

PIÈCE ANNEXE 05
**EVALUATION QUANTITATIVE DES
RISQUES SANITAIRES**

NEXITY IR PROGRAMMES SEERI
SAS au capital de 3 000 000 Euros
RCS LILLE METROPOLE 824 950 797
Siège Social : 25 allée Vauban - CS 50068 - 59500 La Madeleine Cedex
Bureaux : 19 rue de Vienne - TSA 60030 - 75801 Paris Cedex 06

**DOSSIER DE PERMIS
DE CONSTRUIRE**

OPERATION
QUAI DE LA GIRONDE
Programme mixte anciens entrepôts EMSALEM
Quai de la gironde , 75019 PARIS

MAITRE D'OUVRAGE
NEXITY IR PROGRAMMES
SEERI
25 Allée Vauban
CS 5006859 562 LA
MADELEINE CEDEX

MAÎTRISE D'OEUVRE

PETITDIDIERPRIoux
47, rue Popincourt
75011 Paris
FRANCE
+33 (0)1 58 30 53 53

OYAPOCK
23 Passage de la main d'or
75011 Paris
FRANCE
+33 6 87 40 49 44

Agence Pierre Antoine Gatier
30 rue Guynemer
75006 Paris
FRANCE
+33 (0)1 40 46 08 80 66

DESCRIPTION

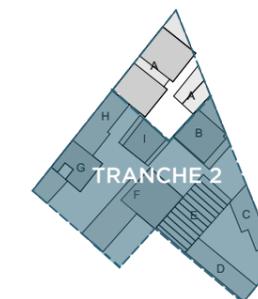
A5
EQRS

EMETTEUR	EHELLE
PPX	



LEGENDE

----- Limite unité foncière



A5

EQRS	INDICE PIÈCE COMPLÉTÉE MARS 2024
------	--

PHASE PC

DATE : MARS 2024

XI. ÉVALUATION PRÉDICTIVE DES RISQUES SANITAIRES

Pour rappel, un spot de pollution ponctuelle aux hydrocarbures (HAP et dans une moindre mesure HCT) a été mis au jour dans les remblais superficiels, ainsi que des marquages diffus en éléments traces métalliques et organiques majoritairement dans les remblais de surface. Aucun impact probant en polluants métalliques et organiques n'a été détecté dans les gaz du sol et les eaux souterraines.

Une partie du spot de pollution sera nécessairement retirée dans le cadre de l'aménagement du projet (terrassements du futur sous-sol). La purge complète du spot étant requise au regard de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, l'objectif de l'analyse prédictive des enjeux sanitaires (ou évaluation des risques sanitaires – ERS) est dans le cas présent de vérifier que les concentrations résiduelles laissées en place à l'issue de l'aménagement du projet (terrassements du sous-sol) et de la purge du spot de pollution aux hydrocarbures sont compatibles sanitaires avec ce dernier.

Aussi, cette évaluation des risques sanitaires (ERS) a également pour but de déterminer les éventuelles voies de transfert engendrant des risques sanitaires non compatibles avec les enjeux à protéger vis-à-vis des marquages diffus en métaux et en polluants organiques, en l'absence de valeurs de gestion.

1. MÉTHODOLOGIE ET CONTENU DE L'ERS PRÉDICTIVE

L'Évaluation des Risques Sanitaires (ERS) ou Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive a pour objectif :

- D'évaluer la nature des risques éventuels dus aux substances présentes sur le site en considérant son usage futur ;
- De quantifier les risques sur la santé humaine engendrés par la pollution présente sur le site en fonction de l'usage actuel ou prévu du site ;
- D'évaluer si ces risques sont compatibles avec l'usage actuel du site ou son usage futur en cas de réaménagement ;
- Si nécessaire, d'identifier les mesures correctives qui devront être prises afin d'assurer la protection des usagers futurs du site (restrictions d'usage, aménagements) ;
- Dans le cas d'une Analyse des risques résiduels (ARR), de valider l'adéquation entre les concentrations résiduelles mesurées et les projets d'aménagements.

L'analyse des enjeux sanitaires prend en compte différents paramètres :

- Les concentrations mesurées ou modélisées dans les milieux d'exposition ;
- Les voies d'exposition aux substances (inhalation, ingestion...) ;
- Les paramètres physico-chimiques des substances (volatilité, solubilité...) ;
- Les paramètres d'exposition (temps de présence sur site, quantité de polluant en contact avec les usagers...) ;
- Les paramètres des bâtiments (épaisseur de dalle, volume de dilution, taux de renouvellement de l'air...) ;
- La toxicologie des substances (valeurs toxicologiques de référence).

La prise en compte de ces paramètres permet d'estimer des niveaux de risque appelés :

- Quotient de Danger (QD) qui traduit le caractère toxique des substances ;
- Excès de Risque Individuel (ERI) qui traduit le caractère cancérigène des substances.

Pour les quotients de danger, la limite d'acceptabilité fixée par la méthodologie nationale des sites et sols pollués est de 1.

Lorsque le quotient de danger calculé est inférieur à cette limite, il est considéré que la probabilité de voir l'apparition d'un effet adverse est nulle. Au-delà de cette limite, la probabilité de voir apparaître un effet adverse est de 100%. La gravité des symptômes sera d'autant plus importante que le quotient de danger

sera important. Ce type de toxicité est donc dit « à seuil », puisqu'en deçà du seuil, aucun effet délétère n'est présent.

L'excès de risque individuel traduit la probabilité de voir des effets cancérigènes apparaître. Cette probabilité n'est donc jamais nulle (sauf si la substance n'est pas cancérigène). Par opposition à l'effet « à seuil », ce type de toxicité est donc dit « sans seuil ». La limite d'acceptabilité est fixée à 10^{-5} , c'est-à-dire une probabilité de 1 chance sur 100 000 de voir apparaître des effets cancérigènes.

La méthodologie générale détaillée de l'analyse des enjeux sanitaires est donnée en annexe 18.

2. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS RETENUS ET DES VOIES D'EXPOSITION

Au vu des données disponibles à ce jour, sept scénarios « source de pollution-transfert » seront présents pour ce projet.

Ces scénarios d'exposition prennent en compte les aménagements projetés, les enjeux (cibles humaines) identifiés, ainsi que les voies d'exposition potentielles. Les cibles seront définies dans le chapitre suivant.

2.1. Vis-à-vis des polluants non volatils

Les terres impactées étant potentiellement laissées à nu au niveau des espaces verts, des contacts directs avec les futurs usagers sont possibles : ingestion de sol, inhalation de poussière. Ces voies d'exposition doivent être prises en compte.

La typologie des futurs espaces verts n'étant pas encore définie à ce stade, la voie par ingestion indirecte par transfert racinaire de plantes comestibles doit également être prise en compte.

2.2. Vis-à-vis des polluants volatils

Compte tenu de la présence de polluants organiques volatils au droit du site, les voies d'exposition par inhalation en air extérieur et en air intérieur doivent être quantifiées dans ce calcul de risque.

2.3. Synthèse des scénarios

Le tableau suivant synthétise les voies d'exposition retenues.

Scénario	Zone identifiée	Voie d'exposition
1	Ensemble du site	Inhalation de poussières
2	Espace verts, jardins, zone de pleine terre sans couverture	Ingestion de sol
3	Jardin privatif, jardin potager	Consommation de végétaux autoproduits
4	Espaces extérieurs	Inhalation en air extérieur
5	Bâtiment sur sous-sol	Inhalation en air intérieur Sous-sol
6	Bâtiment sur sous-sol	Inhalation en air intérieur Rez-de-chaussée sur sous-sol
7	Bâtiment sur pleine terre	Inhalation en air intérieur Rez-de-chaussée sur pleine terre

Tableau 48 : Présentation des voies d'exposition retenues pour l'évaluation des risques sanitaires

2.4. Scénarios non développés

Deux voies d'exposition potentielles ne seront pas développées dans cette étude. Il s'agit de la voie d'exposition par contact cutané et de la contamination de l'adduction d'eau potable par perméation.

Il n'est pas possible de modéliser la voie d'exposition par contact cutané car il n'existe pas de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) pour transcrire le niveau de toxicité des substances pour cette voie d'exposition. De plus les mécanismes de contamination sont mal connus et donc difficilement modélisables. Enfin, cette voie d'exposition est négligeable par rapport à la voie d'exposition par ingestion de sol. Le mode de transfert étant le même pour ces deux voies, les moyens mis en place pour supprimer la voie ingestion supprimeront également la voie par contact cutané. Dans le cas où la voie ingestion serait défavorable, la voie par contact cutané serait gérée en même temps.

La voie d'exposition par perméation n'a pas été prise en compte dans cette évaluation. En effet, dans l'état actuel des connaissances, trop de paramètres restent imprécis ou indisponibles et de nombreux mécanismes sont mal maîtrisés et donc difficilement modélisables. Il est donc préférable de supprimer cette voie de transfert en réalisant les nouvelles canalisations dans les règles de l'art.

2.5. Justification des modèles utilisés

Les concentrations d'exposition dans tous les milieux n'ont pu être mesurées. Il est donc nécessaire de recourir à de la modélisation afin de déterminer les niveaux de risques pour les scénarios d'exposition suivants :

- Inhalation de poussières ;
- Inhalation de vapeur en air extérieur ;
- Inhalation de vapeur en air intérieur ;
- Ingestion de végétaux.

Les modèles utilisés seront :

- Le modèle inhalation de poussières de CSOIL/HESP qui permet d'estimer les concentrations en poussières en suspension dans l'air intérieur et dans l'air extérieur. *Une description de ce modèle est fournie en annexe 19 ;*
- Le modèle de Johnson & Ettinger qui permet d'estimer les concentrations dans l'air extérieur et dans l'air ambiant pour le type de bâtiment envisagé sur sous-sol. *Une description de ce modèle est fournie en annexe 20 ;*
- Le modèle de Travis & Arms qui permet d'estimer le facteur de bioconcentration pour les polluants organiques. Pour les métaux, les facteurs de bioconcentration sont issus de la littérature scientifique. *Une description de ce modèle est fournie en annexe 21.*

Les paramètres physico-chimiques des substances nécessaires au fonctionnement de ce modèle sont donnés en annexe 22.

Pour l'exposition par ingestion de sol, le milieu d'exposition (sol) ayant été analysé, il n'est pas nécessaire de recourir à de la modélisation.

3. DESCRIPTION DES ENJEUX – POPULATIONS CIBLES

Les évaluations des risques sanitaires visent à caractériser les risques chroniques de populations cibles en fonction de l'aménagement spécifique prévu du terrain. Elle ne concerne donc pas les risques « aigus » (exposition courte à de fortes doses) liés à l'aménagement même du site lors de la phase des travaux de réhabilitation et de construction.

D'après les données du projet portées à notre connaissance à ce stade, différents usages sont prévus dans les locaux situés dans le niveau de sous-sol et au rez-de-chaussée :

- Usages prévus au sous-sol :
 - Établissement d'enseignement supérieure (cours Florent) ;
 - Réserves de commerces ;
 - Salle de sport ;
 - Caves ;
- Usages prévus au rez-de-chaussée :
 - Habitation ;
 - Crèche ;
 - Restauration ;
 - Commerces ;
 - Bureaux ;
 - Salle de sport ;
 - Établissement d'enseignement supérieure (cours Florent).

Les tableaux ci-dessous synthétisent les paramètres corporels et d'exposition pour les différentes cibles envisageables pour ce projet, en fonction du niveau (RDC, sous-sol).

Niveau RDC										
Paramètres	Unité	Valeur pour l'enfant usagers de la crèche (3-36 mois)	Valeur pour l'enfant résident (0-6 ans)	Scénario le plus majorant pour cibles enfants	Valeur pour l'adulte travailleur (commerce)	Valeur pour l'adulte travailleur (école)	Valeur pour l'adulte résident (6-70 ans)	Valeur pour l'étudiant cours Florent	Scénario le plus majorant pour cibles adultes	Référence
Masse Corporelle	kg	11,9	15	Enfant résident	70	70	70	70	-	Valeur moyenne pour les enfants de 3 à 36 mois estimée d'après le "Child growth standards" de l'OMS et valeur moyenne entre les données propres à l'homme et propre à la femme. Issues du document Exposure Factor Handbook (USEPA, 1997).
Nombre de jours passés par an en intérieur	j/an	220	350		220	300	350	300		Choix du Bureau d'étude
Nombre d'heures passées en intérieur par jour	h/j	9,5	17,03		9,5	9,5	15,18	8		Budget "espace-temps" de l'INVS pour les résidents. Choix du bureau d'étude pour les enfants usagers, les étudiants et les adultes travailleurs
Fréquence d'exposition en intérieur	j/an	87,1	248,4	Enfant résident	87,1	118,8	221,4	100,0	Adulte résident	Valeur calculée à partir des durées d'exposition
Durée d'exposition en intérieur	ans	3	6		43	43	30	3		Choix du Bureau d'étude
Exposition cumulée en intérieur	j	261	1490		3745	5106	6641	300		Valeur calculée à partir des fréquences et durées d'exposition
Nombre d'heures passées en extérieur par jour	h/j	1,5	2		1,5	1,5	1	1,5		Choix du Bureau d'étude
Fréquence d'exposition en extérieur	j/an	13,8	29,2	Enfant résident	13,8	18,8	14,6	18,8	Adulte travailleur (école)	Valeur calculée à partir des durées d'exposition
Durée d'exposition en extérieur	ans	3	6		43	43	30	3		Choix du Bureau d'étude
Exposition cumulée en extérieur	j	41	175		591	806	438	56		Valeur calculée à partir des fréquences et durées d'exposition
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets à seuil	ans	3	6	Sans objet	43	43	30	3	Sans objet	Choix du Bureau d'étude
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets sans seuil	ans	70	70	-	70	70	70	70	-	Choix du Bureau d'étude
Quantité de sol ingérée par jour	mg/j	91	91	-	50	50	50	50	-	Enfant : Guide pratique des quantités de terre et de poussières ingérées (INERIS/INVS, 2012) Adulte résident : Exposure Factor Handbook (USEPA, 1997)
Quantité de fruits ingérés	g/j	53	78,1		138,4	138,4	138,4	138,4		
Quantité de "légumes-fruits" ingérée	g/j	40	97,433		183,041	183,041	183,041	183,041		Pour enfants usagers crèche : Rapport AFSSA de 2022 sur l'exposition théorique des nourissons et enfants en bas âge aux résidus de pesticides apportés par les aliments courants
Quantité de "légumes-feuilles" ingérées	g/j	22	39,612	Enfant résident en considérant l'autarcie	43,512	43,512	43,512	43,512	-	Pour les autres cibles : base de données CIBLEX pour habitation
Quantité de "légumes-racines" ingérées	g/j	26	17,917		28,578	28,578	28,578	28,578		
Quantité de "pomme de terre" ingérée	g/j	52	50,657		66,869	66,869	66,869	66,869		
Autarcie fruits	-						0,1308			
Autarcie "légumes-fruits"	-						0,1308			
Autarcie "légumes-feuilles"	-						0,2638			Base de données CIBLEX de l'ADEME appliquée à toutes les cibles
Autarcie "légumes-racines"	-						0,2433			
Autarcie "pomme de terre"	-						0,2367			

