	S3	-	-
Benzo(k)fluoranthène (*)	0.074	S3	-	-
Benzo(a)pyrène (*)	0.12	S3	-	-
Benzo(ghi)pérylène (*)	0.099	S3	-	-
Indéno(123-cd)pyrène (*)	0.087	S3	-	-

LQ : Limite de Quantification du laboratoire

Tableau 8 : Synthèse des valeurs retenues dans les sols pour les calculs de risques – Scenario 2

AGGLO DU PAYS DE DREUX
Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
 A 77782/B

5.4. Autres paramètres de calcul

5.4.1. Caractéristiques des sols

Un essai granulométrique a été effectué sur le sol superficiel. Les résultats des essais et le type de sol rencontré sont présentés dans le Tableau 9.

	%
Sable	7%
Limon	63%
Argile	30%
Type de sol	Silt clay loam

Tableau 9 : Essais granulométriques et type de sol

Les échantillons S1 à S6 ont fait l'objet d'analyse en COT. La concentration (5 300 mg/kg) la plus faible a été retenue dans les calculs, ce qui est sécuritaire.

Les caractéristiques de cette typologie de sol sont présentées dans le Tableau 10.

Paramètres	Valeur représentative d'un sol de type Silt clay loam
foc (fraction de carbone organique total)	0.0053
Kv (perméabilité du sol à l'air)	$9.81 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$
Porosité totale selon le modèle	0.482
Teneur en eau du sol (teneur maximale)	0.31
Teneur en air du sol (différence entre porosité et teneur en eau)	0.172

Tableau 10 : Caractéristiques du sous-sol

5.4.2. Profondeur des sources :

Pour la source sol, la profondeur suivante (Tableau 11) a été retenue pour les calculs de risques :

Source	Profondeur	Justification
Sol – Sondage Antea	0,1	Sécuritaire : affleurant sous les aménagements
Sol – Sondage ORTEC	0,3	Affleurant sous le recouvrement

Tableau 11 : Profondeur des sources retenues

5.4.3. Caractéristiques des aménagements

Les caractéristiques retenues pour les bâtiments et les aménagements extérieurs présentés ci-après sont identiques à celles utilisées lors de l'EQRS avant travaux. En l'absence de projet bien défini, les valeurs choisies sont prises par défaut et volontairement sécuritaires.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

Paramètres	Usages futurs	
	Bâtiment	Jardins
Paramètres liés aux caractéristiques du projet d'aménagement envisagé		
Longueur et largeur d'une pièce type RDC	8m x 8m	-
Hauteur du rez de chaussée	2.50 m	-
Epaisseur de dalle béton au RDC	0.2 m	-
Taux de renouvellement d'air (vol/h) pour le RDC	0,8	-
Longueur d'émission de la source	-	50 m

Tableau 12 : Caractéristiques des aménagements

Pour la **longueur et la largeur des pièces**, conformément à une remarque de l'INERIS formulée lors d'une tierce-expertise³, nous utilisons la distance entre deux joints de dilatation. Pour rester dans les plages de valeurs préconisées par JOHNSON ET ETTINGER⁴, nous proposons de choisir une valeur de 8 m.

5.4.4. Paramètres physiques

Les paramètres physiques présentés ci-après sont issus des modèles de calculs.

Scénario	Paramètre	Valeur	Justification
Inhalation à l'intérieur d'un bâtiment	Différence de pression	40 g/cm.s ²	Modèle Johnson-Ettinger
	Rayon équivalent des fissures	0,001 m	
	Teneur en air des fissures	0,02	
	Teneur en eau des fissures	0	
Espaces verts et jardins	Hauteur de la zone de mélange adulte	1,5 m	Modèle HESP
	Hauteur de la zone de mélange enfants	1 m	Modèle HESP
	Fraction de sol dans les particules dans l'air extérieur	0,5	Modèle HESP
	Fraction de sol dans les particules dans l'air intérieur	0,8	Modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air extérieur	7.10 ⁻⁸ kg/m ³	Modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air intérieur	5,25.10 ⁻⁸ kg/m ³	Modèle HESP
	Vitesse de déposition	0,00023 kg/m ² /j	INERIS
	Effet Weathering	0,033 j ⁻¹	INERIS
	Fraction de sol interceptée	0,4	INERIS
	Durée des cultures	180 j	INERIS
	Teneur en matières sèches des végétaux feuillus	0,117	INERIS
	Teneur en matières sèches des végétaux racinaires	0,202	INERIS
	Rendement de production	0,28 kg/m ²	INERIS
	Vitesse du vent	3,6 m/s	Station de Chartres (valeur sur 30 ans)

Tableau 13 : Paramètres physiques des modèles

³ B. Hazebrouck, 4 août 2004 : « En présence de dallages de grande dimension, la surface à prendre en compte devrait logiquement être celle des dalles d'un seul tenant plutôt que de l'ensemble du dallage ».

⁴ Plage de valeurs : 147 à 672 m³

AGGLO DU PAYS DE DREUX
Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)
 A 77782/B

La **différence de pression** existant entre le sol et l’air à l’intérieur des bâtiments est essentiellement due aux effets du vent sur la structure, à la température de l’air intérieur et à la ventilation des bâtiments.

Cette différence de pression induit un flux du gaz du sol vers l’intérieur des bâtiments, à travers les fissures, JOHNSON ET ETTINGER (1991, mis à jour en 2004) fournissent la plage de variation possible pour ce paramètre : elle s’étend de 0 à 20 Pa (valeurs bibliographiques). Cependant, les valeurs typiques pour les effets combinés du vent et de la chaleur sont de l’ordre de 4 à 5 Pa ; elles sont d’environ 2 Pa pour chacun des deux effets pris séparément. Finalement, JOHNSON ET ETTINGER (1991, 2004) proposent comme valeur conservatrice par défaut de 4 Pa, soit 40 g/cm-s².

5.4.5. Paramètres pour la consommation de végétaux

Les paramètres d’exposition liés à la consommation de végétaux présentés ci-après (Tableau 14) sont ceux couramment utilisés par Antea Group sur la base des données bibliographiques.

Scénario	Paramètre	Valeur	Justification
Jardin Ingestion de sols	Quantité de sols ingérée adultes	5.10 ⁻⁵ kg/j	Document INERIS
	Quantité de sols ingérée enfants	9,1.10 ⁻⁵ kg/j	Document INERIS
Jardin potager Consommation de végétaux (adultes)	Quantité de végétaux frais feuillus consommés adultes	0,066 kg/j	INERIS
	Quantité de végétaux frais feuillus consommés enfants	0,0287 kg/j	INERIS
	Quantité de végétaux frais racinaires consommés adultes	0,069 kg/j	INERIS
	Quantité de végétaux frais racinaires consommés enfants	0,0406 kg/j	INERIS

Tableau 14 : Paramètres d’exposition liés à la consommation de végétaux

5.5. Relation dose / effets pour les substances

Les calculs de risque font intervenir un nombre important de paramètres, et notamment des paramètres relatifs aux caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques des substances.

Comme le prévoit le guide méthodologique du Ministère de l’Environnement, avant chaque évaluation quantitative des risques, les valeurs des paramètres (en particulier les paramètres toxicologiques) sont systématiquement recherchées, sur les bases de données reconnues, pour, le cas échéant, être mises à jour par des données plus récentes selon la méthodologie présentée en **Annexe 7**.

L’ARR présentée ci-après est réalisée sur la base de la connaissance actuelle (mise à jour du 06/06/2014) relative aux substances dont les valeurs toxicologiques de références retenues sont données en **Annexe 7**.

5.6. Evaluation des expositions

5.6.1. Préambule

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

- Transfert des polluants du sol vers le point d'exposition : cette première étape permet de calculer la concentration du polluant au point d'exposition,
- Evaluation de la concentration moyenne inhalée (CI) : La CI dépend, d'une part de la concentration au point d'exposition et d'autre part du temps d'exposition (fraction de temps dans la journée, durée totale d'exposition, etc.),
- Calcul des risques (distinction entre les substances cancérigènes et toxiques) : cette évaluation permet alors de comparer les risques calculés aux risques définis comme admissibles.

5.6.2. Transfert de pollution

Les modèles utilisés pour les différents scénarios sont listés ci-dessous.

Voie d'exposition	Modèle de calcul
Inhalation de vapeurs en intérieur	Modèle Johnson et Ettinger
Inhalation de vapeurs en extérieur au droit des jardins ou des espaces verts	Modèle RBCA (Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites). Equation CM-3a du modèle RBCA
Inhalation de poussières en extérieur Ingestion de poussières du sol en extérieur Ingestion de végétaux cultivés dans le jardin	Modèle HESP (Human Exposure to Soil Pollutants)

Tableau 15 : Modèle de calcul par voie d'exposition

Pour modéliser le transfert de polluants du sol vers l'air confiné des bâtiments, un transfert est modélisé : transfert du sous-sol au rez-de-chaussée (utilisation du modèle issu de « User's guide for the Johnson and Ettinger (2004) model for subsurface vapor intrusion into buildings », mis à jour en 2004).

Ce modèle permet de prendre en compte les phénomènes de diffusion et de convection.

Les équations nécessaires à la mise en œuvre de ces modèles sont présentées en

Annexe 8.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

5.6.3. Calcul de la concentration moyenne inhalée au point d'exposition

Pour chaque scénario, une concentration moyenne inhalée (CI_{moy}) est calculée. On distingue la CI_{moy} pour les substances sans seuil et la CI_{moy} pour les substances avec seuil.

Les feuilles de calculs et les hypothèses de travail sont présentées en **Annexe 9**.

5.6.4. Calcul de l'exposition et des risques

Pour chaque scénario, une dose journalière d'exposition (DJE) est calculée en distinguant les substances sans seuil (ou substances cancérigènes) des substances avec seuil (substances toxiques).

Cette DJE (exprimée en mg/m^3) dépend de la concentration au point d'exposition (CPE en mg/m^3 , calculée à partir des modèles de transfert), de la fréquence d'exposition (FE) et la durée d'exposition des cibles identifiées.

Les concentrations ont été calculées aux points d'exposition à partir des teneurs dans la nappe.

➤ Pour les substances à seuil (ou substances toxiques) :

$$QD = \frac{DJE}{VTR}$$

où : QD est le quotient de danger (-) ;
DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m^3) ;
VTR sont les valeurs toxicologiques de référence pour la voie d'exposition considérée

Le quotient de danger tolérable théorique par individu défini dans la Circulaire Ministérielle du 8/02/2007 doit être inférieur à 1.

➤ Pour les substances sans seuil :

$$ERI = DJE \times ERU$$

où : ERI est l'excès de risque individuel (-)
DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m^3) ;
ERU sont les excès de risque unitaire pour les voies d'exposition considérées

L'excès de risque individuel théorique tolérable par personne de 10^{-5} , cité par la Circulaire Ministérielle du 8/02/2007, a été retenu ici.