Tableau 49 : Paramètres corporels et d'exposition pour cibles envisageables au RDC

Niveau sous-sol							
Paramètres	Unité	Valeur pour l'adulte usager de la salle de sport	Valeur pour l'adulte travailleur (commerce)	Valeur pour l'adulte travailleur (école)	Valeur pour l'étudiant cours Florent	Scénario le plus majorant	Référence
Masse Corporelle	kg	70	70	70	70	-	Valeur moyenne entre les données propres à l'homme et propre à la femme, issues du document Exposure Factor Handbook (USEPA, 1997)
Nombre de jours passés par an en intérieur	j/an	350	220	300	300		Choix du Bureau d'étude
Nombre d'heures passées en intérieur par jour	h/j	2	9,5	9,5	8		Choix du bureau d'étude
Fréquence d'exposition en intérieur	j/an	29,2	87,1	118,8	100,0	Adulte travailleur (école)	Valeur calculée à partir des durées d'exposition
Durée d'exposition en intérieur	ans	30	43	43	3		Choix du Bureau d'étude
Exposition cumulée en intérieur	j	875	3745	5106	300		Valeur calculée à partir des fréquences et durées d'exposition
Nombre d'heures passées en extérieur par jour	h/j	0,5	1,5	1,5	1,5		Choix du Bureau d'étude
Fréquence d'exposition en extérieur	j/an	7,3	13,8	18,8	18,8	Adulte travailleur (école)	Valeur calculée à partir des durées d'exposition
Durée d'exposition en extérieur	ans	30	43	43	3		Choix du Bureau d'étude
Exposition cumulée en extérieur	j	219	591	806	56		Valeur calculée à partir des fréquences et durées d'exposition
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets à seuil	ans	30	43	43	3	Sans objet	Choix du Bureau d'étude
Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition pour les effets sans seuil	ans	70	70	70	70	-	Choix du Bureau d'étude

Tableau 50 : Paramètres corporels et d'exposition pour cibles envisageables au sous-sol

Au regard de ces éléments, les cibles retenues en première approche sont les cas de figure les plus majorants (expositions les plus pénalisantes car plus conséquentes que les autres cibles) :

- Pour les expositions par ingestion de sol, inhalation de poussières, consommation de végétaux autoproducts : des enfants et adultes résidents ;
- Pour les expositions par inhalation de vapeur :
 - Des adultes résidant au rez-de-chaussée et travaillant dans l'école au sous-sol ;
 - Des enfants résidant au rez-de-chaussée.

La durée d'exposition est le laps de temps passé sur le site au cours d'une vie entière.

Pour un scénario résidentiel, la valeur généralement admise pour les enfants est de 6 ans et de 30 ans pour les adultes, ne correspondant donc pas forcément avec l'espérance de vie ou la tranche d'âge considérée.

Pour un lieu de travail, la valeur admise et majorante pour les adultes est de 43 ans, ne correspondant donc pas forcément avec l'espérance de vie ou la tranche d'âge considérée.

Aucune référence dans la littérature n'est disponible pour les temps d'exposition en extérieur et dans les lieux de travail. Les temps d'exposition sont donc des choix du bureau d'étude se voulant réalistes et majorants.

De plus, il a été choisi de considérer une exposition cumulée « sous-sol + RDC » (pour les adultes), ce qui est majorant mais possible.

4. CARACTÉRISTIQUES DU SOL ET DES BÂTIMENTS

En règle générale, les caractéristiques des sols et des bâtiments sont issues le plus possible de données acquises par mesures de terrain et d'informations acquises auprès du maître d'ouvrage (plan de géomètre, plan d'architectes, données issues des études réalisées des bureaux d'études techniques...).

Lorsque des paramètres spécifiques au site ne sont pas disponibles, les valeurs utilisées sont issues de la littérature scientifique.

Afin de caractériser le type de sol sur lesquels les mesures de concentrations dans les sols et les gaz du sol ont été effectuées, en vue des calculs à mener pour les expositions par inhalation de vapeur en air intérieur et en air extérieur, des prélèvements de sols ont été sélectionnés lors de la campagne d'investigations de mars 2023 pour réaliser deux échantillons moyens afin de déterminer la granulométrie des sols en surface et en profondeur. D'après les résultats d'analyses et suivant la charte de classification des sols du « user's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings – Revised february 22, 2004 », la granulométrie réalisée pour les sols de surface caractérise le type de sol en « sables limoneux », et la granulométrie effectuée pour les sols en profondeur caractérise le sol en « sables ». Le choix du bureau d'étude est donc de retenir pour les modélisations de transfert par inhalation de vapeur en air intérieur et extérieur :

- Un sol de type « sables limoneux » pour les sols situées en surface au droit des futures zones de pleine terre (espaces extérieurs et bâtiment sur pleine terre) ;
- Un sol de type « sables » pour les sols situés sous le futur sous-sol.

Paramètre de modélisation	valeur	unité	Justification
Inhalation de poussières			
facteur de rétention des particules dans les poumons	0,75	-	Van den Beerg R. (1994) – Human exposure to soil contamination : a qualitative and quantitative analysis towards proposals for human toxicological intervention values. Nationam Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Netherland
concentration de particule en suspension dans l'air extérieur	7,00E-08	kg/m3	Van den Beerg R. (1994) – Human exposure to soil contamination : a qualitative and quantitative analysis towards proposals for human toxicological intervention values. Nationam Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Netherland
concentration de particule en suspension dans l'air intérieur	5,25E-08	kg/m3	Veerkamp W. & ten Berge W. (1992 – The concepts of HESP. Reference Manual, Human Exposure to soil Pollutants, version 2.10a. Shell Internationale Petroleum Maatschapij, The Hague.
fraction du sol dans les particules en suspension dans l'air extérieur	0,5	-	Van den Beerg R. (1994) – Human exposure to soil contamination : a qualitative and quantitative analysis towards proposals for human toxicological intervention values. Nationam Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Netherland
fraction du sol dans les particules en suspension dans l'air intérieur	0,8	-	Veerkamp W. & ten Berge W. (1992 – The concepts of HESP. Reference Manual, Human Exposure to soil Pollutants, version 2.10a. Shell Internationale Petroleum Maatschapij, The Hague.

Tableau 51 : Paramètres d'entrée pour le scénario « inhalation de poussières »

Consommation de végétaux autoproduits			
Teneur en eau du végétal	0,85	-	Exposure Factors Handbook; USEPA,1998

Tableau 52 : Paramètres d'entrée pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits »

Inhalation de vapeur en air extérieur J&E model				
Paramètre de modélisation	symbole	valeur référence	unité	Justification
hauteur de la boîte de dilution pour les enfants	Z	1	m	Exposure Factors Handbook; USEPA, 1998
hauteur de la boîte de dilution pour les adultes	Z	1,5	m	Exposure Factors Handbook; USEPA, 1998
vitesse du vent	u	2,25	m/s	Données Météo France
longueur de la boîte de dilution	ΔX	88	m	Plus grand longueur d'espace extérieur mesurée d'après le plan RDC à l'échelle 1/500ème, de l'étude de faisabilité du 20/01/2023
Profondeur du haut de la zone impactée par rapport à la surface	L_T	1,00E-06	m	La source de pollution est considérée comme sub-affleurante, Toutefois il n'est pas possible d'entrer la valeur "0" dans le modèle. Une valeur volontairement très basse a donc été entrée
épaisseur de la couche de sol 1	L_1	2	m	Epaisseur de la couche de sol considérée comme impactée (remblais)
porosité du sol de la couche de sol 1	$\Theta_{s,1}$	0,390	cm ³ /cm ³	Porosité d'un sol de type "sables limoneux" selon la classification SCS
teneur en air de la couche de sol 1	$\Theta_{a,1}$	0,137	cm ³ /cm ³	Valeur calculée pour un sol de type "sables limoneux" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en eau de la couche de sol 1	$\Theta_{w,1}$	0,253	cm ³ /cm ³	Valeur préconisée dans le guide de l'utilisateur du modèle de Johnson et Ettinger
Température du sol	T_s	15	°C	
Constante des gaz parfait	R_c	1,9872	cal/mol.°K	
Constante des gaz parfait	R	8,21E-05	atm.m ³ /mol.°K	Valeur de la constante des gaz parfaits
Constante des gaz parfait	R	8,3144	Pa.m ³ /mol.°K	
Densité du sol de la zone source	ρ / ρ	1620	kg/m ³	Densité d'un sol de type "sables limoneux" selon la classification SCS
teneur en air du sol de la zone source	$\Theta_{w,s}$	0,137	-	Valeur calculé pour un sol de type "sables limoneux" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en eau du sol de la zone source	$\Theta_{s,s}$	0,253	-	
teneur en carbone organique du sol de la zone source	Foc	2,10E-02	-	Valeur issue des résultats d'analyses

Tableau 53 : Paramètres d'entrée pour le scénario « inhalation de vapeur en air extérieur »

Inhalation de vapeur en air intérieur J&E model source infinie - SOUS-SOL			
Paramètre de modélisation	valeur référence	unité	Justification
Profondeur du haut de la zone impactée par rapport à la surface	1,00E-06	m	La source de pollution est considérée comme sub-affleurante, Toutefois il n'est pas possible d'entrer la valeur "0" dans le modèle. Une valeur volontairement très basse a donc été entrée
épaisseur de la couche de sol 1	2	m	Epaisseur de la couche de sol considérée comme impactée
porosité du sol de la couche de sol 1	0,375	cm ³ /cm ³	Porosité d'un sol de type "sables" selon la classification SCS
teneur en eau de la couche de sol 1	0,165	cm ³ /cm ³	Valeur calculée pour un sol de type "sables" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en air de la couche de sol 1	0,210	cm ³ /cm ³	
Température du sol	10	°C	Valeur préconisée dans le guide de l'utilisateur du modèle de Johnson et Ettinger
Constante des gaz parfait	1,9872	cal/mol.°K	Valeur de la constante des gaz parfaits
Constante des gaz parfait	8,21E-05	atm.m ³ /mol.°K	
Constante des gaz parfait	8,3144	Pa.m ³ /mol.K	
perméabilité du sol à l'air	5,77E-08	cm ²	Valeur calculée pour un sol de type "sables" selon la classification SCS
Epaisseur de la dalle béton	0,2	m	Hypothèse de travail
Longueur de l'espace fermé	4	m	
Largeur de l'espace fermé	3	m	
Hauteur de l'espace fermé	2,7	m	
taux de renouvellement	1	h ⁻¹	Valeur calculée d'après le volume de la pièce et un débit de 30 m ³ /h correspondant au débit d'une VMC simple flux
Différence de pression entre le sol et l'espace fermé	40	g.cm ⁻¹ .s ⁻²	Différence de pression entre le sol et le bâtiment recommandée dans le guide du modèle Johnson & Ettinger
Viscosité de l'air	1,77E-04	g.cm ⁻¹ .s ⁻¹	Valeur de la viscosité de l'air pour une température de 10°C
Profondeur des fissures (épaisseur de la dalle)	20	cm	Hypothèse de travail
largeur des fissures	1,00E-03	m	Valeur recommandée dans le guide du modèle Johnson & Ettinger
Longueur des zones d'entrée préférentielles des gaz du sol	7	m	Valeur correspondant au coulage d'une dalle de fond de 100 m ² (10 m x 10 m) en considérant la pièce comme étant située en limite de dalle
Densité du sol de la zone source	1660	kg/m ³	Densité d'un sol de type "sables" selon la classification SCS
teneur en eau du sol de la zone source	0,165	-	Valeur calculée pour un sol de type "sables" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en air du sol de la zone source	0,210	-	
teneur en carbone organique du sol de la zone source	1,00E-03	-	Valeur issue des résultats d'analyses (limite quantification du laboratoire)
Coefficient de diffusion effectif à travers les porosités de la dalle de fond	4,00E-07	cm ² .s ⁻¹	Valeur retenue pour permettre la réalisation du calcul

Tableau 54 : Paramètres d'entrée pour le scénario « inhalation de vapeur en air intérieur dans le sous-sol »

Inhalation de vapeur en air intérieur J&E model source infinie - REZ-DE-CHAUSSEE SUR PLEINE TERRE			
Paramètre de modélisation	valeur référence	unité	Justification
Profondeur du haut de la zone impactée par rapport à la surface	1,00E-06	m	La source de pollution est considérée comme sub-affleurante, Toutefois il n'est pas possible d'entrer la valeur "0" dans le modèle. Une valeur volontairement très basse a donc été entrée
épaisseur de la couche de sol 1	2	m	Epaisseur de la couche de sol considérée comme impactée (remblais)
porosité du sol de la couche de sol 1	0,390	cm ³ /cm ³	Porosité d'un sol de type "sables limoneux" selon la classification SCS
teneur en eau de la couche de sol 1	0,253	cm ³ /cm ³	Valeur calculée pour un sol de type "sables limoneux" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en air de la couche de sol 1	0,137	cm ³ /cm ³	
Température du sol	10	°C	Valeur préconisée dans le guide de l'utilisateur du modèle de Johnson et Ettinger
Constante des gaz parfait	1,9872	cal/mol.°K	Valeur de la constante des gaz parfaits
Constante des gaz parfait	8,21E-05	atm.m ³ /mol.°K	
Constante des gaz parfait	8,3144	Pa.m ³ /mol.K	
perméabilité du sol à l'air	7,56E-09	cm ²	Valeur calculée pour un sol de type "sables limoneux" selon la classification SCS
Epaisseur de la dalle béton	0,2	m	Hypothèse de travail
Longueur de l'espace fermé	4	m	
Largeur de l'espace fermé	3	m	
Hauteur de l'espace fermé	2,7	m	Donnée fournie par NEXITY via email du 11/05/2023
taux de renouvellement	1	h ⁻¹	Valeur calculée d'après le volume de la pièce et un débit de 30 m ³ /h correspondant au débit d'une VMC simple flux
Différence de pression entre le sol et l'espace fermé	40	g.cm ⁻¹ .s ⁻²	Différence de pression entre le sol et le bâtiment recommandée dans le guide du modèle Johnson & Ettinger
Viscosité de l'air	1,77E-04	g.cm ⁻¹ .s ⁻¹	Valeur de la viscosité de l'air pour une température de 10°C
Profondeur des fissures (épaisseur de la dalle)	20	cm	Hypothèse de travail
largeur des fissures	1,00E-03	m	Valeur recommandée dans le guide du modèle Johnson & Ettinger
Longueur des zones d'entrée préférentielles des gaz du sol	7	m	Valeur correspondant au coulage d'une dalle de fond de 100 m ² (10 m x 10 m) en considérant la pièce comme étant située en limite de dalle
Densité du sol de la zone source	1620	kg/m ³	Densité d'un sol de type "sables limoneux" selon la classification SCS
teneur en eau du sol de la zone source	0,253	-	Valeur calculée pour un sol de type "sables limoneux" selon les paramètres de la classification SCS et les mesures de terrain
teneur en air du sol de la zone source	0,137	-	
teneur en carbone organique du sol de la zone source	2,10E-02	-	Valeur issue des résultats d'analyses
Coefficient de diffusion effectif à travers les porosités de la dalle de fond	2,00E-07	cm ² .s ⁻¹	Valeur retenue pour permettre la réalisation du calcul

Tableau 55 : Paramètres d'entrée pour le scénario « inhalation de vapeur en air intérieur dans le rez-de-chaussée sur pleine terre »

5. CONCENTRATIONS EN POLLUANTS RETENUES

Les substances sélectionnées pour l'ERS doivent répondre à certains critères :

- Être détectées en quantité suffisante sur le site (supérieures à la limite de détection du laboratoire),
- Les données acquises sur ces substances doivent être d'une qualité suffisante pour être exploitées en évaluation des risques.

En résumé, pour être sélectionnée, une substance doit être quantifiée et caractérisée d'un point de vue physico-chimique et toxicologique.

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

- Les concentrations mesurées dans les sols et gaz du sol au droit du site ;
- Les principales propriétés physico-chimiques des composés ;
- La toxicité et la cancérogénicité des produits (phrase de risques, classement par l'union européenne, le CIRC ou l'US-EPA et éventuellement les valeurs toxicologiques de référence).

Dans cette évaluation, ont été retenues :

- Pour les expositions par ingestion de sol, inhalation de poussières et consommation de végétaux autoproduits :
 - Les concentrations en métaux supérieures aux teneurs naturelles observées dans les sols d'après la CIRE IdF, sur les échantillons de sol prélevés droit des futures zones de pleine terre. Les concentrations sélectionnées seront alors les teneurs maximales parmi les concentrations précitées ;
 - Toutes les substances organiques recherchées, détectées en concentrations supérieures au seuil de détection du laboratoire, sur les échantillons de sol prélevés au droit des futures zones de pleine terre, en dehors du spot de pollution aux hydrocarbures qui aura été préalablement retiré conformément à la méthodologie nationale de gestion des SSP. Lorsque la distinction aromatique/aliphatique des hydrocarbures C5-C40 n'est pas réalisée, les valeurs présentées correspondent à la somme des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. Toutefois, le cas échéant, ils ont été assimilés à des hydrocarbures aromatiques car leurs toxicités sont plus importantes ;
- Pour les expositions par inhalation de vapeurs en air intérieur et en air extérieur : pour ces expositions, le milieu le plus pertinent est le milieu gaz du sol car il s'agit d'un milieu dit « intégrateur » c'est-à-dire intégrant les dégazages issus des milieux sol et eaux souterraines. Les concentrations retenues sont :
 - Pour les composés organiques détectés : les concentrations maximales en polluants organiques volatils mesurées pour chaque zone considérée (futurs bâtiments sur pleine, futurs espaces extérieurs sur pleine terre) lors des prélèvements de gaz du sol effectués en avril 2023 par LETOURNEUR CONSEIL ;
 - Pour les composés organiques non détectés : Par mesure de précaution, il sera retenu une concentration égale à la limite de quantification du laboratoire pour la matrice gaz du sol pour chaque zone considérée (futurs bâtiments sur pleine, futurs espaces extérieurs sur pleine terre). Ceci permettra de vérifier que les temps de prélèvements ont été suffisamment longs pour respecter les objectifs de qualité.

Le tableau suivant présente les teneurs retenues pour les scénarios « ingestion de sol » et « inhalation de poussières ». Les teneurs sont issues uniquement des horizons superficiels compris entre 0 et 1 m de profondeur au droit des futures zones sur pleine terre. En effet, au-delà de 1 m de profondeur, il n'est plus pertinent de prendre en compte l'existence d'un contact avec les sols en phase finale.

Substance	Teneur maximale dans les sols (mg/kg MS)	Prélèvement concerné
Métaux		
Arsenic	38	C14 (0 - 1,0 m)
Cadmium	0,6	C13 (0,2 - 1,0 m)
Cuivre	240	C14 (0 - 1,0 m)
Mercurure	2,95	C13 (0,2 - 1,0 m)
Nickel	50	C14 (0 - 1,0 m)
Plomb	990	C13 (0,2 - 1,0 m)
Zinc	550	C14 (0 - 1,0 m)
Hydrocarbures totaux (Indice C5-C40)		
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,9	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	19,7	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21 calculé	22,4	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	62,8	T1 (0,1 - 1,0 m)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Naphtalène	0,15	T1 (0,1 - 1,0 m)
Acénaphène	0,43	T20 (0,3 - 1,0m)
Fluorène	0,3	
Phénanthrène	3,8	
Anthracène	0,56	
Fluoranthène	5,4	
Pyrène	4,5	
Benzo(a)anthracène	2	
Chrysène	2,3	
Benzo(b)fluoranthène	2,1	
Benzo(k)fluoranthène	1,1	
Benzo(a)pyrène	2,3	T22 (0,3 - 1,0 m)
Dibenzo(ah)anthracène	0,3	
Benzo(ghi)pérylène	1,5	
Indeno(123cd)pyrène	1,9	T20 (0,3 - 1,0m)
Polychlorobiphényles		
Arochlor 1254	0,009	C13 (0,2 - 1,0 m)

Tableau 56 : Récapitulatif des substances et teneurs retenues pour les scénarios « ingestion de sol » et « inhalation de poussières »

Le tableau suivant présente les teneurs retenues pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits » correspondant aux concentrations maximales en polluants métalliques⁶ et organiques mesurées au droit des futures zones sur pleine terre.

Substance	Teneur maximale dans les sols (mg/kg MS)	Prélèvement concerné
Métaux		
Arsenic	38	C14 (0 - 1,0 m)
Cadmium	0,6	C13 (0,2 - 1,0 m)
Cuivre	240	C14 (0 - 1,0 m)
Mercurure	5,29	C9 (2,0 - 3,0 m)
Nickel	50	C14 (0 - 1,0 m)
Plomb	990	C13 (0,2 - 1,0 m)
Zinc	550	C14 (0 - 1,0 m)
Hydrocarbures totaux (Indice C5-C40)		
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,9	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	19,7	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21 calculé	22,4	C13 (0,2 - 1,0 m)
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	62,8	T1 (0,1 - 1,0 m)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques		
Naphtalène	0,15	T1 (0,1 - 1,0 m)
Acénaphène	0,43	T20 (0,3 - 1,0m)
Fluorène	0,3	
Phénanthrène	3,8	
Anthracène	0,56	
Fluoranthène	5,4	
Pyrène	4,5	
Benzo(a)anthracène	2	
Chrysène	2,3	
Benzo(b)fluoranthène	2,1	
Benzo(k)fluoranthène	1,1	
Benzo(a)pyrène	2,3	
Dibenzo(ah)anthracène	0,3	T22 (0,3 - 1,0 m)
Benzo(ghi)pérylène	1,5	T20 (0,3 - 1,0m)
Indeno(123cd)pyrène	1,9	
Polychlorobiphényles		
Arochlor 1254	0,009	C13 (0,2 - 1,0 m)

Tableau 57 : Récapitulatif des substances et teneurs retenues pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits »

⁶ Parmi les substances présentant des concentrations supérieures aux valeurs de la CIRE IdF
Page 174 sur 249

Le tableau suivant présente les teneurs retenues pour les scénarios « *inhalation de vapeur en air extérieur* » et « *inhalation de vapeur en air intérieur dans le rez-de-chaussée sur pleine terre* ».

Substance	Teneur maximale dans les gaz de sol (µg/l)	Prélèvement concerné
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)		
Benzène	0,01	LQ laboratoire
Toluène	0,043	PZA5
Ethylbenzène	0,02	LQ laboratoire
o-xylène	0,02	LQ laboratoire
m,p-xylènes	0,039	PZA5
Organo-Halogénés Volatils (COHV)		
Dichlorométhane	0,05	LQ laboratoire
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,04	
Tetrachlorométhane	0,04	
Trichloroéthylène	0,01	
Tetrachloroéthylène	0,04	
1,1-dichloroéthane	0,04	
1,2-dichloroéthane	0,04	
1,1,1-Trichloroéthane	0,04	
1,1,2-trichloroéthane	0,04	
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,04	
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,04	
1,1-Dichloroéthène	0,02	
Chlorure de Vinyle	0,02	
Hydrocarbures aliphatiques (Indice C5-C16)		
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	0,39	LQ laboratoire
Hydrocarbures aliphatiques C7-C8	0,39	
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	0,39	
Hydrocarbures aliphatiques C10 - C12	0,39	
Hydrocarbures aliphatiques C13 - C16	0,39	
Hydrocarbures aromatiques (Indice C6-C16)		
Hydrocarbures aromatiques C6-C7 (équivalent benzène)	0,01	LQ laboratoire
Hydrocarbures aromatiques C7-C8 (équivalent toluène)	0,043	PZA5
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	0,39	LQ laboratoire
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	0,39	
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	0,39	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Naphtalène	0,02	LQ laboratoire

Tableau 58 : Récapitulatif des substances et teneurs retenues pour les scénarios « *inhalation de vapeur en extérieur* » et « *inhalation de vapeur en intérieur dans le rez-de-chaussée sur pleine terre* »

Le tableau suivant présente les teneurs retenues pour les scénarios « *inhalation de vapeur en air intérieur du sous-sol* » et « *inhalation de vapeur en air intérieur du rez-de-chaussée sur sous-sol* ».

Substance	Teneur maximale dans les gaz de sol (µg/l)	Prélèvement concerné
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)		
Benzène	0,04	LQ laboratoire
Toluène	0,135	PZA4
Ethylbenzène	0,08	LQ laboratoire
o-xylène	0,08	
m,p-xylènes	0,113	PZA7
Organo-Hogénés Volatils (COHV)		
Dichlorométhane	0,20	LQ laboratoire
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,16	
Tetrachlorométhane	0,16	
Trichloroéthylène	0,123	PZA2
Tetrachloroéthylène	0,16	LQ laboratoire
1,1-dichloroéthane	0,16	
1,2-dichloroéthane	0,16	
1,1,1-Trichloroéthane	0,16	
1,1,2-trichloroéthane	0,16	
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,16	
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,16	
1,1-Dichloroéthène	0,08	
Chlorure de Vinyle	0,08	
Hydrocarbures aliphatiques (Indice C5-C16)		
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	1,59	LQ laboratoire
Hydrocarbures aliphatiques C7-C8	1,59	
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	1,59	
Hydrocarbures aliphatiques C10 - C12	1,59	
Hydrocarbures aliphatiques C13 - C16	1,59	
Hydrocarbures aromatiques (Indice C6-C16)		
Hydrocarbures aromatiques C6-C7 (équivalent benzène)	0,04	LQ laboratoire
Hydrocarbures aromatiques C7-C8 (équivalent toluène)	0,135	PZA4
Hydrocarbures aromatiques C8-C10	1,59	LQ laboratoire
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	1,59	
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	1,59	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Naphtalène	0,08	LQ laboratoire

Tableau 59 : Récapitulatif des substances et teneurs retenues pour les scénarios « *inhalation de vapeur en air intérieur du sous-sol* » et « *inhalation de vapeur en air intérieur du rez-de-chaussée sur sous-sol* »

6. RELATION DOSE-RÉPONSE DES POLLUANTS RETENUS POUR L'ERS

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été sélectionnées comme recommandé par la circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.