5.7. Caractérisation des risques

5.7.1. Résultats des calculs

Les concentrations ont été calculées aux points d'exposition à partir des teneurs maximales dans les sols.

Les quotients de danger (QD), calculés pour chaque substance toxique et les excès de risque individuels (ERI), calculés pour chaque substance cancérigène, sont présentés en

Annexe 10.

Une synthèse des risques calculés est présentée dans le Tableau 16. Ce tableau précise les Quotients de Danger totaux et les Excès de Risque Individuels totaux pour les deux scénarios étudiés.

	Voie d'exposition	QD Adultes	QD Enfants	ERI Adultes	ERI Enfants
Scenario 1	inhalation de vapeurs à l'intérieur des habitations	0.028	0.038	$1.08.10^{-9}$	$2.96.10^{-10}$
	inhalation de vapeurs à l'extérieur des habitations au droit des espaces verts ou des jardins	0.001	0.003	$7.27.10^{-11}$	$2.97.10^{-11}$
	Ingestion de sol dans les jardins	$7.98.10^{-6}$	$6.77.10^{-5}$	$7.51.10^{-9}$	$1.28.10^{-8}$
	Inhalation de poussières dans les jardins	-	-	$1.72.10^{-9}$	$4.70.10^{-10}$
	Consommation de végétaux cultivés dans les jardins	-	-	$3.48.10^{-8}$	$1.41.10^{-8}$
	Somme des risques pour le cumul des cinq voies d'exposition	0.029	0.041	$4.52.10^{-8}$	$2.77.10^{-8}$
Scenario 2	inhalation de vapeurs à l'extérieur des habitations au droit des espaces verts ou des jardins	$1.30.10^{-4}$	$1.95.10^{-4}$	$3.52.10^{-11}$	$1.06.10^{-11}$
	Ingestion de sol dans les jardins	$3.13.10^{-4}$	$2.66.10^{-3}$	$1.05.10^{-8}$	$1.78.10^{-8}$
	Inhalation de poussières dans les jardins	-	-	$1.16.10^{-10}$	$2.32.10^{-11}$
	Somme des risques pour le cumul des trois voies d'exposition	$4.43.10^{-4}$	$2.85.10^{-3}$	$1.06.10^{-8}$	$1.78.10^{-8}$
	Critères recommandés par la circulaire du 08/02/07	1		1.10^{-5}	

Tableau 16 : Synthèse des risques totaux calculés

A noter que la voie d'exposition prépondérante est la consommation de végétaux cultivés dans les jardins. Les composés à l'origine de cette exposition (les HAP) sont présentes dans des quantités très faibles et proches des limites de quantification du laboratoire. Les étapes de modélisation pour obtenir la concentration au point d'exposition à partir de la concentration mesurée sur-estiment les risques.

Au vu des résultats des calculs de risque, et sur la base des informations actuellement disponibles sur l'état du site, il apparaît que pour les adultes et les enfants :

- Le Quotient de Danger (QD) est inférieur à 1 (valeur de référence) pour la somme des risques, et ce, en sommant toutes les substances mesurées dans le sous-sol du site ;
- L'excès de risque individuel (ERI) total est inférieur à 10^{-5} (valeur de référence) pour la somme des risques, et ce, en sommant toutes les substances mesurées dans le sous-sol du site.

AGGLO DU PAYS DE DREUX*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)**A 77782/B*

Les risques sanitaires sont inférieurs aux critères recommandés par la circulaire du 8 février 2007 pour les deux scénarios envisagés en cumulant les expositions.

L'état du sous-sol est donc compatible en l'état avec un usage futur de type résidentiel au droit du site.

Les calculs de risques présentés ci-avant ne sont valables que pour les seules hypothèses admises. Toute modification de l'usage du site, du projet de réaménagement et des hypothèses constructives entraînera nécessairement une mise à jour des calculs de risques.

Les calculs de risques réalisés dans le cadre de cette étude sont à caractère sanitaire pour les seules substances recherchées. Les éventuels autres risques liés au projet, notamment géotechnique, ne sont pas étudiés.

5.8. Incertitudes

5.8.1. Incertitudes portant sur la définition des cibles et des usages

L'évaluation quantitative des risques sanitaires a été menée en considérant des aménagements futurs à usage résidentiel au droit de la zone étudiée.

Les caractéristiques des aménagements (épaisseur de dalle, hauteur des pièces...) sont basés sur des données qui avaient été validées lors de la réalisation de l'EQRS initiale.

Toute modification des caractéristiques retenues dans cette ARR vers des valeurs moins sécuritaires (notamment lors de la définition réelle du projet) entraînera la nécessité de réaliser de nouveaux calculs de risques.

5.8.2. Incertitudes liées aux Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

La méthodologie de choix des VTR est présentée en **Annexe 7**. La méthodologie a été modifiée par une note d'information datant du 31 octobre 2014. Afin de garder une cohérence avec l'EQRS avant travaux, nous avons gardé la même méthodologie de sélection des VTR.

Dans une approche sécuritaire, toutes les substances ont été cumulées en fonction de leur caractère toxique (sans distinction des organes cibles) ou cancérigène.

AGGLO DU PAYS DE DREUX*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)*

A 77782/B

6. Conclusion

Dans le cadre de sa politique de reconquête des espaces industriels dégradés et des friches, l'Agglo du Pays de Dreux a racheté en 2008 un site, localisé à Saulnières (28) et anciennement occupé par la SARL Fonderies Techniques de Saulnières, dans l'objectif d'en opérer sa reconversion et son changement d'usage : passage d'un usage industriel en un usage d'habitat et jardin / espaces publics.

Elle a missionné Antea Group pour une prestation d'assistance à maîtrise d'ouvrage puis de maîtrise d'œuvre, pour des travaux de démolition des bâtiments et de dépollution.

Afin de valider la bonne réalisation des travaux de dépollution et de s'assurer de la compatibilité du site avec son usage futur, Antea Group a été missionnée pour la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels.

L'usage futur envisagé pour ce site est un usage de type habitations avec utilisation de potagers et espaces verts ouverts aux résidents extérieurs.

Cette étude a été réalisée conformément à la nouvelle méthodologie de gestion des sites et sols pollués, définie dans la circulaire du 8 février 2007 du Ministère en charge de l'environnement et en particulier dans le guide intitulé « Démarche d'Analyse des Risques Résiduels » également daté du 8 février 2007.

Les scénarios d'exposition retenus dans le cadre de cette ARR sont les suivants :

- scénario usage résidentiel : inhalation de vapeurs à l'intérieur et à l'extérieur (jardins, potagers) des habitations, inhalation de poussières, l'ingestion de sol et la consommation de végétaux autoproduits, pour les adultes et les enfants résidents sur le site.
- scénario espaces verts : inhalation de vapeurs en extérieur (espaces verts), inhalation de poussières et l'ingestion de sol, pour les adultes et les enfants se rendant sur le site.

Les hypothèses retenues pour la source ont été les suivantes :

- ✓ Prise en compte des substances volatiles mesurées dans les sols et pour lesquelles nous disposons de données toxicologiques,
- ✓ Les concentrations maximales ont été systématiquement retenues pour les calculs de risque.

Les calculs menés sur la base de ces hypothèses conduisent :

- à des risques inférieurs aux valeurs de référence définies dans la circulaire ministérielle du 8 février 2007 pour les deux usages définis.

Ainsi, sur la base des informations disponibles à ce jour et au regard des hypothèses de travail retenues, les calculs montrent que la qualité environnementale du sous-sol au droit du site est compatible avec un usage résidentiel.

AGGLO DU PAYS DE DREUX

Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)

A 77782/B

D'autre part, il convient de rappeler que les caractéristiques des aménagements futurs doivent être à minima conformes aux hypothèses retenues dans l'ARR.

Ces prescriptions doivent s'accompagner de mesures de conservation de la mémoire comprenant la mise en place de restrictions d'usage et de dispositions constructives, à savoir :

- ✓ absence de canalisation dans les zones sources résiduelles et utilisation de matériaux appropriés ;
- ✓ absence d'utilisation de l'eau de la nappe au droit du site ;
- ✓ dans le cas d'un projet visant à changer l'usage du site ou d'une partie du site, une nouvelle Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) devra être réalisée afin de définir les dispositions à prendre avant et pendant la réalisation du projet pour rendre acceptables les risques éventuels.

AGGLO DU PAYS DE DREUX*Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderie de Saulnières (28)**A 77782/B***Observations sur l'utilisation du rapport**

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

Conformité avec la norme NFX31-620 : Prestations de services relatives aux sites et sols pollués

Antea Group France applique les recommandations de la politique de gestion des sites et sols pollués du Ministère de l'Environnement, initiée en février 2007 et exprimée dans les circulaires de 2007. **Antea Group** France réalise ses prestations dans le respect de la norme AFNOR NFX 31-620 et respecte depuis janvier 2012 les termes du référentiel de certification des prestations de services relatives aux sites et sols pollués.

Antea Group a obtenu, le 17 décembre 2013, la certification du LNE relative aux :

- Norme NF X 31-620 partie 1 (juin 2011) : Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites pollués – Exigences générales.
- Norme NF X 31-620 partie 2 (juin 2011) : Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites pollués – Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle.
- Norme NF X 31-620 partie 3 (juin 2011) : Qualité du sol – Prestations de services relatives aux sites pollués – Exigences dans le domaine des prestations d'ingénierie des travaux de réhabilitation.

La codification des prestations prévues dans ce rapport selon le référentiel de certification du métier des sites et sols pollués, pour les domaines A et B, est présentée en annexe A.

Annexe 1 : Photographies des travaux

(2 pages)

Annexe 2 : Plan du site – Localisation des travaux

(1 page)

Annexe 3 : Rapport d'exécution – ORTEC
Réf. : VR/JFN/QM - 9M3050

Annexe 4 : Annexe financière et justificatifs

(15 pages)

Annexe 5 : Détail des coûts et charge foncière

(1 page)

Annexe 6 : Bordereaux d'analyse et localisation des sondages Antea Group

(18 pages)

Annexe 7 : Procédures de choix des VTR et paramètres toxicologiques et physico-chimiques

(8 pages)

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) est effectuée conformément aux prescriptions établies par la circulaire n° DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 relative « *aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact* ».

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont recherchées parmi les 6 bases de données nationales et internationales suivantes : USEPA^[1], ATSDR^[2], OMS^[3], Health Canada, RIVM^[4] et de l'OEHHA^[5].

La méthodologie proposée par la circulaire DGS du 30 mai 2006 et utilisée dans la présente étude pour la sélection des VTR est décrite ci après.