Sont sélectionnés en premier lieu les VTR construites par l'ANSES. À défaut de valeurs dans la Base ANSES, les VTR prises en compte sont celles sélectionnées par l'INERIS (expertise collective nationale) puis les VTR les plus récentes d'une des bases US EPA, ATSDR, OMS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA. Pour les VTR et paramètres physico-chimiques des hydrocarbures totaux, la seule source reconnue et utilisée provient du TPHCWG.

Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques, une partie des VTR a été calculée à l'aide de la méthode des FET (Facteur d'équivalent toxique) proposée par l'INERIS. Pour les composés concernés, les VTR utilisées pour les effets sans seuil et à seuil sont celles du benzo(a)pyrène de l'US-EPA auxquelles ont été appliquées un FET spécifique à chaque substance.

Les valeurs toxicologiques prises en compte pour les calculs de risque sont synthétisées dans les tableaux ci-après. Les VTR ont fait l'objet d'une mise à jour en mai 2023.

Les effets sur la santé des différents composés étudiés sont détaillés en annexe 23.

Substances	INGESTION					
	Effet à seuil				Effet sans seuil	
	VTR Retenues mg/kg/j	Facteur d'incertitude	Source	Organe cible	VTR Retenues (mg/kg/j) ⁻¹	Source
Métaux						
Arsenic (As)	4,50E-04	5	FoBIG - 2009	-	1,50	US EPA - 2009
Cadmium (Cd)	3,50E-04		ANSES - 2017	Rein	-	-
Cuivre (Cu)	1,50E-01	30	EFSA - 2018 (Choix INERIS 2019)	Foie	-	-
Mercuré (Hg)	6,60E-04	100	INERIS - 2013	Système nerveux central, rein	-	-
Nickel (Ni)	2,80E-03	100	EFSA - 2015 (Choix INERIS 2017)		-	-
Plomb (Pb)	3,60E-03	Faible	RIVM - 2001		8,50,E-03	OEHHA - 2011
Zinc (Zn)	3,00E-01	3	US EPA - 2005	Sang	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques						
Aromatiques >C10-C12	4,00E-02	1000	TPHCWG - 1999	Perte de poids	-	-
Aromatiques >C12-C16	4,00E-02	1000	TPHCWG - 1999	Perte de poids	-	-
Aromatiques >C16-C21	3,00E-02	3000	TPHCWG - 1999	Rein	-	-
Aromatiques >C21-C35	3,00E-02	3000	TPHCWG - 1999	Rein	-	-
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)						
Naphtalène	2,00E-02	3000	US EPA - 1998 (Choix INERIS 2014)	SNC	1,20E-01	OEHHA - 2011 (Choix INERIS 2014)
Acénaphthène	6,00E-02	-	US EPA - 1990 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-03	INERIS - 2018
Fluorène	4,00E-02	-	US EPA - 1990 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-03	INERIS - 2018
Phénanthrène	4,00E-02	-	RIVM - 2001 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-03	INERIS - 2018
Anthracène	3,00E-01	-	US EPA - 1990 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-02	INERIS - 2018
Fluoranthène	4,00E-02	-	US EPA - 1990 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-03	INERIS - 2018
Pyrène	3,00E-02	-	US EPA - 1990 (Choix INERIS 2018)	-	1,00E-03	INERIS - 2018
Benzo(a)anthracène	3,00E-03	-	INERIS - 2003	-	1,00E-01	INERIS - 2018
Chrysène	3,00E-02	-	INERIS - 2003	-	1,00E-02	INERIS - 2018
Benzo(b)fluoranthène	3,00E-03	-	INERIS - 2003	-	1,00E-01	INERIS - 2018
Benzo(k)fluoranthène	3,00E-03	-	INERIS - 2003	-	1,00E-01	INERIS - 2018
Benzo(a)pyrène	3,00E-04	Moyen	US EPA - 2017	système nerveux	1,00E+00	US EPA - 2017
Dibenzo(ah)anthracène	3,00E-04	-	INERIS - 2003	-	1,00E+00	INERIS - 2018
Benzo(ghi)pérylène	3,00E-02	-	INERIS - 2018	-	1,00E-02	INERIS - 2018
Indeno(123cd)pyrène	3,00E-03	-	INERIS - 2003	-	1,00E-01	INERIS - 2018
PolyChloroBiphényles (PCB)						
Arochlor 1254	7,00E-05	100	US-EPA - 1993	système reproducteur	-	-

Tableau 60 : Récapitulatif des VTR sélectionnées pour les scénarios « ingestion de sol » et « consommation de végétaux »

Substances	INHALATION DE VAPEURS/POUSSIÈRES					
	Effet à seuil				Effet sans seuil	
	VTR Retenues mg/m ³	Facteur d'incertitude	Source	Organe cible	VTR Retenues (mg/m ³) ¹	Source
Métaux						
Arsenic (As)	1,50E-05	30	OEHHA - 2008		4,30E+00	US EPA - 1988
Cadmium (Cd)	3,00E-04	25	ANSES - 2012	poumons	4,20E+00	OEHHA - 2009
Cuivre (Cu)	1,00E-03	600	RIVM - 2001 (Choix INERIS 2019)		-	-
Mercurure (Hg)	3,00E-05	30	OEHHA - 2008 - choix INERIS 2014	Système nerveux	-	-
Nickel (Ni)	9,00E-05	30	ATSDR - 2005 (Choix INERIS 2017)	Appareil Respiratoire	2,60E-01	OEHHA - 2011 (Choix INERIS 2018)
Plomb (Pb)	5,00E-04	-	OMS - 2000	-	1,20E-02	OEHHA - 2011 (Choix INERIS 2013)
Zinc (Zn)	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures mono-aromatique (BTEX)						
Benzène	1,00E-02	10	ANSES 2008	Système immunitaire	2,60E-02	ANSES - 2014
Toluène	19	5	ANSES 2017	SNC	-	-
Ethylbenzène	1,50E+00	75	ANSES - 2016		2,50E-03	OEHHA - 2007
Xylènes	1,00E-01	300	ANSES - 2020	SNC	-	-
Composés organo-halogénés volatils (COHV)						
Dichlorométhane	1,10E+00	30	ATSDR (Choix INERIS)	-	1,00E-03	OEHHA - 2009 (Choix INERIS)
Trichlorométhane (Chloroforme)	6,30E-02	100	ANSES - 2009	Foie, rein	5,30E-03	OEHHA - 2009
Tetrachlorométhane	1,10E-01	25	ANSES - 2017		6,00E-03	US EPA - 2010
Trichloroéthylène	3,2	75	ANSES - 2018	Rein	1,00E-03	ANSES - 2018
Tetrachloroéthylène	4,00E-01	30	ANSES - 2018	Vision	2,60E-04	ANSES 2018
1,1-dichloroéthane	-	-	-	-	1,60E-03	OEHHA - 1992
1,2-dichloroéthane	4,00E-01	30	OEHHA - 2003		3,40E-03	ANSES - 2009
1,1,1-Trichloroéthane	1,00E+00	300	OEHHA - 2008	Foie	-	-
1,1,2-Trichloroéthane	-	-	-	-	1,60E-02	US EPA - 1994
cis 1,2-Dichloroéthylène	6,00E-02	-	RIVM - 2009	-	-	-
trans 1,2-Dichloroéthylène	6,00E-02	-	RIVM - 2008	-	-	-
1,1-Dichloroéthène	2,00E-01	30	OMS - 2003	Foie	-	-
Chlorure de Vinyle	1,00E-01	30	US EPA - 2000	Foie	3,80E-03	ANSES - 2012
Hydrocarbures totaux aliphatiques						
Aliphatiques >C5-C6	1,84E+01	100	TPHCWG - 1999	Système nerveux	-	-
Aliphatiques >C6-C8	1,84E+01	100	TPHCWG - 1999	Système nerveux	-	-
Aliphatiques >C8-C10	1,00E+00	1000	TPHCWG - 1999	Foie, système nerveux	-	-
Aliphatiques >C10-C12	1,00E+00	1000	TPHCWG - 1999	Foie, système nerveux	-	-
Aliphatiques >C12-C16	1,00E+00	1000	TPHCWG - 1999	Foie, système nerveux	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques						
Aromatiques >C8-C10	2,00E-01	1000	TPHCWG - 1999	Perte de poids	-	-
Aromatiques >C10-C12	2,00E-01	1000	TPHCWG - 1999	Perte de poids	-	-
Aromatiques >C12-C16	2,00E-01	1000	TPHCWG - 1999	Perte de poids	-	-
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)						
Naphtalène	3,70E-02	moyen	ANSES - 2013	Epithélium respiratoire et olfactif	5,60E-03	ANSES - 2013
Acénaphthène	1,00E-03	-	INERIS - 2003	-	6,00E-04	INERIS - 2018
Fluorène	1,00E-03	-	INERIS - 2003	-	6,00E-04	INERIS - 2018
Phénanthrène	1,00E-03	-	INERIS - 2003	-	6,00E-04	INERIS - 2018
Anthracène	1,00E-02	-	INERIS - 2003	-	6,00E-03	INERIS - 2018
Fluoranthène	1,00E-03	-	INERIS - 2003	-	6,00E-04	INERIS - 2018
Pyrène	1,00E-03	-	INERIS - 2003	-	6,00E-04	INERIS - 2018
Benzo(a)anthracène	1,00E-01	-	INERIS - 2003	-	6,00E-02	INERIS - 2018
Chrysène	1,00E-02	-	INERIS - 2003	-	6,00E-03	INERIS - 2018
Benzo(b)fluoranthène	1,00E-01	-	INERIS - 2003	-	6,00E-02	INERIS - 2018
Benzo(k)fluoranthène	1,00E-01	-	INERIS - 2003	-	6,00E-02	INERIS - 2018
Benzo(a)pyrène	2,00E-06	moyen	US EPA - 2017	développement foetal	6,00E-01	US EPA - 2017
Dibenzo(ah)anthracène	1,00E+00	-	INERIS - 2003	-	6,00E-01	INERIS - 2018
Benzo(ghi)peryène	1,00E-02	-	INERIS - 2003	-	6,00E-03	INERIS - 2018
Indeno(123cd)pyrène	1,00E-01	-	INERIS - 2003	-	6,00E-02	INERIS - 2018
PolyChloroBiphényles (PCB)						
Arochlor 1254	1,00E-03	300	RIVM - 2001 (Choix INERIS 2015)	-	-	-

Tableau 61 : Récapitulatif des VTR sélectionnées pour les scénarios « Inhalation de poussières » et « inhalation de vapeurs »

7. CALCUL DES NIVEAUX DE RISQUE – ÉTUDE DE RÉFÉRENCE

7.1. Scénario n°1 : inhalation de poussières

Pour le scénario « inhalation de poussières », le milieu d'exposition est constitué par les particules solides en suspension dans l'air extérieur et intérieur. Les concentrations d'exposition ont été estimées à l'aide des outils de modélisation du logiciel CSOIL développé par le RIVM (Institut National pour la Santé Néerlandais).

La source de pollution a été considérée comme étant infinie.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition calculées à partir des équations génériques présentées dans les chapitres précédents vis-à-vis des polluants détectés dans les futures zones de pleine terre pour la voie « inhalation de poussières ».

Les doses ingérées, les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation de poussières » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)	Enfant résident		Adulte résident		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger		Excès de Risque individuel	
		Concentration inhalée à seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m ³)	A seuil (mg/m ³)	sans seuil (mg/m ³) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Métaux											
Arsenic	38,00	8,94E-07	7,66E-08	7,66E-07	3,28E-07	1,50E-05	4,30E+00	5,96E-02	5,11E-02	3,30E-07	1,41E-06
Cadmium	0,60	1,41E-08	1,21E-09	1,21E-08	5,18E-09	3,00E-04	4,20E+00	4,71E-05	4,03E-05	5,08E-09	2,18E-08
Cuivre	240,00	5,65E-06	4,84E-07	4,84E-06	2,07E-06	1,00E-03	-	5,65E-03	4,84E-03	-	-
Mercur	2,95	6,94E-08	5,95E-09	5,95E-08	2,55E-08	3,00E-05	-	2,31E-03	1,98E-03	-	-
Nickel	50,00	1,18E-06	1,01E-07	1,01E-06	4,32E-07	9,00E-05	2,60E-01	1,31E-02	1,12E-02	2,62E-08	1,12E-07
Plomb	990,00	2,33E-05	2,00E-06	2,00E-05	8,55E-06	-	1,20E-02	-	-	2,40E-08	1,03E-07
Zinc	550,00	1,29E-05	1,11E-06	1,11E-05	4,75E-06	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)											
Aromatiques >C10 - C12	4,90	1,15E-07	9,88E-09	9,88E-08	4,23E-08	2,00E-01	-	5,77E-07	4,94E-07	-	-
Aromatiques >C12 - C16	19,70	4,64E-07	3,97E-08	3,97E-07	1,70E-07	2,00E-01	-	2,32E-06	1,99E-06	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)											
Naphtalène	0,15	3,53E-09	3,03E-10	3,02E-09	1,30E-09	3,70E-02	5,60E-03	9,54E-08	8,17E-08	1,69E-12	7,26E-12
Acénaphthène	0,43	1,01E-08	8,67E-10	8,67E-09	3,71E-09	1,00E-03	6,00E-04	1,01E-05	8,67E-06	5,20E-13	2,23E-12
Fluorène	0,30	7,06E-09	6,05E-10	6,05E-09	2,59E-09	1,00E-03	6,00E-04	7,06E-06	6,05E-06	3,63E-13	1,55E-12
Phénanthrène	3,80	8,94E-08	7,66E-09	7,66E-08	3,28E-08	1,00E-03	6,00E-04	8,94E-05	7,66E-05	4,60E-12	1,97E-11
Anthracène	0,56	1,32E-08	1,13E-09	1,13E-08	4,84E-09	1,00E-02	6,00E-03	1,32E-06	1,13E-06	6,78E-12	2,90E-11
Fluoranthène	5,40	1,27E-07	1,09E-08	1,09E-07	4,66E-08	1,00E-03	6,00E-04	1,27E-04	1,09E-04	6,53E-12	2,80E-11
Pyrène	4,50	1,06E-07	9,08E-09	9,07E-08	3,89E-08	1,00E-03	6,00E-04	1,06E-04	9,07E-05	5,45E-12	2,33E-11
Benzo(a)anthracène	2,00	4,71E-08	4,03E-09	4,03E-08	1,73E-08	1,00E-01	6,00E-02	4,71E-07	4,03E-07	2,42E-10	1,04E-09
Chrysène	2,30	5,41E-08	4,64E-09	4,64E-08	1,99E-08	1,00E-02	6,00E-03	5,41E-06	4,64E-06	2,78E-11	1,19E-10
Benzo(b)fluoranthène	2,10	4,94E-08	4,24E-09	4,23E-08	1,81E-08	1,00E-01	6,00E-02	4,94E-07	4,23E-07	2,54E-10	1,09E-09
Benzo(k)fluoranthène	1,10	2,59E-08	2,22E-09	2,22E-08	9,50E-09	1,00E-01	6,00E-02	2,59E-07	2,22E-07	1,33E-10	5,70E-10
Benzo(a)pyrène	2,30	5,41E-08	4,64E-09	4,64E-08	1,99E-08	2,00E-06	6,00E-01	2,71E-02	2,32E-02	2,78E-09	1,19E-08
Dibenzo(ah)anthracène	0,30	7,06E-09	6,05E-10	6,05E-09	2,59E-09	1,00E+00	6,00E-01	7,06E-09	6,05E-09	3,63E-10	1,55E-09
Benzo(ghi)perylène	1,50	3,53E-08	3,03E-09	3,02E-08	1,30E-08	1,00E-02	6,00E-03	3,53E-06	3,02E-06	1,82E-11	7,77E-11
Indeno(123cd)pyrène	1,90	4,47E-08	3,83E-09	3,83E-08	1,64E-08	1,00E-01	6,00E-02	4,47E-07	3,83E-07	2,30E-10	9,85E-10
Somme								1,08E-01	9,26E-02	3,89E-07	1,67E-06
Somme Enfant + Adulte								-	-	2,05E-06	-
Valeur seuil								1	1	1,00E-05	-

Tableau 62 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de poussières » - Enfants et adultes résidents

7.2. **Scénario n°2 : ingestion de sol**

Pour le scénario « ingestion de sol », le milieu d'exposition est constitué par les sols, avec lesquels il y a un contact direct. Les concentrations d'exposition sont donc les concentrations mesurées dans les sols lors des investigations de terrain et présentées précédemment.

La source de pollution a été considérée comme étant sub-affleurante et donc directement à la surface des terres en contact avec les usagers.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition (sols non recouverts au niveau des espaces extérieurs) calculées à partir des équations génériques présentées dans les chapitres précédents vis-à-vis des polluants organiques et métalliques détectés dans les futures zones de pleine terre pour la voie « ingestion de sol ».

Les doses ingérées, les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « ingestion de sol » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants résidents, mais **acceptables** pour les adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Toutefois, dans le cas présent, il est constaté qu'un composé génère à lui-seul un niveau de risque inacceptable pour les effets à seuil. De plus, les niveaux de risque pour les substances à effet sans seuil sont également inacceptables. Une approche par organe cible ne serait donc pas pertinente.

Le plomb ainsi que l'arsenic induisent à eux seuls des niveaux de risque inacceptables.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)	Dose journalière d'exposition enfant		Dose journalière d'exposition adulte		VTR		Quotient de Danger (à seuil)		Excès de risque individuel (sans seuil)	
		A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg)	SANS SEUIL (mg/kg) ⁻¹	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Métaux											
Arsenic	38,00	2,21E-04	1,89E-05	2,60E-05	1,12E-05	4,50E-04	1,50	4,91E-01	5,78E-02	2,84E-05	1,67E-05
Cadmium	0,60	3,49E-06	2,99E-07	4,11E-07	1,76E-07	3,50E-04	-	9,97E-03	1,17E-03	-	-
Cuivre	240,00	1,40E-03	1,20E-04	1,64E-04	7,05E-05	1,50E-01	-	9,31E-03	1,10E-03	-	-
Mercur	2,95	1,72E-05	1,47E-06	2,02E-06	8,66E-07	6,60E-04	-	2,60E-02	3,06E-03	-	-
Nickel	50,00	2,91E-04	2,49E-05	3,42E-05	1,47E-05	2,80E-03	-	1,04E-01	1,22E-02	-	-
Plomb	990,00	5,76E-03	4,94E-04	6,78E-04	2,91E-04	3,60E-03	8,50E-03	1,60E+00	1,88E-01	4,20E-06	2,47E-06
Zinc	550,00	3,20E-03	2,74E-04	3,77E-04	1,61E-04	3,00E-01	-	1,07E-02	1,26E-03	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)											
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,90	2,85E-05	2,44E-06	3,36E-06	1,44E-06	4,00E-02	-	7,13E-04	8,39E-05	-	-
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	19,70	1,15E-04	9,82E-06	1,35E-05	5,78E-06	4,00E-02	-	2,87E-03	3,37E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21	22,40	1,30E-04	1,12E-05	1,53E-05	6,58E-06	3,00E-02	-	4,34E-03	5,11E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	62,80	3,65E-04	3,13E-05	4,30E-05	1,84E-05	3,00E-02	-	1,22E-02	1,43E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)											
Naphthalène	0,15	8,73E-07	7,48E-08	1,03E-07	4,40E-08	2,00E-02	1,20E-01	4,36E-05	5,14E-06	8,98E-09	5,28E-09
Acénaphthène	0,43	2,50E-06	2,14E-07	2,95E-07	1,26E-07	6,00E-02	1,00E-03	4,17E-05	4,91E-06	2,14E-10	1,26E-10
Fluorène	0,30	1,75E-06	1,50E-07	2,05E-07	8,81E-08	4,00E-02	1,00E-03	4,36E-05	5,14E-06	1,50E-10	8,81E-11
Phénanthrène	3,80	2,21E-05	1,89E-06	2,60E-06	1,12E-06	4,00E-02	1,00E-03	5,53E-04	6,51E-05	1,89E-09	1,12E-09
Anthracène	0,56	3,26E-06	2,79E-07	3,84E-07	1,64E-07	3,00E-01	1,00E-02	1,09E-05	1,28E-06	2,79E-09	1,64E-09
Fluoranthène	5,40	3,14E-05	2,69E-06	3,70E-06	1,59E-06	4,00E-02	1,00E-03	7,85E-04	9,25E-05	2,69E-09	1,59E-09
Pyrène	4,50	2,62E-05	2,24E-06	3,08E-06	1,32E-06	3,00E-02	1,00E-03	8,73E-04	1,03E-04	2,24E-09	1,32E-09
Benzo(a)anthracène	2,00	1,16E-05	9,97E-07	1,37E-06	5,87E-07	3,00E-03	1,00E-01	3,88E-03	4,57E-04	9,97E-08	5,87E-08
Chrysène	2,30	1,34E-05	1,15E-06	1,58E-06	6,75E-07	3,00E-02	1,00E-02	4,46E-04	5,25E-05	1,15E-08	6,75E-09
Benzo(b)fluoranthène	2,10	1,22E-05	1,05E-06	1,44E-06	6,16E-07	3,00E-03	1,00E-01	4,07E-03	4,79E-04	1,05E-07	6,16E-08
Benzo(k)fluoranthène	1,10	6,40E-06	5,48E-07	7,53E-07	3,23E-07	3,00E-03	1,00E-01	2,13E-03	2,51E-04	5,48E-08	3,23E-08
Benzo(a)pyrène	2,30	1,34E-05	1,15E-06	1,58E-06	6,75E-07	3,00E-04	1,00E+00	4,46E-02	5,25E-03	1,15E-06	6,75E-07
DiBenzo(ah)anthracène	0,30	1,75E-06	1,50E-07	2,05E-07	8,81E-08	3,00E-04	1,00E+00	5,82E-03	6,85E-04	1,50E-07	8,81E-08
Benzo(ghi)peryène	1,50	8,73E-06	7,48E-07	1,03E-06	4,40E-07	3,00E-02	1,00E-02	2,91E-04	3,42E-05	7,48E-09	4,40E-09
Indeno(123cd)pyrène	1,90	1,11E-05	9,47E-07	1,30E-06	5,58E-07	3,00E-03	1,00E-01	3,68E-03	4,34E-04	9,47E-08	5,58E-08
Polychlorobiphényles (PCB)											
Arochlor 1254	0,01	5,24E-08	4,49E-09	6,16E-09	2,64E-09	7,00E-05	-	7,48E-04	8,81E-05	-	-
somme								2,34	0,28	3,43E-05	2,02E-05
somme enfant+adulte								-	-	5,45E-05	-
Valeur Seuil								1	1	1,00E-05	-

Tableau 63 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Ingestion de sol » - Adultes et enfants résidents

7.3. Scénario n°3 : consommation de végétaux autoproduits

Pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits », le milieu d'exposition est constitué par les végétaux comestibles qui seraient cultivés sur les terres impactées du site. Les concentrations pour les composés organiques sont estimées à l'aide du modèle de Travis & Arms dont les caractéristiques sont données en annexe 21. Pour les métaux, des facteurs de bioaccumulation ont été utilisés et sont présentés en annexe.

La source de pollution a été considérée comme présente sur toute la hauteur d'investigation et donc accessible pour les plantes potagères ayant un système racinaire peu profond (inférieur à 0,5 m) et pour les plantes arbustives dont le système racinaire est plus profond (plusieurs mètres).

Le tableau suivant synthétise les concentrations au point d'exposition (sols non recouverts au niveau des espaces extérieurs) calculées à partir des équations génériques présentées précédemment vis-à-vis des polluants métalliques et organiques détectés dans les futures zones de pleine terre pour la voie « consommation de végétaux autoproduits ».

Les doses ingérées, les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Toutefois, dans le cas présent, il est constaté que deux composés génèrent à eux-seuls un niveau de risque inacceptable pour les effets à seuil. De plus, les niveaux de risque pour les substances à effet sans seuil sont également inacceptables. Une approche par organe cible ne serait donc pas pertinente.