Trois cas de figure sont présentés :

- ✓ Aucune valeur toxicologique de référence n'est recensée pour une substance chimique parmi les 6 bases de données recensées ci-dessus. En l'absence de VTR pour cette substance, une quantification des risques n'est pas envisageable même si les données d'exposition sont exploitables. Aucune valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) ni aucune valeur guide de qualité des milieux ne peut être prise en compte ;
- ✓ Une seule valeur toxicologique de référence existe dans l'une des 6 bases de données. Cette valeur sera retenue sauf si cette valeur est provisoire ou qu'il s'agit d'une transposition (exposition aiguë / exposition chronique, ou voie orale / voie respiratoire) ;
- ✓ Plusieurs valeurs toxicologiques de référence existent dans les 6 bases de données pour un même effet critique, une même voie et une même durée d'exposition. Par mesure de simplification, la VTR sélectionnée est celle retrouvée dans l'une des six bases en respectant la hiérarchisation suivante :
 - pour les substances à effets à seuil successivement US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Health Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA,
 - pour les substances à effets sans seuil successivement US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA.

Concernant les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), la méthodologie retenue de choix des VTR est présentée dans le rapport final INERIS de novembre 2003 « *Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs). Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges. Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : valeurs toxicologiques de référence (VTR)* ».

[¹] USEPA : United-States Environmental Protection Agency, base de données de Etats-

Unis

[²] ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, base de données de Etats-

Unis

[³] OMS : Organisation Mondiale de la Santé

[⁴] RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, base de données des Pays-Bas

[⁵] OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, base de données de l'état

de californie

On distingue deux types de substances :

- Les substances toxiques (à effet à seuil) : elles sont caractérisées par un effet de seuil (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet en-dessous d'un certain seuil). Pour la voie inhalation, ce seuil est appelé dans le présent rapport valeur toxicologique de référence (notée VTR),
- Les substances cancérigènes (sans effet seuil) : elles entraînent un risque dès qu'elles sont présentes. On définit alors l'excès de risque unitaire (ERU) qui est la pente de la courbe dose / effets.

Certaines substances, comme le benzène, peuvent être à la fois toxiques et cancérigènes.

Valeurs Toxicologiques de Référence pour les effets toxiques

Dénomination	Paramètre	Valeur adultes	Valeur Enfants	Organe cible	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
Acénaphthylène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.004	0.004		1995	Base de données du logiciel RBCA	oui
Acénaphthylène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Aliphatique C>10-C12	DJT Inhalation (mg/m3)	1	1	Modifications hépatiques et hématologiques	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>10-C12	DJT Inhalation (mg/m3)	1	1	Modifications hépatiques et hématologiques	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	
Aliphatique C>16-C35	DJT Ingestion (mg/kg/j)	2	2	Modifications hépatiques	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>16-C35	DJT Ingestion (mg/kg/j)	2	2	Modifications hépatiques	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	
Aliphatique C>16-C35	DJT Inhalation (mg/m3)				1999	RIVM	oui
Anthracène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.3	0.3		1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Anthracène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.04	0.04		2000	RIVM	
Anthracène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Aromatiques>10-12	DJT Inhalation (mg/m3)	0.2	0.2	Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Aromatiques>10-12	DJT Inhalation (mg/m3)	0.2	0.2	Diminution pondérale	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	
Aromatiques>21-35	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.03	0.03	Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Aromatiques>21-35	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.03	0.03	Diminution pondérale	1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	

Dénomination	Paramètre	Valeur adultes	Valeur Enfants	Organe cible	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
Aromatiques>21-35	DJT Inhalation (mg/m3)				1999	RIVM	oui
Aromatiques>21-35	DJT Inhalation (mg/m3)				1997	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.	
Benzo (g,h,i)Pérylène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.03	0.03		2000	RIVM	oui
Benzo (g,h,i)Pérylène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Fluoranthène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.04	0.04	Hépatotoxicité, néphrotoxicité, hématotox (souris)	1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Fluoranthène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Mercure	DJT Inhalation (mg/m3)	0.0003	0.0003	Neurotoxicité (homme)	1995	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Mercure	DJT Inhalation (mg/m3)	0.0002	0.0002	Neurotoxicité (homme)	1999	ATSDR	
Mercure	DJT Inhalation (mg/m3)	0.001	0.001	Néphrotoxicité (homme)	1999	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Mercure	DJT Inhalation (mg/m3)	0.0002	0.0002	Neurotoxicité (homme)	2000	RIVM	
Mercure	DJT Inhalation (mg/m3)	3E-05	3E-05	Système nerveux (homme)	2008	OEHHA	
Phénanthrène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.04	0.04		2000	RIVM	oui
Phénanthrène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Pyrène	DJT Ingestion (mg/kg/j)	0.03	0.03	Néphrotoxicité (souris)	1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Pyrène	DJT Inhalation (mg/m3)					Valeur définie par l'utilisateur	oui

Valeurs Toxicologiques de Référence pour les effets cancérigènes

Dénomination	Paramètre	Valeur adultes	Valeur Enfants	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
Acénaphthylène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Acénaphthylène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2000	RIVM	
Acénaphthylène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0011	0.0011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Anthracène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.002	0.002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Anthracène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.011	0.011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.02	0.02	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.002	0.002	2000	RIVM	
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	1.2	1.2	2004	OEHHA	
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	8.7	8.7	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	12	12	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2004	OEHHA	
Benzo (b)Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0019	0.00187	1993	Health Canada	
Benzo (g,h,i)Pérylène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.002	0.002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (g,h,i)Pérylène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)			1990	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzo (g,h,i)Pérylène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.011	0.011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (g,h,i)Pérylène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)			1990	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.02	0.02	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	1.2	1.2	2004	OEHHA	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.002	0.002	2000	RIVM	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui

Dénomination	Paramètre	Valeur adultes	Valeur Enfants	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
					l'INERIS	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	8.7	8.7	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.87	0.87	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2004	OEHHA	
Benzo (k) Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0013	0.00113	1993	Health Canada	
Benzo(a)Anthracène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.02	0.02	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a)Anthracène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	1.2	1.2	2004	OEHHA	
Benzo(a)Anthracène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a)Anthracène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	1.3	1.3	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo(a)Anthracène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.12	0.12	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo(a)Anthracène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2004	OEHHA	
Benzo(a)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.2	0.2	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	7.3	7.3	1994	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzo(a)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	12	12	2004	OEHHA	
Benzo(a)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.02	0.02	2000	RIVM	
Benzo(a)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	1.1	1.1	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	90	90	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzo(a)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	1.1	1.1	2004	OEHHA	
Benzo(a)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.031	0.031	1993	Health Canada	
Chrysène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.002	0.002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Chrysène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.12	0.12	2004	OEHHA	
Chrysène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2000	RIVM	
Chrysène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.011	0.011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui

Dénomination	Paramètre	Valeur adultes	Valeur Enfants	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
Chrysène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	8.7	8.7	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Chrysène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.087	0.087	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Chrysène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.011	0.011	2004	OEHHA	
Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)			1990	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Fluoranthène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)			1990	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0011	0.0011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.87	0.87	1998	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Fluoranthène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.087	0.087	1998	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.02	0.02	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	1.2	1.2	2004	OEHHA	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	20.2	20.2	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	5.8	5.8	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.11	0.11	2004	OEHHA	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0038	0.00376	1993	Health Canada	
Phénanthrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2003	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Phénanthrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0011	0.0011	2003	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Pyrène	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	0.0002	0.0002	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Pyrène	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	0.0011	0.0011	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui

Paramètres Physico-chimiques retenus pour les modélisations (par inhalation de vapeurs)

Dénomination	Coefficient de partition carbone organique (Koc) (l/kg)	Constante de Henry (l)	Diffusion dans l'air (cm ² /s)	Diffusion dans l'eau (cm ² /s)	Solubilité (mg/l)
Acénaphthylène	2770 (6)	0.0039 (6)	0.04 (6)	7.53E-06 (6)	16.1 (2)
Aliphatique C>10-C12	251188.6 (6)	120 (6)	0.1 (6)	0.00001 (6)	0.034 (6)
Anthracène	25700 (1)	0.00214 (1)	0.0428 (1)	6.72E-06 (1)	1.29 (1)
Aromatiques>10-12	2511 (6)	0.14 (6)	0.1 (6)	0.00001 (6)	25 (6)
Benzo (b)Fluoranthène	83000 (6)	0.0063 (1)	0.0333 (1)	5.13E-06 (1)	0.012 (1)
Benzo (g,h,i)Pérylène	311000 (6)	0.0000303 (6)	0.049 (6)	5.56E-06 (6)	0.00026 (2)
Benzo (k) Fluoranthène	121000 (6)	0.0000165 (1)	0.0226 (6)	5.56E-06 (6)	0.0008 (6)
Benzo(a)Anthracène	102000 (6)	0.000234 (6)	0.051 (6)	0.000009 (6)	0.0094 (2)
Benzo(a)Pyrène	5000000 (1)	0.0000164 (1)	0.045 (1)	0.0000069 (1)	0.003 (1)
Chrysène	133000 (1)	0.00004 (1)	0.0248 (1)	6.21E-06 (1)	0.002 (1)
Fluoranthène	72000 (1)	0.00034 (1)	0.039 (1)	0.0000058 (1)	0.26 (1)
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	6300000 (1)	0.0000123 (1)	0.031 (1)	0.0000051 (1)	0.062 (1)
Mercure	19906 (99)	0.31 (1)	0.0307 (1)	0.0000063 (1)	0.0567 (1)
Phénanthrène	2291 (1)	0.00123 (1)	0.054 (1)	0.0000057 (1)	1.2 (1)
Pyrène	67992 (1)	0.000371 (6)	0.027 (1)	7.24E-06 (1)	0.13 (1)

Dénomination	Facteur de bioconcentration Feuille (poids sec) (l)	Facteur de bioconcentration Racine (poids sec) (l)	Log de coefficient de partition octanol-eau (l)
Benzo(a)Pyrène	0.024 (1)	0.0027 (1)	6 (1)

numéro de la référence	intitulé
1	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS
2	Base de données HSDB
6	Volumes 3 et 4 du Total Petroleum Hydrocarbons Working Group.
99	Valeur définie par l'utilisateur

Annexe 8 : Formules de transfert mises en œuvre dans les différents modèles

(14 pages)

CALCUL DU RISQUE

Pour chaque scénario est calculée une dose journalière d'exposition DJE.

A partir de cette dose journalière d'exposition, on caractérise le risque pour les substances à seuil et les substances sans seuil.

➤ **Pour les scénarios d'inhalation :**

Pour les substances à seuil :

$$QD = \frac{DJE}{VTR_{inh}}$$

où : QD est l'indice de risque (-) ;
DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m³) ;
VTR_{inh} est la valeur toxicologique de référence par inhalation (mg/m³).

Pour les substances sans seuil :

$$ERI = DJE \times ERU_{inh}$$

où : ERI est l'excès de risque individuel (-)
DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m³) ;
ERU_{inh} est l'excès de risque unitaire par inhalation (mg/m³)⁻¹.