Le plomb ainsi que l'arsenic induisent à eux seuls des niveaux de risque inacceptables.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)	Facteur de bioconcentration Bv	Concentration dans les plantes (mg/kg)	Dose journalière d'exposition enfant (mg/kg/j)		Dose journalière d'exposition adulte (mg/kg/j)		VTR		Quotient de Danger		Excès de risque individuel	
				A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg)	SANS SEUIL (mg/kg)	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Métaux													
Arsenic	38,00	6,70E-02	3,82E-01	1,21E-03	1,04E-04	3,99E-04	1,71E-04	4,50E-04	1,50	2,70E+00	8,87E-01	1,56E-04	2,57E-04
Cadmium	0,60	4,00E-01	3,60E-02	1,15E-04	9,82E-06	3,76E-05	1,61E-05	3,50E-04	-	3,27E-01	1,08E-01	-	-
Cuivre	240,00	1,50E-01	5,40E+00	1,72E-02	1,47E-03	5,64E-03	2,42E-03	1,50E-01	-	1,15E-01	3,76E-02	-	-
Mercur	5,29	3,50E-02	2,78E-02	8,83E-05	7,57E-06	2,90E-05	1,24E-05	6,60E-04	-	1,34E-01	4,40E-02	-	-
Nickel	50,00	2,70E-02	2,03E-01	6,44E-04	5,52E-05	2,12E-04	9,07E-05	2,80E-03	-	2,30E-01	7,56E-02	-	-
Plomb	990,00	3,00E-02	4,46E+00	1,42E-02	1,21E-03	4,66E-03	2,00E-03	3,60E-03	0,01	3,94E+00	1,29E+00	1,03E-05	1,70E-05
Zinc	550,00	2,30E-01	1,90E+01	6,04E-02	5,17E-03	1,98E-02	8,50E-03	3,00E-01	-	2,01E-01	6,61E-02	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)													
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,90	1,64E-02	8,04E-02	2,56E-04	2,19E-05	8,40E-05	3,60E-05	4,00E-02	-	6,39E-03	2,10E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	19,70	6,38E-03	1,26E-01	4,00E-04	3,43E-05	1,31E-04	5,63E-05	4,00E-02	-	9,99E-03	3,28E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21	22,40	1,87E-03	4,20E-02	1,34E-04	1,15E-05	4,39E-05	1,88E-05	3,00E-02	-	4,45E-03	1,46E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	62,80	5,97E-04	3,75E-02	1,19E-04	1,02E-05	3,92E-05	1,68E-05	3,00E-02	-	3,97E-03	1,31E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)													
Naphtalène	0,15	7,19E-02	1,08E-02	3,43E-05	2,94E-06	1,13E-05	4,83E-06	2,00E-02	1,20E-01	1,72E-03	5,64E-04	3,53E-07	5,80E-07
Acénaphthène	0,43	3,15E-02	1,35E-02	4,31E-05	3,69E-06	1,42E-05	6,07E-06	6,00E-02	1,00E-03	7,18E-04	2,36E-04	3,69E-09	6,07E-09
Fluorène	0,30	2,23E-02	6,69E-03	2,13E-05	1,82E-06	6,99E-06	3,00E-06	4,00E-02	1,00E-03	5,32E-04	1,75E-04	1,82E-09	3,00E-09
Phénanthrène	3,80	1,54E-02	5,83E-02	1,86E-04	1,59E-05	6,10E-05	2,61E-05	4,00E-02	1,00E-03	4,64E-03	1,52E-03	1,59E-08	2,61E-08
Anthracène	0,56	1,56E-02	8,71E-03	2,77E-05	2,38E-06	9,11E-06	3,90E-06	3,00E-01	1,00E-02	9,24E-05	3,04E-05	2,38E-08	3,90E-08
Fluoranthène	5,40	6,05E-03	3,27E-02	1,04E-04	8,90E-06	3,41E-05	1,46E-05	4,00E-02	1,00E-03	2,60E-03	8,53E-04	8,90E-09	1,46E-08
Pyrène	4,50	8,78E-03	3,95E-02	1,26E-04	1,08E-05	4,13E-05	1,77E-05	3,00E-02	1,00E-03	4,19E-03	1,38E-03	1,08E-08	1,77E-08
Benzo(a)anthracène	2,00	2,61E-03	5,23E-03	1,66E-05	1,43E-06	5,47E-06	2,34E-06	3,00E-03	1,00E-01	-	-	1,43E-07	2,34E-07
Chrysène	2,30	2,83E-03	6,51E-03	2,07E-05	1,78E-06	6,81E-06	2,92E-06	3,00E-02	1,00E-02	-	-	1,78E-08	2,92E-08
Benzo(b)fluoranthène	2,10	8,90E-04	1,87E-03	5,94E-06	5,09E-07	1,95E-06	8,37E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	5,09E-08	8,37E-08
Benzo(k)fluoranthène	1,10	6,47E-04	7,11E-04	2,26E-06	1,94E-07	7,43E-07	3,19E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	1,94E-08	3,19E-08
Benzo(e)pyrène	2,30	1,66E-03	3,83E-03	1,22E-05	1,04E-06	4,00E-06	1,71E-06	3,00E-04	1,00E+00	-	-	1,04E-06	1,71E-06
Dibenzo(ah)anthracène	0,30	7,29E-04	2,19E-04	6,95E-07	5,96E-08	2,29E-07	9,79E-08	3,00E-04	1,00E+00	-	-	5,96E-08	9,79E-08
Benzo(ghi)peryène	1,50	8,55E-04	1,28E-03	4,08E-06	3,50E-07	1,34E-06	5,74E-07	3,00E-02	1,00E-02	1,36E-04	4,47E-05	3,50E-09	5,74E-09
Indeno(123cd)pyrène	1,90	8,90E-04	1,69E-03	5,38E-06	4,61E-07	1,77E-06	7,57E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	4,61E-08	7,57E-08
Polychlorobiphényles (PCB)													
Arochlor 1254	0,01	1,02E-03	9,15E-06	2,91E-08	2,49E-09	9,56E-09	4,10E-09	7,00E-05	-	4,16E-04	1,37E-04	-	-
somme										7,68	2,52	1,68E-04	2,77E-04
somme enfant+adulte												4,45E-04	
Valeur Seuil										1			1,00E-05

Tableau 64 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Consommation de végétaux autoproduits » - Adultes et enfants résidents

7.4. Scénario n°4 : inhalation en air extérieur

Les calculs des concentrations dans l'air extérieur ont été réalisés en considérant une source de pollution infinie, c'est-à-dire sans intégrer les phénomènes d'atténuation des concentrations dans le temps au fur et à mesure de la volatilisation des composés.

La source de pollution a été considérée comme sub-affleurante et donc directement en surface.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition (air extérieur) vis-à-vis des polluants organiques volatils détectés au droit des futures zones de pleine terre pour la voie « inhalation de vapeurs en air extérieur ». Pour les substances non détectées, il a été pris en compte une concentration égale à la limite de quantification du laboratoire.

La modélisation a été réalisée à l'aide du modèle de Johnson et Ettinger dont les paramètres sont présentés en annexe 20.

Les concentrations inhalées, les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

L'ensemble des paramètres du modèle et les caractéristiques physico-chimiques des substances sont présentés en annexe 22.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation en air extérieur » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur maximale dans les gaz de sol (µg/l)		Concentration dans l'air extérieur* (mg/m³)		Enfant résident		Adulte travailleur (école)		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger		Excès de Risque individuel	
	Enfant résident	Adulte travailleur (école)	Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	A seuil (mg/m³)	sans seuil (mg/m³) ³⁻¹	Enfant résident	Adulte travailleur (école)	Enfant résident	Adulte travailleur (école)	Enfant résident	Adulte travailleur (école)
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)														
Benzène	0,01	1,52E-08	1,21E-09	1,04E-10	5,20E-10	3,19E-10	1,00E-02	2,60E-02	1,21E-07	5,20E-08	2,70E-12	8,31E-12	-	-
Toluène	0,04	5,56E-08	4,44E-09	3,81E-10	1,90E-09	1,17E-09	1,90E+01	-	2,34E-10	1,00E-10	-	-	-	-
Ethylbenzène	0,02	3,00E-08	2,40E-09	2,05E-10	1,03E-09	6,31E-10	1,50E+00	2,50E-03	1,60E-09	6,85E-10	5,14E-13	1,58E-12	-	-
o-Xylènes	0,02	3,01E-08	2,40E-09	2,06E-10	1,03E-09	6,33E-10	1,00E-01	-	2,40E-08	1,03E-08	-	-	-	-
m,p-Xylènes	0,04	5,17E-08	4,13E-09	3,54E-10	1,77E-09	1,09E-09	1,00E-01	-	4,13E-08	1,77E-08	-	-	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)														
Dichlorométhane	0,05	8,79E-08	7,02E-09	6,02E-10	3,01E-09	1,85E-09	1,10E+00	1,00E-03	6,39E-09	2,74E-09	6,02E-13	1,85E-12	-	-
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,04	7,19E-08	5,75E-09	4,92E-10	2,46E-09	1,51E-09	6,30E-02	5,30E-03	9,12E-08	3,91E-08	2,61E-12	8,02E-12	-	-
Tetrachlorométhane	0,04	5,36E-08	4,28E-09	3,67E-10	1,84E-09	1,13E-09	1,10E-01	6,00E-03	3,89E-08	1,67E-08	2,20E-12	6,76E-12	-	-
Trichloréthylène	0,01	1,36E-08	1,09E-09	9,31E-11	4,66E-10	2,86E-10	3,20E+00	1,00E-03	3,40E-10	1,46E-10	9,31E-14	2,86E-13	-	-
Tetrachloréthylène	0,04	4,95E-08	3,90E-09	3,39E-10	1,70E-09	1,04E-09	4,00E-01	2,60E-04	9,89E-09	4,24E-09	8,82E-14	2,71E-13	-	-
1,1-dichloroéthane	0,04	5,13E-08	4,10E-09	3,51E-10	1,76E-09	1,08E-09	-	1,60E-03	-	-	5,62E-13	1,73E-12	-	-
1,2-dichloroéthane	0,04	7,35E-08	5,87E-09	5,03E-10	2,52E-09	1,55E-09	0,40	3,40E-03	1,47E-08	6,29E-09	1,71E-12	5,25E-12	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	0,04	5,36E-08	4,29E-09	3,67E-10	1,84E-09	1,13E-09	1,00E+00	-	4,29E-09	1,84E-09	-	-	-	-
1,1,2-trichloroéthane	0,04	5,48E-08	4,38E-09	3,75E-10	1,88E-09	1,15E-09	-	1,60E-02	-	-	6,00E-12	1,84E-11	-	-
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,04	5,11E-08	4,08E-09	3,50E-10	1,75E-09	1,07E-09	6,00E-02	-	6,80E-08	2,91E-08	-	-	-	-
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,04	4,88E-08	3,90E-09	3,34E-10	1,67E-09	1,03E-09	6,00E-02	-	6,49E-08	2,78E-08	-	-	-	-
1,1-Dichloroéthane	0,02	3,09E-08	2,47E-09	2,12E-10	1,06E-09	6,50E-10	2,00E-01	-	1,24E-08	5,29E-09	-	-	-	-
Chlore de Vinyle	0,02	3,64E-08	2,91E-09	2,49E-10	1,25E-09	7,66E-10	1,00E-01	3,80E-03	2,91E-08	1,25E-08	9,48E-13	2,91E-12	-	-
Hydrocarbures totaux aliphatiques (HCT)														
Aliphatiques >C5-C6	0,39	6,69E-07	5,35E-08	4,58E-09	2,29E-08	1,41E-08	1,84E+01	-	2,91E-09	1,25E-09	-	-	-	-
Aliphatiques >C6-C8	0,39	6,69E-07	5,35E-08	4,58E-09	2,29E-08	1,41E-08	1,84E+01	-	2,91E-09	1,25E-09	-	-	-	-
Aliphatiques >C8-C10	0,39	6,69E-07	5,35E-08	4,58E-09	2,29E-08	1,41E-08	1,00E+00	-	5,35E-08	2,29E-08	-	-	-	-
Aliphatiques >C10-C12	0,39	6,69E-07	5,35E-08	4,58E-09	2,29E-08	1,41E-08	1,00E+00	-	5,35E-08	2,29E-08	-	-	-	-
Aliphatiques >C12-C16	0,39	6,69E-07	5,35E-08	4,58E-09	2,29E-08	1,41E-08	1,00E+00	-	5,35E-08	2,29E-08	-	-	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)														
Aromatiques >C8 - C10	0,39	6,70E-07	5,36E-08	4,59E-09	2,30E-08	1,41E-08	2,00E-01	-	2,68E-07	1,15E-07	-	-	-	-
Aromatiques >C10 - C12	0,39	6,73E-07	5,38E-08	4,61E-09	2,30E-08	1,42E-08	2,00E-01	-	2,69E-07	1,15E-07	-	-	-	-
Aromatiques >C12 - C16	0,39	6,79E-07	5,42E-07	4,65E-09	2,32E-08	1,43E-08	2,00E-01	-	2,71E-07	1,16E-07	-	-	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)														
Naphthalène	0,02	2,23E-08	1,78E-09	1,53E-10	7,64E-10	4,69E-10	3,70E-02	5,60E-03	4,82E-08	2,07E-08	8,56E-13	2,63E-12	-	-
Somme													1,55E-06	6,65E-07
Somme Enfant + Adulte													1,89E-11	5,80E-11
Valeur seuil													1	1,00E-05

Tableau 65 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de vapeur en air extérieur » - Adultes et enfants résidents

7.5. Scénario n°5 : inhalation de vapeur dans l'air intérieur du sous-sol

Les calculs des concentrations dans l'air intérieur du sous-sol ont été réalisés en considérant une source de pollution infinie, c'est-à-dire sans intégrer les phénomènes d'atténuation des concentrations dans le temps au fur et à mesure de la volatilisation des composés.

La source de pollution a été considérée comme étant sub-affleurante et donc directement située sous la dalle de fond.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition (air intérieur) vis-à-vis des polluants volatils détectés sous le futur niveau de sous-sol pour la voie « inhalation de vapeurs en air intérieur du sous-sol ».

La modélisation a été réalisée à l'aide du modèle de Johnson et Ettinger dont les paramètres sont présentés en annexe 20.

Les concentrations inhalées, les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

L'ensemble des paramètres du modèle et les caractéristiques physico-chimiques des substances sont présentés en annexe 22.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation en air intérieur » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les adultes résidents travailleurs ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les adultes travailleurs.