SCENARIO INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR SANS SOUS-SOL

Les formules exposées ici sont essentiellement tirées de : « User's guide for the **Johnson and Ettinger** (1991/2003) model for subsurface vapor intrusion into buildings », préparé par Environmental Quality Management, Inc., pour E.H. Pechan & Associates, Inc. (U.S. Environmental Protection Agency), septembre 1997. Elles proviennent principalement du chapitre 2-5 : « The infinite source solution to convective and diffusive transport ».

- Le transport de pollution de l'air du sol vers l'air confiné dans un bâtiment est donné par la formule suivante :

$$C_{\text{air confiné}} = \alpha \cdot C_{\text{air sol}}$$

où : $C_{\text{air confiné}}$ est la concentration dans l'air des bâtiments, pour la substance considérée (mg/m³) ;

C_{PE} est la **concentration au point d'exposition** C_{PE} : $C_{\text{air confiné}} = C_{\text{PE}}$

$C_{\text{air sol}}$ est la concentration dans l'air du sol, pour la substance considérée (mg/m³) ;

α est le coefficient d'atténuation (sans dimension).

Sous l'hypothèse que le transport de masse est permanent (source infinie, transport convectif et diffusif), Johnson et Ettinger (1991/2003) donnent la formule suivante pour le coefficient d'atténuation α :

$$\alpha = \frac{\left(\frac{Deff_{sol} \times A_b}{Q_{bat} \times L_s} \right) \cdot \exp\left(\frac{Q_{sol} \times ep_{-F}}{Deff_{sol} \times A_{crack}} \right)}{\exp\left(\frac{Q_{sol} \times ep_{-F}}{Deff_{sol} \times A_{crack}} \right) + \left(\frac{Deff_{sol} \times A_b}{Q_{bat} \times L_s} \right) + \left(\frac{Deff_{sol} \times A_b}{Q_{sol} \times L_s} \right) \cdot \left[\exp\left(\frac{Q_{sol} \times ep_{-F}}{Deff_{sol} \times A_{crack}} \right) - 1 \right]}$$

[Equation 13 du User's guide Johnson & Ettinger]

où : $Deff_{sol}$ est le coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m²/s) (calcul présenté ci-après) ;

A_b est la surface de l'espace fermé (m²) (calcul présenté ci-après) ;

Q_{bat} est le taux de ventilation du bâtiment (m³/s) (calcul présenté ci-après) ;

L_s est la profondeur qui sépare le bâtiment de la source (m) ;

Q_{sol} est le flux de gaz du sol pénétrant dans le bâtiment (m³/s) (calcul

présenté ci-après) ;

ep_{-F} est l'épaisseur des fondations (m) ;

A_{crack} est la surface des fissures totales (m²) (calcul présenté ci-après) ;

$Deff_F$ est le coefficient de diffusion effectif à travers les fissures (m^2/s) (supposé être équivalent au coefficient effectif de la couche du sol en contact avec le bâtiment) (calcul présenté ci-après).

Les étapes intermédiaires de calcul, nécessaires à la mise en œuvre de cette formule, sont détaillées ci-dessous :

Les expressions pour les deux termes Q_{bat} et Q_{sol} sont les suivantes :

$$Q_{bat} = long_b \times larg_b \times haut_b \times tra_b$$

[Equation 14 du User's guide Johnson & Ettinger]

$$Q_{sol} = \frac{2 \times \pi \times delta_P \times k_v \times X_F}{\mu \times \ln \left(\frac{2 \times prof_F}{r_{crack}} \right)}$$

[Equation 15 du User's guide Johnson & Ettinger]

où : $long_b$, $larg_b$ et $haut_b$ sont respectivement les longueur, largeur et hauteur du bâtiment (m) ;
 tra_b est le taux de renouvellement de l'air dans le bâtiment (s^{-1}) ;
 $delta_P$ est le gradient de pression entre la surface du sol et l'espace clos ($g/cm-s^2$) ;
 k_v est la perméabilité du sol au flux de vapeur, spécifique du sol (m^2) ;
 X_F est le périmètre de jonction sol-mur, c'est-à-dire le périmètre intérieur du bâtiment (m) ;
 μ est la viscosité de l'air ($g/cm-s$) ;
 $prof_F$ est la profondeur des fissures sous le rez-de-chaussée (m) ;
 r_{crack} est le rayon équivalent des fissures (m).

Avec :

$$A_b = long_b \times larg_b$$

$$X_F = 2 \times (larg_b + long_b)$$

$$A_{crack} = r_{crack} \times X_F$$

[Equation 16 du User's guide Johnson & Ettinger]

Ceci permet de définir η :

η est la fraction de surface occupée par les fissures dans le dallage (sans dimension).

- Notons que nous avons retenu, pour la mise en œuvre du modèle, une seule couche de sol.

$$Deff_sol = D_{air} \cdot \frac{\theta_{a,i}^{3,33}}{(\theta_{a,s} + \theta_{e,s})^2} + \frac{D_{eau}}{H} \cdot \frac{\theta_{e,s}^{3,33}}{(\theta_{a,s} + \theta_{e,s})^2}$$

[1^{ère} équation A13 du Tier 2 de RBCA ou Equation 11 du User's Guide Johnson & Ettinger]

$$Deff_F = D_{air} \cdot \frac{\theta_{a,F}^{3,33}}{(\theta_{a,F} + \theta_{e,F})^2} + \frac{D_{eau}}{H} \times \frac{\theta_{e,F}^{3,33}}{(\theta_{a,F} + \theta_{e,F})^2}$$

[4^{ème} équation A13 du Tier 2 de RBCA ou Equation 6 du User's Guide Johnson & Ettinger]

- où :
- $Deff_sol$ est le coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m²/s) ;
 - $Deff_F$ est le coefficient de diffusion effectif à travers les fissures (m²/s) ;
 - D_{air} est la diffusivité dans l'air, pour la substance considérée (m²/s) ;
 - $\theta_{a,s}$ est la teneur en air de la couche de sol (sans dimension) ;
 - $\theta_{e,s}$ est la teneur en eau de la couche de sol (sans dimension) ;
 - $\theta_{a,F}$ est la teneur en air des fissures (sans dimension) ;
 - $\theta_{e,F}$ est la teneur en eau des fissures (sans dimension) ;
 - D_{eau} est la diffusivité dans l'eau, pour la substance considérée (m²/s) ;
 - H est la constante de Henry, pour la substance considérée (sans dimension) ;

- Enfin, la concentration dans l'air du sol est estimée par la formule suivante :

Pour le sol :

$$C_{air\ sol} = Min \left[\frac{H \times d_sol \times 1000}{\theta_{e,s} + K_{oc} \times foc \times d_sol + H \times \theta_{a,s}} \cdot C_{sol}; H \times S \times 1000 \right]$$

[1^{ère} partie de l'équation CM-3a de RBCA]

- où :
- $C_{air\ sol}$ est la concentration dans l'air du sol (en mg/m³) ;
 - C_{sol} est la concentration dans le sol (en mg/kg) ;
 - S est la solubilité (en mg/l) ;
 - d_sol est la densité du sol (en g/cm³) ;
 - K_{oc} est le coefficient de partage du carbone organique, spécifique du sol (cm³/g) ;
 - foc est la fraction de carbone organique dans le sol (sans dimension) ;
 - H est la constante de Henry (sans dimension).

N.B. : Le terme $H \times S \times 1000$ correspond à la saturation de l'air du sol, pour la substance considérée (1000 étant un coefficient servant à harmoniser les unités).

Pour la nappe :

$$C_{air\ sol} = H \times C_{nappe} \times 1000$$

[Equation 15 du User's guide Johnson & Ettinger]

où : $C_{air\ sol}$ est la concentration dans l'air du sol (mg/m^3) ;
 C_{nappe} est la concentration dans la nappe (mg/l) ;
H est la constante de Henry (sans dimension).

SCENARIO INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR

Les formules sont issues du « Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Elles correspondent principalement à l'équation CM-3a du modèle RBCA, scindée en 2 pour la clarté des justifications.

- Le point d'exposition est l'atmosphère de surface. La concentration au point d'exposition à partir de la source s'obtient par la formule suivante :

$$C_{air\ ambient} = [FA \cdot C_{air\ sol}]$$

[principe de l'équation CM-3a de RBCA]

où : FA est le facteur d'atténuation de la concentration entre l'air du sol et l'air ambiant (sans dimension) (calculs présentés ci-après) ;

$C_{air\ ambient}$ est la concentration dans l'air ambiant (mg/m³) ;

c'est la **concentration au point d'exposition** : $C_{air\ ambient} = C_{PE}$.

$C_{air\ sol}$ est la concentration dans l'air du sol (mg/m³) (calculs présentés ci-dessous).

- La concentration dans l'air du sol, pour chaque substance, est estimée par les formules suivantes :

$$C_{air\ sol} = Min \left[\frac{H \times d_{sol} \times 1000}{\theta_{e,s} + K_{oc} \times foc \times d_{sol} + H \times \theta_{a,s}} \cdot C_{sol} ; H \times S \times 1000 \right]$$

[1^{ère} partie de l'équation CM-3a]

où : $C_{air\ sol}$ est la concentration dans l'air du sol (en mg/m³) ;

C_{sol} est la concentration dans le sol (en mg/kg) ;

S est la solubilité (en mg/l) ;

d_{sol} est la densité du sol (en g/cm³) ;

K_{oc} est le coefficient de partage du carbone organique, spécifique du sol (cm³/g) ;

foc est la fraction de carbone organique dans le sol (sans dimension) ;

H est la constante de Henry (sans dimension).

N.B. : Le terme $H \times S \times 1000$ correspond à la saturation de l'air du sol, pour la substance considérée (1000 étant un coefficient servant à harmoniser les unités).

- Le coefficient FA s'exprime de la manière suivante :

$$FA = \frac{1}{1 + \frac{vit_v \times h_{me} \times Ls}{Deff_{sol} \times long_{zp}}}$$

[2^{ème} partie de l'équation CM -3a]

- où :
- vit_v est la vitesse du vent (m/s) ;
 - h_{me} est la hauteur de la zone de mélange dans l'air ambiant (m) ;
 - Ls est la profondeur de la source (m) ;
 - $Deff_{sol}$ est le coefficient de diffusion effectif équivalent du sol (m²/s) (calcul présenté ci-dessous) ;
 - $long_{zp}$ est la longueur de la zone d'émission (m), c'est-à-dire la longueur de la zone polluée.
- Notons que nous avons retenu, pour la mise en œuvre du modèle, une seule couche de sol.

$$Deff_{sol} = D_{air} \cdot \frac{\theta_{a,i}^{3,33}}{(\theta_{a,s} + \theta_{e,s})^2} + \frac{D_{eau}}{H} \cdot \frac{\theta_{e,s}^{3,33}}{(\theta_{a,s} + \theta_{e,s})^2}$$

[1^{ère} équation A13 du Tier 2 de RBCA]

- où :
- D_{air} est la diffusivité dans l'air, pour la substance considérée (m²/s) ;
 - D_{eau} est la diffusivité dans l'eau, pour la substance considérée (m²/s) ;
 - $\theta_{a,s}$ est la teneur en air de la couche de sol (sans dimension) ;
 - $\theta_{e,s}$ est la teneur en eau de la couche de sol (sans dimension) ;
 - H est la constante de Henry, pour la substance considérée (sans dimension).

- La dose d'exposition se calcule alors de la manière suivante :

$$DJE = \frac{C_{PE} \times FE \times DE}{Tm}$$

- où :
- DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m³) ;
 - C_{PE} est la concentration au point d'exposition (mg/m³) ;
 - FE est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
 - DE est la durée d'exposition (années) ;
 - Tm est le temps moyenné (jours) :
 - $Tm = DE * 365$ pour les substances à seuil,
 - $Tm = 70 * 365$ pour les substances sans seuil.

SCENARIO INHALATION DE POUSSIÈRES

Ces équations sont les équations 48 et 49 du document de travail sur la méthodologie de calcul des VCI-version 1 du groupe de travail sols pollués – santé publique, dans laquelle nous avons considéré que la totalité de ce qui est inhalé est absorbé dans les poumons. Elles sont basées sur HESP. On se base sur une formule qui calcule des doses, pour l'adapter et en faire un calcul de concentrations inhalées.

- La dose d'exposition par inhalation de particules se calcule de la manière suivante :

$$IP = ITSP * Cs * fr / P$$

[Equation 48]

où : IP est la dose d'exposition par inhalation de particules (mg de polluant / kg corporel) ;

$ITSP$ est la quantité de particules inhalées (kg) (calculs présentés ci-dessous) ;

fr est le facteur de rétention des particules dans les poumons, considéré égal à 1 (sans dimension) ;

Cs est la concentration dans le sol, pour la substance considérée (mg/kg),

P est le poids corporel (kg).

Et :

$$ITSP = TSPe * frse * Ve * te + TSPi * frsi * Vi * ti$$

[Equation 49]

où : $ITSP$ est la quantité de particules inhalées (kg) ;

TSP est la concentration de particules en suspension dans l'air (kg/m^3) ;

frs est la fraction de sol dans les particules en suspension (sans dimension) ;

V est le taux de respiration (m^3/j) ;

t durée d'exposition (j) ;

i,e est l'indice se referant respectivement à l'intérieur et à l'extérieur.

- La concentration au point d'exposition en extérieur est donc la suivante :

$$C_{PEe} = Cs \times TSPe \times frse$$

où : C_{PEi} est la **concentration au point d'exposition** en extérieur, pour la substance considérée (mg de polluant / m^3 d'air) ;

C_s est la concentration dans le sol, pour la substance considérée (mg/kg) ;

$TSPe$ est la concentration de particules en suspension dans l'air extérieur (kg/m^3) ;

$frse$ est la fraction de sol dans les particules en suspension en extérieur (-).

- La concentration au point d'exposition en intérieur est la suivante :

$$C_{PEi} = C_{sol} \times TSPi \times frsi$$

où : C_{PE} est la **concentration au point d'exposition** en intérieur, pour la substance considérée (mg de polluant /m³ d'air) ;
 C_{sol} est la concentration dans le sol, pour la substance considérée (mg/kg) ;
 $TSPi$ est la concentration de particules en suspension dans l'air intérieur (kg/m³) ;
 $frsi$ est la fraction de sol dans les particules en suspension en intérieur (-).

- La dose d'exposition se calcule alors de la manière suivante :

$$DJE = \frac{(C_{PEe} \times FEe + C_{PEi} \times FEi) \times DE}{Tm}$$

où : DJE est la dose journalière d'exposition (mg/m³) ;
 C_{PEe} est la concentration au point d'exposition en extérieur (mg/m³) ;
 C_{PEi} est la concentration au point d'exposition en intérieur (mg/m³) ;
 FEe est la fréquence d'exposition en extérieur (jours/an) ;
 FEi est la fréquence d'exposition en intérieur (jours/an) ;
 DE est la durée d'exposition (années) ;
 Tm est le temps moyenné (jours) :
 $Tm = DE * 365$ pour les substances à seuil,
 $Tm = 70 * 365$ pour les substances sans seuil.

SCENARIO INGESTION DE SOL

$$DJE = \frac{C_{sol} \times Q_{sol} \times FE \times DE}{P \times Tm}$$

- où :
- DJE est la dose journalière d'exposition (mg/kg.jour) ;
 - Csol la concentration au point d'exposition dans le le sol (mg/kg) ;
 - Qsol est la quantité journalière ingérée de sol (kg/jour) ;
 - FE est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
 - DE est la durée d'exposition (années) ;
 - P est le poids corporel de la cible (kg) ;
 - Tm est le temps moyenné (jours) :
 - Tm = DE *365 pour les substances à seuil,
 - Tm = 70*365 pour les substances sans seuil.

SCENARIO INGESTION DE VEGETAUX AUTOPRODUITS CONTAMINES PAR DES POUSSIÈRES

- **Calcul de la déposition de particules sur les cultures**

Nous avons utilisé la formule du logiciel HESP, reprise dans le document de l'INERIS intitulé Méthode de calcul des VCI dans les sols (novembre 2001).

$$Cdp = DRO \times frse \times C_{sol} \times (fin / (Yv \times fEi)) \times ((1 - (1 - \exp(-fEi \times tc)) / (fEi \times tc))$$

[Equation 17 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

Où :

- Cdp est la concentration dans les plantes due au phénomène de déposition, pour la substance considérée (mg/kg sec) ;
- fin est la fraction interceptée par les cultures (sans dimension) ;
- Yv est le rendement de production (kg/m²) ;
- fEi est l'effet de décroissance, dû à l'effet climat (pluie etc.) qui régulièrement « nettoie » les feuilles des substances déposées, nommé effet « weathering » (j⁻¹) ;
- tc est la durée des cultures (j) ;
- DRO est la vitesse de déposition des particules (mg/m².j) ;
- $frse$ est la fraction de sol dans les particules en extérieur (sans dimension) ;
- C_{sol} est la concentration dans le sol, pour la substance considérée (mg/kg).

- **Calcul de la concentration en éléments traceurs du risque dans l'eau du sol**

Le logiciel RBCA nous donne l'équation :

$$C_{eau} = C_{sol} \times \frac{d_{sol}}{K_{oc} \times foc \times d_{sol} + \theta_{e,s}}$$

où :

- C_{eau} est la concentration dans l'eau du sol, pour la substance considérée (mg/L) ;
- C_{sol} est la concentration en polluant dans le sol, pour la substance considérée (mg/kg) ;
- d_{sol} est la densité du sol (g/cm³) ;
- K_{oc} est le coefficient de partage du carbone organique (cm³/g) ;
- foc est la fraction de carbone organique dans le sol ;
- $\theta_{e,s}$ est la teneur en eau de la couche de sol .

- **Calcul de l'absorption en éléments traceurs de risque, pour les substances organiques**

Pour les végétaux dont la partie comestible est aérienne :

D'après le logiciel HESP et la méthode de calcul des VCI, la concentration dans la partie aérienne des plantes se calcule selon l'équation suivante :

$$C_{\text{plante feuilles}} = BCF_{\text{feui}} \times C_{\text{eau}} + Cdp \times Tmsf$$

[Equation 25 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

Où : $C_{\text{plante feuilles}}$ est la concentration dans les parties aériennes du végétal (mg/kg) ;
 c'est la **concentration au point d'exposition** dans les feuilles : $C_{\text{plante feuilles}} = C_{\text{PE_feui}}$;
 BCF_{feui} est le facteur de bioconcentration dans les parties aériennes du végétal ((mg/kg) frais de plante/(mg/L dans l'eau du sol)
 C_{eau} est la concentration dans l'eau du sol (mg/L) ;
 Cdp est la concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg sec) ;
 $Tmsf$ est la teneur en matière sèche du végétal (sans dimension).

Le BCF_{feuilles} se calcule de la manière suivante :

$$BCF_{\text{feui}} = (10^{(0,95 \times \log Kow - 2,05)} + 0,82) \times (0,784 \times 10^{(-0,434 \times (\log Kow - 1,78)^2 / 2,44)})$$

[Equation 24 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

où : Kow est le coefficient de partage octanol/eau, pour la substance considérée (L/kg).

Pour les végétaux dont la partie comestible est racinaire :

La concentration dans la partie racinaire se calcule d'après la formule :

$$C_{\text{plante racines}} = BCF_{\text{rac}} \times C_{\text{eau}}$$

[Equation 23 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

Où : $C_{\text{plante racines}}$ est la concentration dans la partie racinaire du végétal (mg/kg) ;
 c'est la **concentration au point d'exposition** dans les racines : $C_{\text{plante racines}} = C_{\text{PE_rac}}$;
 BCF_{rac} est le facteur de bioaccumulation dans les racines ((mg/kg) frais de racine/(mg/L dans l'eau du sol) ;
 C_{eau} est la concentration dans l'eau du sol (mg/L).
 Le BCF_{racines} se calcule de la manière suivante :

$$BCF_{rac} = 10^{(0,77 \times \log Kow - 1,52)} + 0,82$$

[Equation 22 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

où : Kow est le coefficient de partage octanol/eau, pour la substance considérée (L/kg).

- **Calcul de l'absorption en éléments traceurs de risque, pour les substances inorganiques**

Pour les substances inorganiques, les BCF sont issus de la littérature (et non calculés).

Pour les végétaux dont la partie comestibles est aérienne :

D'après le logiciel HESP et la méthode de calcul des VCI, la concentration dans la partie aérienne des plantes se calcule selon l'équation suivante :

$$C_{\text{plante feuilles}} = BCF_{\text{feui}} \times C_{\text{sol}} + Cdp \times Tmsf$$

[Equation 19 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

Où : $C_{\text{plante feuilles}}$ est la concentration dans les parties aériennes du végétal (mg/kg) ;
 c'est la **concentration au point d'exposition** dans les feuilles : $C_{\text{plante feuilles}} = C_{\text{PE_feui}}$;
 BCF_{feui} est le facteur de bioconcentration dans les parties aériennes du végétal ((mg/kg) frais de plante/(mg/kg) de sol) ;
 C_{sol} est la concentration dans le sol (mg/kg) ;
 Cdp est la concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg sec) ;
 $Tmsf$ est la teneur en matière sèche du végétal.

Pour les végétaux dont la partie comestible est racinaire :

La concentration dans la partie racinaire se calcule d'après la formule :

$$C_{\text{plante racines}} = BCF_{\text{rac}} \times C_{\text{sol}}$$

[Equation 18 de l'annexe 2 de la méthode de calcul des VCI]

Où : $C_{\text{plante racines}}$ est la concentration dans la partie racinaire du végétal (mg/kg) ;
 c'est la **concentration au point d'exposition dans les racines** : $C_{\text{plante racines}} = C_{\text{PE_rac}}$;
 BCF_{rac} est le facteur de bioaccumulation dans les racines ((mg/kg) frais de racine/(mg/L) dans l'eau du sol) ;
 C_{sol} est la concentration dans le sol (mg/kg).