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les gaz du sol (µg/l)	Concentration dans l'air intérieur* (mg/m³)	Enfant résident		Adulte travailleur (école)		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger	Excès de Risque individuel
			Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	A seuil (mg/m³)	sans seuil (mg/m³ ^{3y-1})		
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)										
Benzène	0,04	7,59E-06	0,00E+00	0,00E+00	2,47E-06	1,52E-06	1,00E-02	2,60E-02	2,47E-04	3,94E-08
Toluène	0,14	2,24E-05	0,00E+00	0,00E+00	7,29E-06	4,48E-06	1,90E+01	-	3,84E-07	-
Ethylbenzène	0,08	1,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	4,89E-06	3,01E-06	1,50E+00	2,50E-03	3,26E-06	7,51E-09
o-Xylènes	0,08	1,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	4,89E-06	3,01E-06	1,00E-01	-	4,89E-05	-
m,p-Xylènes	0,11	1,92E-05	0,00E+00	0,00E+00	6,24E-06	3,83E-06	1,00E-01	-	6,24E-05	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)										
Dichlorométhane	0,20	4,25E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,38E-05	8,49E-06	1,10E+00	1,00E-03	1,26E-05	8,49E-09
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,16	3,48E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,13E-05	6,95E-06	6,30E-02	5,30E-03	1,79E-04	3,68E-08
Tetrachlorométhane	0,16	2,75E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,93E-06	5,49E-06	1,10E-01	6,00E-03	8,12E-05	3,29E-08
Trichloroéthylène	0,12	2,13E-05	0,00E+00	0,00E+00	6,94E-06	4,26E-06	3,20E+00	1,00E-03	2,17E-06	4,26E-09
Tetrachloroéthylène	0,16	2,57E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,35E-06	5,13E-06	4,00E-01	2,60E-04	2,09E-05	1,33E-09
1,1-dichloroéthane	0,16	2,63E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,57E-06	5,26E-06	-	1,60E-03	-	8,42E-09
1,2-dichloroéthane	0,16	3,48E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,13E-05	6,95E-06	4,00E-01	3,40E-03	2,83E-05	2,36E-08
1,1,1-Trichloroéthane	0,16	2,75E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,93E-06	5,49E-06	1,00E+00	-	8,93E-06	-
1,1,2-trichloroéthane	0,16	2,75E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,94E-06	5,49E-06	-	1,60E-02	-	8,79E-08
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,16	2,62E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,51E-06	5,23E-06	6,00E-02	-	1,42E-04	-
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,16	2,53E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,22E-06	5,05E-06	6,00E-02	-	1,37E-04	-
1,1-Dichloroéthène	0,08	1,55E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,03E-06	3,09E-06	2,00E-01	-	2,51E-05	-
Chlorure de Vinyle	0,08	1,76E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,74E-06	3,52E-06	1,00E-01	3,80E-03	5,74E-05	1,34E-08
Hydrocarbures totaux aliphatiques (HCT)										
Aliphatiques >C5-C6	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	1,84E+01	-	5,92E-06	-
Aliphatiques >C6-C8	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	1,84E+01	-	5,92E-06	-
Aliphatiques >C8-C10	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	1,00E+00	-	1,09E-04	-
Aliphatiques >C10-C12	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	1,00E+00	-	1,09E-04	-
Aliphatiques >C12-C16	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	1,00E+00	-	1,09E-04	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCA)										
Aromatiques >C8 - C10	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	2,00E-01	-	5,44E-04	-
Aromatiques >C10 - C12	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	2,00E-01	-	5,44E-04	-
Aromatiques >C12 - C16	1,59	3,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-04	6,69E-05	2,00E-01	-	5,45E-04	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)										
Naphthalène	0,08	7,55E-04	0,00E+00	0,00E+00	2,45E-04	1,51E-04	3,70E-02	5,60E-03	6,63E-03	8,44E-07
Somme									9,66E-03	1,11E-06
Valeur seuil									1	1,00E-05

Tableau 66 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de vapeur en air intérieur dans le sous-sol » - Adultes travailleurs (école)

7.6. Scénario n°6 : inhalation de vapeur dans l'air intérieur du rez-de-chaussée sur sous-sol

Les calculs des concentrations dans l'air intérieur du rez-de-chaussée ont été réalisés en considérant une source de pollution infinie, c'est-à-dire sans intégrer les phénomènes d'atténuation des concentrations dans le temps au fur et à mesure de la volatilisation des composés.

La source de pollution a été considérée comme étant sub-affleurante et donc directement située sous la dalle de fond.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition (air intérieur) vis-à-vis des polluants volatils détectés sous le futur sous-sol pour la voie « inhalation de vapeurs en air intérieur dans le rez-de-chaussée sur sous-sol ».

Les concentrations inhalées sont issues des calculs réalisés pour le niveau de sous-sol auxquelles il a été appliqué un coefficient de rabattement de 10 conformément aux recommandations du RIVM dans son rapport n° 711701021, « Evaluation and revision of the CSOIL parameter set » de mars 2011.

Les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation en air intérieur » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les gaz du sol (µg/l)	Concentration dans l'air intérieur* (mg/m³)	Enfant résident		Adulte résident		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger		Excès de Risque individuel	
			Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	A seuil (mg/m³)	sans seuil (mg/m³) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)												
Benzène	0,04	7,59E-07	5,16E-07	4,43E-08	4,60E-07	1,97E-07	1,00E-02	2,60E-02	5,16E-05	4,60E-05	1,15E-09	5,13E-09
Toluène	0,14	2,24E-06	1,53E-06	1,31E-07	1,36E-06	5,83E-07	1,90E+01	-	8,03E-08	7,16E-08	-	-
Ethylbenzène	0,08	1,50E-06	1,02E-06	8,77E-08	9,12E-07	3,91E-07	1,50E+00	2,50E-03	6,82E-07	6,08E-07	2,19E-10	9,77E-10
o-Xylènes	0,08	1,50E-06	1,02E-06	8,77E-08	9,12E-07	3,91E-07	1,00E-01	-	1,02E-05	9,12E-06	-	-
m,p-Xylènes	0,11	1,92E-06	1,30E-06	1,12E-07	1,16E-06	4,98E-07	1,00E-01	-	1,30E-05	1,16E-05	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)												
Dichlorométhane	0,20	4,25E-06	2,89E-06	2,48E-07	2,58E-06	1,10E-06	1,10E+00	1,00E-03	2,63E-06	2,34E-06	2,48E-10	1,10E-09
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,16	3,48E-06	2,36E-06	2,03E-07	2,11E-06	9,03E-07	6,30E-02	5,30E-03	3,75E-05	3,35E-05	1,07E-09	4,79E-09
Tetrachlorométhane	0,16	2,75E-06	1,87E-06	1,60E-07	1,67E-06	7,14E-07	1,10E-01	6,00E-03	1,70E-05	1,51E-05	9,61E-10	4,28E-09
Trichloroéthylène	0,12	2,13E-06	1,45E-06	1,24E-07	1,29E-06	5,55E-07	3,20E+00	1,00E-03	4,54E-07	4,04E-07	1,24E-10	5,55E-10
Tetrachloroéthylène	0,16	2,57E-06	1,75E-06	1,50E-07	1,56E-06	6,67E-07	4,00E-01	2,60E-04	4,37E-06	3,89E-06	3,89E-11	1,73E-10
1,1-dichloroéthane	0,16	2,63E-06	1,79E-06	1,54E-07	1,60E-06	6,85E-07	-	1,60E-03	-	-	2,46E-10	1,10E-09
1,2-dichloroéthane	0,16	3,48E-06	2,37E-06	2,03E-07	2,11E-06	9,05E-07	4,00E-01	3,40E-03	5,92E-06	5,28E-06	6,90E-10	3,08E-09
1,1,1-Trichloroéthane	0,16	2,75E-06	1,87E-06	1,60E-07	1,67E-06	7,14E-07	1,00E+00	-	1,87E-06	1,67E-06	-	-
1,1,1,2-trichloroéthane	0,16	2,75E-06	1,87E-06	1,60E-07	1,67E-06	7,14E-07	-	1,60E-02	-	-	2,55E-09	1,14E-08
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,16	2,62E-06	1,78E-06	1,53E-07	1,59E-06	6,80E-07	6,00E-02	-	2,97E-05	2,64E-05	-	-
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,16	2,53E-06	1,72E-06	1,47E-07	1,53E-06	6,57E-07	6,00E-02	-	2,87E-05	2,55E-05	-	-
1,1-Dichloroéthène	0,08	1,55E-06	1,05E-06	9,02E-08	9,38E-07	4,02E-07	2,00E-01	-	5,26E-06	4,69E-06	-	-
Chlorure de Vinyle	0,08	1,76E-06	1,20E-06	1,03E-07	1,07E-06	4,58E-07	1,00E-01	3,80E-03	1,20E-05	1,07E-05	3,91E-10	1,74E-09
Hydrocarbures totaux aliphatiques (HCT)												
Aliphatiques >C5-C6	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	1,84E+01	-	1,24E-06	1,10E-06	-	-
Aliphatiques >C6-C8	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	1,84E+01	-	1,24E-06	1,10E-06	-	-
Aliphatiques >C8-C10	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	1,00E+00	-	2,28E-05	2,03E-05	-	-
Aliphatiques >C10-C12	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	1,00E+00	-	2,28E-05	2,03E-05	-	-
Aliphatiques >C12-C16	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	1,00E+00	-	2,28E-05	2,03E-05	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCA)												
Aromatiques >C8 - C10	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	2,00E-01	-	1,14E-04	1,01E-04	-	-
Aromatiques >C10 - C12	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	2,00E-01	-	1,14E-04	1,01E-04	-	-
Aromatiques >C12 - C16	1,59	3,35E-05	2,28E-05	1,95E-06	2,03E-05	8,70E-06	2,00E-01	-	1,14E-04	1,02E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)												
Naphtalène	0,08	7,55E-05	5,13E-05	4,40E-06	4,58E-05	1,96E-05	3,70E-02	5,60E-03	1,39E-03	1,24E-03	2,46E-08	1,10E-07
Somme									2,02E-03	1,80E-03	3,24E-08	1,44E-07
Valeur seuil									1		1,00E-05	

Tableau 67 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de vapeur en air intérieur du rez-de-chaussée sur sous-sol » - Enfants et adultes résidents

7.7. Scénario n°7 : inhalation de vapeur dans l'air intérieur du rez-de-chaussée sur pleine terre

Les calculs des concentrations dans l'air intérieur du rez-de-chaussée ont été réalisés en considérant une source de pollution infinie, c'est-à-dire sans intégrer les phénomènes d'atténuation des concentrations dans le temps au fur et à mesure de la volatilisation des composés.

La source de pollution a été considérée comme étant sub-affleurante et donc directement située sous la dalle de fond.

Le tableau suivant synthétise les concentrations aux points d'exposition (air intérieur) vis-à-vis des polluants volatils détectés sous les futurs bâtiments sur pleine terre pour la voie « inhalation de vapeurs en air intérieur dans le rez-de-chaussée sur pleine terre ».

Les valeurs toxicologiques de référence ainsi que les quotients de danger et les excès de risques individuels sont issus des formules de calcul présentées dans les chapitres précédents.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation en air intérieur » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les gaz du sol (µg/l)	Concentration dans l'air intérieur* (mg/m³)	Enfant résident		Adulte résident		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger		Excès de Risque individuel	
			Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m³)	A seuil (mg/m³)	sans seuil (mg/m³) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)												
Benzène	0,01	3,78E-07	2,57E-07	2,20E-08	2,29E-07	9,82E-08	1,00E-02	2,60E-02	2,57E-05	2,29E-05	5,73E-10	2,55E-09
Toluène	0,04	1,44E-06	9,81E-07	8,40E-08	8,74E-07	3,75E-07	1,90E+01	-	5,16E-08	4,60E-08	-	-
Ethylbenzène	0,02	7,49E-07	5,09E-07	4,37E-08	4,54E-07	1,95E-07	1,50E+00	2,50E-03	3,40E-07	3,03E-07	1,09E-10	4,87E-10
o-Xylènes	0,02	7,51E-07	5,11E-07	4,38E-08	4,55E-07	1,95E-07	1,00E-01	-	5,11E-06	4,55E-06	-	-
m,p-Xylènes	0,04	1,33E-06	9,07E-07	7,77E-08	8,08E-07	3,46E-07	1,00E-01	-	9,07E-06	8,08E-06	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)												
Dichlorométhane	0,05	2,10E-06	1,43E-06	1,22E-07	1,27E-06	5,46E-07	1,10E+00	1,00E-03	1,30E-06	1,16E-06	1,22E-10	5,46E-10
Trichlorométhane (Chloroforme)	0,04	1,70E-06	1,16E-06	9,94E-08	4,43E-07	4,43E-07	6,30E-02	5,30E-03	1,84E-05	1,64E-05	5,27E-10	2,35E-09
Tetrachlorométhane	0,04	1,38E-06	9,36E-07	8,03E-08	8,35E-07	3,58E-07	1,10E-01	6,00E-03	8,51E-06	7,59E-06	4,82E-10	2,15E-09
Trichloroéthylène	0,01	3,48E-07	2,37E-07	2,03E-08	2,11E-07	9,05E-08	3,20E+00	1,00E-03	7,40E-08	6,60E-08	2,03E-11	9,05E-11
Tetrachloroéthylène	0,04	1,30E-06	8,82E-07	7,56E-08	7,86E-07	3,37E-07	4,00E-01	2,60E-04	2,20E-06	1,97E-06	1,97E-11	8,76E-11
1,1-dichloroéthane	0,04	1,33E-06	9,07E-07	7,77E-08	8,08E-07	3,46E-07	-	1,60E-03	-	-	1,24E-10	5,54E-10
1,2-dichloroéthane	0,04	1,74E-06	1,18E-06	1,01E-07	1,05E-06	4,52E-07	4,00E-01	3,40E-03	2,96E-06	2,63E-06	3,45E-10	1,54E-09
1,1,1-Trichloroéthane	0,04	1,38E-06	9,37E-07	8,03E-08	8,35E-07	3,58E-07	1,00E+00	-	9,37E-07	8,35E-07	-	-
1,1,2-trichloroéthane	0,04	1,40E-06	9,52E-07	8,16E-08	8,48E-07	3,64E-07	-	1,60E-02	-	-	1,31E-09	5,82E-09
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,04	1,33E-06	9,04E-07	7,75E-08	8,06E-07	3,45E-07	6,00E-02	-	1,51E-05	1,34E-05	-	-
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,04	1,28E-06	8,72E-07	7,47E-08	7,77E-07	3,33E-07	6,00E-02	-	1,45E-05	1,30E-05	-	-
1,1-Dichloroéthène	0,02	7,65E-07	5,20E-07	4,46E-08	4,64E-07	1,99E-07	2,00E-01	-	2,60E-06	2,32E-06	-	-
Chlorure de Vinylo	0,02	8,59E-07	5,84E-07	5,01E-08	5,21E-07	2,23E-07	1,00E-01	3,80E-03	5,84E-06	5,21E-06	1,90E-10	8,48E-10
Hydrocarbures totaux aliphatiques (HCT)												
Aliphatiques >C5-C6	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,37E-07	9,74E-06	4,18E-06	1,84E+01	-	5,94E-07	5,30E-07	-	-
Aliphatiques >C6-C8	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,37E-07	9,74E-06	4,18E-06	1,84E+01	-	5,94E-07	5,30E-07	-	-
Aliphatiques >C8-C10	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,37E-07	9,74E-06	4,18E-06	1,00E+00	-	1,09E-05	9,74E-06	-	-
Aliphatiques >C10-C12	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,37E-07	9,74E-06	4,18E-06	1,00E+00	-	1,09E-05	9,74E-06	-	-
Aliphatiques >C12-C16	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,37E-07	9,74E-06	4,18E-06	1,00E+00	-	1,09E-05	9,74E-06	-	-
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCA)												
Aromatiques >C8 - C10	0,39	1,61E-05	1,09E-05	9,38E-07	9,76E-06	4,18E-06	2,00E-01	-	5,47E-05	4,88E-05	-	-
Aromatiques >C10 - C12	0,39	1,61E-05	1,10E-05	9,41E-07	9,78E-06	4,19E-06	2,00E-01	-	5,49E-05	4,89E-05	-	-
Aromatiques >C12 - C16	0,39	1,62E-05	1,10E-05	9,47E-07	9,84E-06	4,22E-06	2,00E-01	-	5,52E-05	4,92E-05	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)												
Naphthalène	0,02	4,13E-05	2,81E-05	2,41E-06	2,51E-05	1,07E-05	3,70E-02	5,60E-03	7,60E-04	6,78E-04	1,35E-08	6,02E-08
Somme									1,07E-03	9,55E-04	1,73E-08	7,72E-08
Somme Enfant + Adulte									-	-	9,45E-08	1,00E-05
Valeur seuil									1	1		