- **La dose d'exposition** se calcule alors de la manière suivante :

$$DJE = \frac{(C_PE_rac \times Qrac + C_PE_feui \times Qfeui) \times FE \times DE}{P \times Tm}$$

- où :
- DJE est la dose journalière d'exposition (mg/kg.jour) ;
 - C_PE_rac la concentration au point d'exposition dans les racines (mg/kg) ;
 - C_PE_feui la concentration au point d'exposition dans les feuilles (mg/kg) ;
 - Qrac est la quantité journalière ingérée de végétaux racinaires (kg/jour) ;
 - Qfeui est la quantité journalière ingérée de végétaux feuilles (kg/jour) ;
 - FE est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
 - DE est la durée d'exposition (années) ;
 - P est le poids corporel de la cible (kg) ;
 - Tm est le temps moyenné (jours) :
 - Tm = DE *365 pour les substances à seuil,
 - Tm = 70*365 pour les substances sans seuil.

Annexe 9 : Feuilles de calculs de risques et hypothèses de travail

(10 pages)

Scenario : Usage résidentiel

Inhalation à l'intérieur des bâtiments

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Masse volumique du sol	1.700000048	g/cm3	BP RISC
Différentiel de pression	40	g/cm.s2	Valeur du modèle JOHNSON ET ETTINGER
Epaisseur des fissures de la dalle	0.200000003	m	
Fraction de carbone organique	0.0053	-	
Hauteur du bâtiment	2.799999952	m	
Perméabilité à l'air	9.81E-14	m2	
Largeur du bâtiment	8	m	
Longueur du bâtiment	8	m	
Profondeur des fissures	0.200000003	m	
Rayon équivalent des fissures	0.001	m	Méthode de calcul Johnson-Ettinger
Teneur en air des fissures	0.02		Valeur bibliographique
Teneur en air du sol	0.172000006		
Teneur en eau des fissures	0		Valeur bibliographique
Teneur en eau du sol	0.310000002		
Taux de renouvellement d'air du bâtiment	0.000222	/s	Valeur du modèle RBCA

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	217	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (enfants)	296	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Aliphatique C>10-C12	Aliphatiques	Toxique	Sol	18.20000076	mg/kg MS	0.300000012	0.029884512
Aromatiques>10-12	BTEX ou CAV	Toxique	Sol	18.20000076	mg/kg MS	0.300000012	0.00346931
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	3.69997E-08
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	2.76799E-11
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	3.05658E-11
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	6.12029E-10
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	1.43508E-12
Chrysène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	9.76002E-11
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.150000006	mg/kg MS	0.100000001	2.51165E-09
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.063000001	mg/kg MS	0.100000001	6.05802E-13
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	9.33526E-08
Pyrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.109999999	mg/kg MS	0.100000001	2.12864E-09

Nom_produit	Milieu	C air du sol (mg/m3)	C_PE	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Aliphatique C>10-C12	Sol	1625.455933	0.029884512	0.017766956	0.024235111			
Aromatiques>10-12	Sol	188.6734314	0.00346931	0.010312879	0.014067337			
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	0.002004168	3.69997E-08			1.03701E-09	2.82907E-10	1.31991E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	1.37854E-06	2.76799E-11			7.75794E-14	2.11645E-14	9.8744E-14
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	1.28608E-06	3.05658E-11			8.56679E-13	2.33711E-13	1.09039E-12
Benzo(a)Anthracène	Sol	3.2453E-05	6.12029E-10			1.71536E-11	4.67969E-12	2.18333E-11
Benzo(a)Pyrène	Sol	5.446E-08	1.43508E-12			4.02215E-13	1.09729E-13	5.11944E-13
Chrysène	Sol	4.99232E-06	9.76002E-11			2.73548E-13	7.46269E-14	3.48175E-13
Fluoranthène	Sol	0.000133584	2.51165E-09			7.0395E-13	1.92045E-13	8.95996E-13
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	2.32074E-08	6.05802E-13			1.69791E-14	4.63208E-15	2.16111E-14
Phénanthrène	Sol	0.004989949	9.33526E-08			2.61643E-11	7.13791E-12	3.33022E-11
Pyrène	Sol	0.000113191	2.12864E-09			5.96604E-13	1.6276E-13	7.59364E-13

Inhalation à l'extérieur des bâtiments

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Masse volumique du sol	1.700000048	g/cm3	BP RISC
Fraction de carbone organique	0.0053	-	
Longueur de la zone polluée	50	m	
Teneur en air du sol	0.172000006		
Teneur en eau du sol	0.310000002		
Vitesse du vent	3.599999905	m/s	Valeur sécuritaire

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	50	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (enfants)	68	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Hauteur de la zone de mélange (adultes)	1.5	m	Valeur du modèle HESP
Hauteur de la zone de mélange (enfants)	1	m	Valeur du modèle HESP

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Aliphatique C>10-C12	Aliphatiques	Toxique	Sol	18.20000076	mg/kg MS	0.300000012	0.006146768
Aromatiques>10-12	BTEX ou CAV	Toxique	Sol	18.20000076	mg/kg MS	0.300000012	0.000717101
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	8.88778E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	2.11696E-10
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	3.52805E-10
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	1.19465E-09
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	1.87557E-11
Chrysène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	6.3921E-10
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.150000006	mg/kg MS	0.100000001	2.4293E-09
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.063000001	mg/kg MS	0.100000001	7.84159E-12
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	4.9223E-08
Pyrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.109999999	mg/kg MS	0.100000001	2.12862E-09

Nom_produit	Milieu	C air du sol (mg/m3)	C_PE	C_PE2	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Aliphatique C>10-C12	Sol	1625.455933	0.006146768	0.009220134	0.000842023	0.001717724			
Aromatiques>10-12	Sol	188.6734314	0.000717101	0.001075649	0.000491165	0.001001974			
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	0.002004168	8.88778E-09	1.33316E-08			5.73966E-11	2.34178E-11	8.08144E-11
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	1.37854E-06	2.11696E-10	3.17519E-10			1.36711E-13	5.5774E-14	1.92485E-13
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	1.28608E-06	3.52805E-10	5.29135E-10			2.27839E-12	9.29455E-13	3.20784E-12
Benzo(a)Anthracène	Sol	3.2453E-05	1.19465E-09	1.79194E-09			7.71495E-12	3.14764E-12	1.08626E-11
Benzo(a)Pyrène	Sol	5.446E-08	1.87557E-11	2.81287E-11			1.21123E-12	4.94097E-13	1.70533E-12
Chrysène	Sol	4.99232E-06	6.3921E-10	9.58754E-10			4.12797E-13	1.6841E-13	5.81208E-13
Fluoranthène	Sol	0.000133584	2.4293E-09	3.64392E-09			1.56883E-13	6.40075E-14	2.2089E-13
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	2.32074E-08	7.84159E-12	1.17604E-11			5.06404E-14	2.06578E-14	7.12982E-14
Phénanthrène	Sol	0.004989949	4.9223E-08	7.38341E-08			3.17878E-12	1.29694E-12	4.47572E-12
Pyrène	Sol	0.000113191	2.12862E-09	3.1929E-09			1.37465E-13	5.6085E-14	1.9355E-13

Inhalation de poussières

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Fraction de sol dans les particules dans l'air ext	0.5	-	Valeur du modèle HESP
Fraction de sol dans les particules dans l'air int	0.800000012	-	Valeur du modèle HESP
Conc. en particules en susp. dans l'air ext.	7E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP
Conc. en particules en susp. dans l'air int.	5.25E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en extérieur Adultes	50	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en extérieur Enfants	68	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en intérieur Adultes	217	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en intérieur Enfants	296	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Poids adultes	70	kg	Valeur du modèle HESP
Poids enfant	15	kg	Valeur du modèle HESP

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	4.9E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	2.625E-09
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	1.75E-09
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	2.625E-09
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	3.08E-09
Chrysène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	3.08E-09
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.150000006	mg/kg MS	0.100000001	5.25E-09
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.063000001	mg/kg MS	0.100000001	2.205E-09
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	1.75E-09
Pyrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.109999999	mg/kg MS	0.100000001	3.85E-09

Nom produit	Milieu	C_PE	C_PE2	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	4.9E-09	5.88E-09	1.96445E-10	5.35667E-11	2.50012E-10
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	2.625E-09	3.15E-09	1.05238E-11	2.86964E-12	1.33935E-11
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	1.75E-09	2.1E-09	7.01589E-11	1.9131E-11	8.92899E-11
Benzo(a)Anthracène	Sol	2.625E-09	3.15E-09	1.05238E-10	2.86964E-11	1.33935E-10
Benzo(a)Pyrène	Sol	3.08E-09	3.696E-09	1.2348E-09	3.36705E-10	1.5715E-09
Chrysène	Sol	3.08E-09	3.696E-09	1.2348E-11	3.36705E-12	1.5715E-11
Fluoranthène	Sol	5.25E-09	6.3E-09	2.10477E-12	5.73929E-13	2.6787E-12
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	2.205E-09	2.646E-09	8.84002E-11	2.4105E-11	1.12505E-10
Phénanthrène	Sol	1.75E-09	2.1E-09	7.01589E-13	1.9131E-13	8.92899E-13
Pyrène	Sol	3.85E-09	4.62E-09	1.5435E-12	4.20881E-13	1.96438E-12

Ingestion de sol

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	365	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (enfants)	365	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Poids adultes	70	kg	Valeur du modèle HESP
Poids enfant	15	kg	Valeur du modèle HESP
Quantité de sol ingérée (adultes)	5E-05	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Quantité de sol ingérée (enfants)	9.1E-05	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	0.140000001
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	0.075000003
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	0.050000001
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérogène	Sol	0.075000003	mg/kg MS	0.100000001	0.075000003
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	0.088
Chrysène	HAP	Cancérogène	Sol	0.088	mg/kg MS	0.100000001	0.088
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.150000006	mg/kg MS	0.100000001	0.150000006
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.063000001	mg/kg MS	0.100000001	0.063000001
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.050000001	mg/kg MS	0.100000001	0.050000001
Pyrène	HAP	Toxique et cancérogène	Sol	0.109999999	mg/kg MS	0.100000001	0.109999999

Nom_produit	Milieu	C_PE	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	0.140000001			8.57143E-10	1.456E-09	2.31314E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	0.075000003	1.78571E-06	1.51667E-05	4.59184E-11	7.8E-11	1.23918E-10
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	0.050000001			3.06122E-10	5.2E-10	8.26122E-10
Benzo(a)Anthracène	Sol	0.075000003			4.59184E-10	7.8E-10	1.23918E-09
Benzo(a)Pyrène	Sol	0.088			5.38776E-09	9.152E-09	1.45398E-08
Chrysène	Sol	0.088			5.38776E-11	9.152E-11	1.45398E-10
Fluoranthène	Sol	0.150000006	2.67857E-06	2.275E-05	9.18367E-12	1.56E-11	2.47837E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	0.063000001			3.85714E-10	6.552E-10	1.04091E-09
Phénanthrène	Sol	0.050000001	8.92857E-07	7.58333E-06	3.06122E-12	5.2E-12	8.26123E-12
Pyrène	Sol	0.109999999	2.61905E-06	2.22444E-05	6.73469E-12	1.144E-11	1.81747E-11

Ingestion de végétaux

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Masse volumique du sol	1.700000048	g/cm3	BP RISC
Vitesse de déposition	0.00023	kg/m2/j	Valeur du modèle HESP
Effet Weathering	0.033	j-1	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fraction de sol interceptée	0.400000006		INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fraction de carbone organique	0.0053	-	
Fraction de sol dans les particules dans l'air ext	0.5	-	Valeur du modèle HESP
Durée des cultures	180	j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Teneur en eau du sol	0.310000002		
Teneur en matière sèche feuillus	0.116999999		INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Teneur en matière sèche racinaires	0.202000007		INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Rendement de production	0.280000001	kg/m2	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	365	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (enfants)	365	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Poids adultes	70	kg	Valeur du modèle HESP
Poids enfant	15	kg	Valeur du modèle HESP
Qtt de vég. frais feuillus consommée (adultes)	0.066	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Qtt de vég. frais feuillus consommée (enfants)	0.0287	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Qtt de vég. frais racinaires consommée (adulte)	0.068999998	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Qtt de vég. frais racinaires consommée (enfant)	0.040600002	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérogène	Sol	0.888999999	mg/kg MS	0.100000001	1.82965E-08

Nom_produit	Milieu	C_PE	C_PE2	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Benzo(a)Pyrène	Sol	1.82965E-08	0.000430963	3.48304E-08	1.41364E-08	4.89669E-08

Scenario : Usage jardin public

Inhalation en extérieur

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Masse volumique du sol	1.700000048	g/cm3	BP RISC
Fraction de carbone organique	0.0053	-	
Longueur de la zone polluée	50	m	
Teneur en air du sol	0.172000006		
Teneur en eau du sol	0.310000002		
Vitesse du vent	3.599999905	m/s	Valeur sécuritaire

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	15	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (enfants)	15	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Hauteur de la zone de mélange (adultes)	1.5	m	Valeur du modèle HESP
Hauteur de la zone de mélange (enfants)	1	m	Valeur du modèle HESP

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Acénaphthylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.037	mg/kg MS	0.100000001	5.91753E-08
Aliphatique C>10-C12	Aliphatiques	Toxique	Sol	5.760000229	mg/kg MS	0.300000012	0.001945351
Anthracène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.061999999	mg/kg MS	0.100000001	7.18756E-09
Aromatiques>10-12	BTEX ou CAV	Toxique	Sol	5.760000229	mg/kg MS	0.300000012	0.000226951
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	1.2062E-08
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.098999999	mg/kg MS	0.100000001	2.79438E-10
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.074000001	mg/kg MS	0.100000001	5.22151E-10
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	1.91144E-09
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	2.5576E-11
Chrysène	HAP	Cancérigène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	1.01693E-09
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.310000002	mg/kg MS	0.100000001	5.02056E-09
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.086999997	mg/kg MS	0.100000001	1.08289E-11
Mercure	Métaux	Toxique	Sol	0.007	mg/kg MS	0.300000012	2.39425E-08
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	1.87047E-07
Pyrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.209999993	mg/kg MS	0.100000001	4.06372E-09

Nom produit	Milieu	C air du sol (mg/m3)	C_PE	C_PE2	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Acénaphthylène	Sol	0.009708185	5.91753E-08	8.87626E-08			1.14645E-12	3.43933E-13	1.49038E-12
Aliphatique C>10-C12	Sol	514.4299927	0.001945351	0.002918021	7.99459E-05	0.000119919			
Anthracène	Sol	0.00097278	7.18756E-09	1.07813E-08			1.3925E-12	4.17749E-13	1.81025E-12
Aromatiques>10-12	Sol	59.7120285	0.000226951	0.000340425	4.66337E-05	6.99504E-05			
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	0.002719942	1.2062E-08	1.80929E-08			2.33686E-11	7.01057E-12	3.03792E-11
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	1.81967E-06	2.79438E-10	4.19125E-10			5.41377E-14	1.62401E-14	7.03778E-14
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	1.9034E-06	5.22151E-10	7.83119E-10			1.0116E-12	3.0344E-13	1.31504E-12

Nom_produit	Milieu	C air du sol (mg/m3)	C_PE	C_PE2	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Benzo(a)Anthracène	Sol	5.19248E-05	1.91144E-09	2.8671E-09			3.70318E-12	1.11093E-12	4.81411E-12
Benzo(a)Pyrène	Sol	7.42636E-08	2.5576E-11	3.83574E-11			4.95503E-13	1.48625E-13	6.44129E-13
Chrysène	Sol	7.94233E-06	1.01693E-09	1.52529E-09			1.97017E-13	5.91013E-14	2.56118E-13
Fluoranthène	Sol	0.000276074	5.02056E-09	7.53077E-09			9.72672E-14	2.91799E-14	1.26447E-13
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	3.20483E-08	1.08289E-11	1.62406E-11			2.09796E-14	6.29282E-15	2.72724E-14
Mercure	Sol	0.020526789	2.39425E-08	3.59137E-08	3.27979E-06	4.91968E-06			
Phénanthrène	Sol	0.018961804	1.87047E-07	2.8057E-07			3.62381E-12	1.08714E-12	4.71095E-12
Pyrène	Sol	0.000216093	4.06372E-09	6.09553E-09			7.87297E-14	2.36187E-14	1.02348E-13

Inhalation de poussière

Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Fraction de sol dans les particules dans l'air ext	0.5	-	Valeur du modèle HESP
Fraction de sol dans les particules dans l'air int	0.800000012	-	Valeur du modèle HESP
Conc. en particules en susp. dans l'air ext.	7E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP
Conc. en particules en susp. dans l'air int.	5.25E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en extérieur Adultes	15	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en extérieur Enfants	15	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en intérieur Adultes	0	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition en intérieur Enfants	0	j/an	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Poids adultes	70	kg	Valeur du modèle HESP
Poids enfant	15	kg	Valeur du modèle HESP

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Acénaphthylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.037	mg/kg MS	0.100000001	1.295E-09
Aliphatique C>16-C35	Aliphatiques	Toxique	Sol	12	mg/kg MS	0.100000001	4.2E-07
Anthracène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.061999999	mg/kg MS	0.100000001	2.17E-09
Aromatiques>21-35	BTEX ou CAV	Toxique	Sol	12	mg/kg MS	0.100000001	4.2E-07
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	6.65E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.098999999	mg/kg MS	0.100000001	3.465E-09
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.074000001	mg/kg MS	0.100000001	2.59E-09
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	4.2E-09
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	4.2E-09
Chrysène	HAP	Cancérigène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	4.9E-09
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.310000002	mg/kg MS	0.100000001	1.085E-08
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.086999997	mg/kg MS	0.100000001	3.045E-09
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	6.65E-09
Pyrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.209999993	mg/kg MS	0.100000001	7.35E-09

Nom_produit	Milieu	C_PE	C_PE2	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Acénaphthylène	Sol	1.295E-09	1.554E-09	2.5089E-14	5.01781E-15	3.01069E-14
Aliphatique C>16-C35	Sol	4.2E-07	5.04E-07			
Anthracène	Sol	2.17E-09	2.604E-09	4.20411E-13	8.40822E-14	5.04493E-13
Aromatiques>21-35	Sol	4.2E-07	5.04E-07			
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	6.65E-09	7.98E-09	1.28836E-11	2.57671E-12	1.54603E-11
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	3.465E-09	4.158E-09	6.71301E-13	1.3426E-13	8.05562E-13
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	2.59E-09	3.108E-09	5.01781E-12	1.00356E-12	6.02137E-12
Benzo(a)Anthracène	Sol	4.2E-09	5.04E-09	8.13699E-12	1.6274E-12	9.76438E-12
Benzo(a)Pyrène	Sol	4.2E-09	5.04E-09	8.13699E-11	1.6274E-11	9.76438E-11
Chrysène	Sol	4.9E-09	5.88E-09	9.49315E-13	1.89863E-13	1.13918E-12
Fluoranthène	Sol	1.085E-08	1.302E-08	2.10205E-13	4.20411E-14	2.52247E-13
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	3.045E-09	3.654E-09	5.89931E-12	1.17986E-12	7.07918E-12
Phénanthrène	Sol	6.65E-09	7.98E-09	1.28836E-13	2.57671E-14	1.54603E-13
Pyrène	Sol	7.35E-09	8.82E-09	1.42397E-13	2.84794E-14	1.70877E-13

Ingestion de sol

Paramètres d'exposition	Valeur	Unités	Justification
Durée d'exposition (adultes)	30	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Durée d'exposition (enfants)	6	ans	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Fréquence d'exposition (adultes)	365	j/an	
Fréquence d'exposition (enfants)	365	j/an	
Poids adultes	70	kg	Valeur du modèle HESP
Poids enfant	15	kg	Valeur du modèle HESP
Quantité de sol ingérée (adultes)	5E-05	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001
Quantité de sol ingérée (enfants)	9.1E-05	kg/j	INERIS - Méthode de Calcul des VCI - 2001

Dénomination	Type	Effet	Milieu	Concentration de la source	Unité	Profondeur de la source (m)	Concentration au point d'exposition
Acénaphthylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.037	mg/kg MS	0.100000001	0.037
Aliphatique C>16-C35	Aliphatiques	Toxique	Sol	12	mg/kg MS	0.100000001	12
Anthracène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.061999999	mg/kg MS	0.100000001	0.061999999
Aromatiques>21-35	BTEX ou CAV	Toxique	Sol	12	mg/kg MS	0.100000001	12
Benzo (b)Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	0.189999998
Benzo (g,h,i)Pérylène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.098999999	mg/kg MS	0.100000001	0.098999999
Benzo (k) Fluoranthène	HAP	Cancérigène	Sol	0.074000001	mg/kg MS	0.100000001	0.074000001
Benzo(a)Anthracène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	0.119999997
Benzo(a)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.119999997	mg/kg MS	0.100000001	0.119999997
Chrysène	HAP	Cancérigène	Sol	0.140000001	mg/kg MS	0.100000001	0.140000001
Fluoranthène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.310000002	mg/kg MS	0.100000001	0.310000002
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	HAP	Cancérigène	Sol	0.086999997	mg/kg MS	0.100000001	0.086999997
Phénanthrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.189999998	mg/kg MS	0.100000001	0.189999998
Pyrène	HAP	Toxique et cancérigène	Sol	0.209999993	mg/kg MS	0.100000001	0.209999993

Nom produit	Milieu	C_PE	IR_Ad	IR_Enf	ERI_Ad	ERI_Enf	ERI total
Acénaphthylène	Sol	0.037	6.60714E-06	5.61167E-05	2.26531E-12	3.848E-12	6.11331E-12
Aliphatique C>16-C35	Sol	12	4.28571E-06	3.64E-05			
Anthracène	Sol	0.061999999	1.47619E-07	1.25378E-06	3.79592E-11	6.448E-11	1.02439E-10
Aromatiques>21-35	Sol	12	0.000285714	0.002426667			
Benzo (b)Fluoranthène	Sol	0.189999998			1.16327E-09	1.976E-09	3.13927E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène	Sol	0.098999999	2.35714E-06	2.002E-05	6.06122E-11	1.0296E-10	1.63572E-10
Benzo (k) Fluoranthène	Sol	0.074000001			4.53061E-10	7.696E-10	1.22266E-09
Benzo(a)Anthracène	Sol	0.119999997			7.34694E-10	1.248E-09	1.98269E-09
Benzo(a)Pyrène	Sol	0.119999997			7.34694E-09	1.248E-08	1.98269E-08
Chrysène	Sol	0.140000001			8.57143E-11	1.456E-10	2.31314E-10
Fluoranthène	Sol	0.310000002	5.53571E-06	4.70167E-05	1.89796E-11	3.224E-11	5.12196E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	Sol	0.086999997			5.32653E-10	9.048E-10	1.43745E-09
Phénanthrène	Sol	0.189999998	3.39286E-06	2.88167E-05	1.16327E-11	1.976E-11	3.13927E-11
Pyrène	Sol	0.209999993	5E-06	4.24667E-05	1.28571E-11	2.184E-11	3.46971E-11

Annexe 10 : Résultats des calculs de risques

(4 pages)

Scenario : usage résidentiel

Résultats des calculs de risque – effets cancérigènes

ERI Adultes	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de poussières	Inhalation de vapeurs en intérieur	Somme
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	8.57E-10		5.74E-11	1.96E-10	1.04E-09	2.15E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	4.59E-11		1.37E-13	1.05E-11	7.76E-14	5.67E-11
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	3.06E-10		2.28E-12	7.02E-11	8.57E-13	3.79E-10
Benzo(a)Anthracène (Sol)	4.59E-10		7.71E-12	1.05E-10	1.72E-11	5.89E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	5.39E-09	3.48E-08	1.21E-12	1.23E-09	4.02E-13	4.15E-08
Chrysène (Sol)	5.39E-11		4.13E-13	1.23E-11	2.74E-13	6.69E-11
Fluoranthène (Sol)	9.18E-12		1.57E-13	2.10E-12	7.04E-13	1.21E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	3.86E-10		5.06E-14	8.84E-11	1.70E-14	4.74E-10
Phénanthrène (Sol)	3.06E-12		3.18E-12	7.02E-13	2.62E-11	3.31E-11
Pyrène (Sol)	6.73E-12		1.37E-13	1.54E-12	5.97E-13	9.01E-12
Somme	7.51E-09	3.48E-08	7.27E-11	1.72E-09	1.08E-09	4.52E-08

ERI Enfants	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de poussières	Inhalation de vapeurs en intérieur	Somme
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	1.46E-09		2.34E-11	5.36E-11	2.83E-10	1.82E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	7.80E-11		5.58E-14	2.87E-12	2.12E-14	8.09E-11
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	5.20E-10		9.29E-13	1.91E-11	2.34E-13	5.40E-10
Benzo(a)Anthracène (Sol)	7.80E-10		3.15E-12	2.87E-11	4.68E-12	8.17E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	9.15E-09	1.41E-08	4.94E-13	3.37E-10	1.10E-13	2.36E-08
Chrysène (Sol)	9.15E-11		1.68E-13	3.37E-12	7.46E-14	9.51E-11
Fluoranthène (Sol)	1.56E-11		6.40E-14	5.74E-13	1.92E-13	1.64E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	6.55E-10		2.07E-14	2.41E-11	4.63E-15	6.79E-10
Phénanthrène (Sol)	5.20E-12		1.30E-12	1.91E-13	7.14E-12	1.38E-11
Pyrène (Sol)	1.14E-11		5.61E-14	4.21E-13	1.63E-13	1.21E-11
Somme	1.28E-08	1.41E-08	2.97E-11	4.70E-10	2.96E-10	2.77E-08

Résultats des calculs de risque – effets toxiques

QD Adultes	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de vapeurs en intérieur	Somme
Aliphatique C>10-C12 (Sol)		8.42E-04	1.78E-02	1.86E-02
Aromatiques>10-12 (Sol)		4.91E-04	1.03E-02	1.08E-02
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	1.79E-06			1.79E-06
Fluoranthène (Sol)	2.68E-06			2.68E-06
Phénanthrène (Sol)	8.93E-07			8.93E-07
Pyrène (Sol)	2.62E-06			2.62E-06
Somme	7.98E-06	1.33E-03	2.81E-02	2.94E-02

QD Enfants	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de vapeurs en intérieur	Somme
Aliphatique C>10-C12 (Sol)		1.72E-03	2.42E-02	2.60E-02
Aromatiques>10-12 (Sol)		1.00E-03	1.41E-02	1.51E-02
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	1.52E-05			1.52E-05
Fluoranthène (Sol)	2.28E-05			2.28E-05
Phénanthrène (Sol)	7.58E-06			7.58E-06
Pyrène (Sol)	2.22E-05			2.22E-05
Somme	6.77E-05	2.72E-03	3.83E-02	4.11E-02

Scenario : usage jardin public

Résultats des calculs de risque – effets cancérigènes

ERI Adultes	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de poussières	Somme
Acénaphthylène (Sol)	2.27E-12	1.15E-12	2.51E-14	3.44E-12
Anthracène (Sol)	3.80E-11	1.39E-12	4.20E-13	3.98E-11
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	1.16E-09	2.34E-11	1.29E-11	1.20E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	6.06E-11	5.41E-14	6.71E-13	6.13E-11
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	4.53E-10	1.01E-12	5.02E-12	4.59E-10
Benzo(a)Anthracène (Sol)	7.35E-10	3.70E-12	8.14E-12	7.47E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	7.35E-09	4.96E-13	8.14E-11	7.43E-09
Chrysène (Sol)	8.57E-11	1.97E-13	9.49E-13	8.69E-11
Fluoranthène (Sol)	1.90E-11	9.73E-14	2.10E-13	1.93E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	5.33E-10	2.10E-14	5.90E-12	5.39E-10
Phénanthrène (Sol)	1.16E-11	3.62E-12	1.29E-13	1.54E-11
Pyrène (Sol)	1.29E-11	7.87E-14	1.42E-13	1.31E-11
Somme	1.05E-08	3.52E-11	1.16E-10	1.06E-08

ERI Enfants	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Inhalation de poussières	Somme
Acénaphthylène (Sol)	3.85E-12	3.44E-13	5.02E-15	4.20E-12
Anthracène (Sol)	6.45E-11	4.18E-13	8.41E-14	6.50E-11
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	1.98E-09	7.01E-12	2.58E-12	1.99E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	1.03E-10	1.62E-14	1.34E-13	1.03E-10
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	7.70E-10	3.03E-13	1.00E-12	7.71E-10
Benzo(a)Anthracène (Sol)	1.25E-09	1.11E-12	1.63E-12	1.25E-09
Benzo(a)Pyrène (Sol)	1.25E-08	1.49E-13	1.63E-11	1.25E-08
Chrysène (Sol)	1.46E-10	5.91E-14	1.90E-13	1.46E-10
Fluoranthène (Sol)	3.22E-11	2.92E-14	4.20E-14	3.23E-11
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	9.05E-10	6.29E-15	1.18E-12	9.06E-10
Phénanthrène (Sol)	1.98E-11	1.09E-12	2.58E-14	2.09E-11
Pyrène (Sol)	2.18E-11	2.36E-14	2.85E-14	2.19E-11
Somme	1.78E-08	1.06E-11	2.32E-11	1.78E-08

Résultats des calculs de risque – effets toxiques

QD Adultes	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Somme
Acénaphthylène (Sol)	6.61E-06		6.61E-06
Aliphatique C>10-C12 (Sol)		7.99E-05	7.99E-05
Aliphatique C>16-C35 (Sol)	4.29E-06		4.29E-06
Anthracène (Sol)	1.48E-07		1.48E-07
Aromatiques>10-12 (Sol)		4.66E-05	4.66E-05
Aromatiques>21-35 (Sol)	2.86E-04		2.86E-04
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	2.36E-06		2.36E-06
Fluoranthène (Sol)	5.54E-06		5.54E-06
Mercure (Sol)		3.28E-06	3.28E-06
Phénanthrène (Sol)	3.39E-06		3.39E-06
Pyrène (Sol)	5.00E-06		5.00E-06
Somme	3.13E-04	1.30E-04	4.43E-04

QD Enfants	Ingestion de sol	Inhalation de vapeurs en extérieur	Somme
Acénaphthylène (Sol)	5.61E-05		5.61E-05
Aliphatique C>10-C12 (Sol)		1.20E-04	1.20E-04
Aliphatique C>16-C35 (Sol)	3.64E-05		3.64E-05
Anthracène (Sol)	1.25E-06		1.25E-06
Aromatiques>10-12 (Sol)		7.00E-05	7.00E-05
Aromatiques>21-35 (Sol)	2.43E-03		2.43E-03
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	2.00E-05		2.00E-05
Fluoranthène (Sol)	4.70E-05		4.70E-05
Mercure (Sol)		4.92E-06	4.92E-06
Phénanthrène (Sol)	2.88E-05		2.88E-05
Pyrène (Sol)	4.25E-05		4.25E-05
Somme	2.66E-03	1.95E-04	2.85E-03



Fiche signalétique

Rapport

Titre : Rapport final de fin de travaux – Ancienne fonderies de Saulnières

Numéro et indice de version : A 77782/B

Date d'envoi : Novembre 2014

Nombre d'annexes dans le texte : 4

Nombre de pages : 31

Nombre d'annexes en volume séparé : 6

Diffusion (nombre et destinataires) :

2 ex. *Client*

Client

Coordonnées complètes : Dreux Agglomération - 4, rue de Châteaudun – 28109 DREUX

Téléphone : 02.37.64.82.56 – 06.29.99.30.34

Télécopie :

Nom et fonction des interlocuteurs : Emilie NEVEU – Chargée des grands projets urbains

Antea Group

Unité réalisatrice : PENV

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial : Damien RONSSE

Responsable de projet : Frédérique PASQUIER

Auteur : Martin JUNQUET

Secrétariat : Martine JANVIER

Qualité

Contrôlé par : *Sophie FAVEREAUX / Frédérique PASQUIER*

Date : 20/11/2014

N° du projet : *CENP120026*

Références et date de la commande : 2014-400-002557 du 14/10/2014

Mots clés : ARR, Risque sanitaire

Commune : Saulnières

Codification NF X31-620 : A320