Tableau 68 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de vapeur en air intérieur du rez-de-chaussée sur pleine terre » - Enfants et adultes résidents

7.8. Cumul des scénarios

Afin d'avoir un aperçu de l'exposition globale au niveau du site d'étude, les résultats des QD et des ERI des scénarios retenus ont été sommés. Ainsi est résumée l'exposition globale pour les effets à seuil et sans seuil.

Scénario	Effet à seuil		Effet sans seuil	
	Quotient de danger		Excès de Risque Individuel	
	Enfant résident	Adulte résident et travaillant sur site	Enfant résident	Adulte résident et travaillant sur site
Inhalation de poussières CSOIL	0,11	0,09	3,89E-07	1,67E-06
Ingestion de sol	2,34	0,28	3,43E-05	2,02E-05
Consommation de végétaux autoproduits	7,68	2,52	1,68E-04	2,77E-04
Inhalation de vapeur en air extérieur J&E	1,55E-06	6,65E-07	1,89E-11	5,80E-11
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - sous-sol		0,01		1,11E-06
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur sous-sol	2,02E-03	1,80E-03	3,24E-08	1,44E-07
Si logement au rez-de-chaussée sur sous-sol				
Somme si logement au RDC sur sous-sol	10,13	2,90	2,03E-04	3,00E-04
Somme enfant + adulte	-		5,03E-04	
Valeur seuil	1		1,00E-05	
Si logement au rez-de-chaussée sur pleine terre				
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur pleine terre	1,07E-03	9,55E-04	1,73E-08	7,72E-08
Somme si logement au RDC sur pleine terre	10,13	2,90	2,03E-04	3,00E-04
Somme enfant + adulte	-		5,03E-04	
Valeur seuil	1		1,00E-05	

Tableau 69 : Cumul des risques – Étude de référence

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre de la réalisation du projet et en prenant en compte d'une part les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol et d'autre part les concentrations maximales dans les sols après aménagement du projet et retrait du spot de pollution aux hydrocarbures (dans la partie centrale du site), vis-à-vis de l'ensemble des scénarios d'exposition retenus :

- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants résidents et les adultes résidents travaillant sur site, pour des logements situés au rez-de-chaussée sur sous-sol ainsi que pour des logements situés au rez-de-chaussée sur pleine terre ;
- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants résidents et les adultes résidents travaillant sur site, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ». Cela s'applique à des logements situés au rez-de-chaussée sur sous-sol ainsi qu'à des logements situés au rez-de-chaussée sur pleine terre.

Les scénarios « consommation de végétaux autoproduits » et « ingestion de sol » génèrent à eux seuls des niveaux de risque inacceptables (entre 2 et 28 fois supérieurs aux seuils).

Le scénario « consommation de végétaux autoproduits » représente :

- Entre 75 et 87 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet à seuil ;
- Entre 82 et 92 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet sans seuil.

Le scénario « ingestion de sol » représente :

- Entre 9 et 23 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet à seuil ;
- Entre 6 et 17 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet sans seuil.

Pour le scénario « *inhalation de poussières* », les niveaux de risques sont acceptables avec des niveaux au moins 6 fois inférieurs aux limites d'acceptation.

Vis-à-vis des scénarios « *inhalation de vapeur en air intérieur* », pour lesquels les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol ont été retenues, les niveaux de risque sont nettement acceptables avec des niveaux au moins 9 fois inférieurs à la limite d'acceptabilité pour le sous-sol, et au moins 70 fois inférieurs pour le rez-de-chaussée.

Enfin, les niveaux induits par l'exposition par « *inhalation de vapeur en air extérieur* » sont négligeables car au moins 170 000 fois inférieurs aux seuils.

Notons que pour les risques à seuil (non cancérrogènes), l'ensemble des quotients de danger a été sommé. Il s'agit d'une méthode majorante puisqu'il est admis qu'il est possible de ne sommer que les composés agissant sur le même organe cible.

Toutefois dans le cas présent, certains composés engendrent des niveaux de risque inacceptables à eux seuls. De ce fait, quelle que soit la méthodologie utilisée (somme par organe ou somme de tous les composés), le résultat final est défavorable et nécessite la mise en place d'actions correctives, d'autant plus que les niveaux de risques sans seuil sont également défavorables.

Il est important de souligner que la suppression des expositions par consommation de végétaux autoproduits et ingestion de sol aboutit à des niveaux totaux largement acceptables pour l'ensemble des cibles considérées, malgré l'approche majorante.

8. INCERTITUDES

8.1. Choix des substances

Les recherches ont porté sur les polluants courants ainsi que les polluants identifiés par le biais de l'étude historique du site. Néanmoins, il est possible que des produits spécifiques non identifiés par l'étude historique aient été utilisés sur le site. Il n'est donc pas exclu que des impacts soient présents pour des substances non recherchées.

Les composés ont été choisis en fonction de leurs concentrations dans les sols et l'air du sol. Dans les sols, ont été retenues toutes les substances organiques recherchées présentant des concentrations supérieures au seuil de détection du laboratoire, en retirant les concentrations des terres qui seront excavées dans le cadre de l'aménagement du futur sous-sol. Parmi ces terres excavées, sont compris les remblais impactés en HAP (et dans une moindre mesure en HCT) dans la partie centrale du site.

Pour les métaux, les valeurs ont été retenues dès lors qu'elles dépassaient les valeurs données par l'INRA ou la CIRE IdF.

Dans l'air du sol, toutes les substances organiques volatils recherchées ont été retenues, même lorsque les concentrations sont inférieures aux seuils de quantification du laboratoire. Ceci permet de vérifier que les temps de pompage sont suffisamment élevés pour répondre aux objectifs de qualité.

De plus, pour respecter le principe de précaution les concentrations maximales mesurées dans les sols et les gaz du sol au droit de chaque zone projetée (futurs bâtiments / futures zones de pleine terre) ont été retenues et appliquées à toute la zone concernée bien qu'observées ponctuellement. Ceci est une hypothèse majorante et sécuritaire.

Pour le scénario inhalation de vapeur en air intérieur, il a été choisi de retenir les concentrations mesurées dans les gaz du sol, milieu le plus pertinent car captant les vapeurs provenant des matrices sol et eaux souterraines. Toutefois, les ouvrages de mesure d'air du sol (piézairs) permettent d'obtenir une représentation de la qualité du milieu sur une surface limitée. Il est donc possible que des polluants volatils provenant des sols ne soient pas captés par les ouvrages en place.

8.2. Toxicité des composés

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) sélectionnées dans la présente étude sont issues de données récupérées au sein de divers organismes tels que L'ANSES, l'INERIS, l'INRS, l'US-EPA, l'ATSDR, OMS, Santé Canada, le RIVM, l'OEHHA, EFSA et le TPH Working Group.

Elles ont été sélectionnées selon la Circulaire DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

Toutefois la pertinence de ces valeurs peut être soumise à réserve. En effet, les études toxicologiques servant de base à l'établissement des VTR peuvent être réalisées selon des paramètres variables, sur des durées d'exposition trop courtes ou trop importantes (exposition aigue), dans des conditions contrôlées. De nombreux biais peuvent donc être présents.

Cela s'applique plus particulièrement aux composés les moins étudiés pour lesquels, les données étant moins nombreuses, les VTR sont moins représentatives.

8.3. Paramètres d'exposition et corporels

Les paramètres d'exposition sont issus de publications de référence provenant d'organismes de santé publique (OMS, InVS, US EPA...). Ils s'appliquent à une population générale et correspondent donc à des moyennes et ne peuvent en aucun cas tenir compte des variabilités stochastiques individuelles susceptibles de rendre un individu donné significativement plus sensible que la moyenne.

D'autre part, certaines données n'ont pas fait l'objet d'étude et aucune publication n'étant disponible, des choix par défaut sont réalisés.

Afin de bien appréhender le risque, il a été choisi de retenir les cibles les plus sensibles en termes d'exposition à savoir des adultes résidant et travaillant sur site, et des enfants résidents.

8.4. Mesures des gaz du sol

Les mesures des gaz du sol peuvent être influencées par les conditions atmosphériques, ainsi que par la présence de bâtiments qui peuvent ajouter un flux convectif au flux diffusif naturellement présent.

Par ailleurs l'utilisation de cartouches de charbon actif peut entraîner des interférences avec des composés volatils non toxiques naturellement présents dans les sols (vapeur d'eau, produits de l'activité microbienne).

8.5. Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond

A l'heure actuelle, le bruit de fond et ses incidences sanitaires n'ont toujours pas fait l'objet d'une procédure de gestion nationale (malgré l'existence d'un groupe technique du Ministère de l'Écologie travaillant sur cette thématique), de ce fait nous n'avons pu prendre comme référence que les valeurs données pour des sols ordinaires en Île de France et des valeurs nationales issues du programme l'ASPITET de l'INRA pour l'arsenic et celles de la Cellule de l'InVS en Ile-de-France (CIRE) pour les autres métaux.

Aucune donnée n'est disponible pour les substances organiques. Ainsi, les concentrations supérieures aux limites de quantification du laboratoire ont été retenues pour les sols. Pour les gaz du sol, les concentrations non quantifiées ont été considérées comme étant égales aux limites de quantification du laboratoire.

8.6. Paramètres des modèles

Rappelons que l'incidence du choix de tel ou tel modèle par méconnaissance du mode constructif peut modifier les concentrations estimées (*guide méthodologique fluxobat, novembre 2013*).

Les modèles de Johnson et Ettinger / CSOIL utilisés pour estimer les concentrations dans l'air à partir des concentrations dans les sols et gaz du sol prennent en compte de nombreux paramètres susceptibles d'évoluer au cours du temps tels que la teneur en eau du sol, la teneur en carbone organique du sol, la température ou encore la différence de pression entre les sols et le bâtiment. Les données utilisées sont issues des mesures et observations de terrain ou de la littérature.

Enfin, rappelons que le modèle de Johnson et Ettinger permet d'estimer le transport de substances contaminantes volatiles depuis le sol vers l'intérieur d'un bâtiment d'une emprise au sol de l'ordre de 100 m².

8.7. Absorption des polluants par les végétaux

Le paramètre essentiel du calcul de l'absorption des composés organiques par les végétaux est le coefficient de partage octanol/eau (noté Kow) qui indique l'affinité du composé entre les phases aqueuses et lipidiques. Ce paramètre sert par extension à modéliser les concentrations dans les différentes parties des végétaux en fonction des caractéristiques biologiques de celle-ci. Toutefois, on ne peut qu'assimiler l'affinité d'un composé pour l'octanol à l'affinité de ce composé pour les lipides composant le végétal qui peuvent varier en concentration et en composition en fonction de l'espèce végétale et de la saison. D'autre part, les mécanismes d'absorption ne sont pas uniquement racinaires.

Les métaux ne présentant pas de Kow, la teneur dans les plantes est calculée à partir d'un facteur de bio-absorption (Bv) qui s'applique en tant que coefficient multiplicateur à la concentration dans le sol. Toutefois, ce facteur de bio-absorption a été estimé de façon empirique pour certaines conditions de culture et certaines espèces. Un biais existe donc du fait des variabilités inter-espèce et des conditions de culture.

D'autre part, ce facteur unique pour l'ensemble de l'organisme entraîne que la concentration est la même dans toutes les parties de la plante car il n'existe pas de Bv pour les différentes parties de la plante.

Or il est avéré que les teneurs dans les différentes parties de la plante peuvent varier de façon très importante. L'utilisation du Bv est donc très imprécise.

8.8. Paramètres physico-chimiques des substances

Les connaissances sur les paramètres physico-chimiques des substances sont variables ce qui est susceptible d'engendrer des imprécisions pour les substances les moins étudiées. Mais de manière générale, les substances les plus toxiques sont celles qui sont le mieux étudiées ce qui réduit les incertitudes.

Certains paramètres physico-chimiques sont issus de calculs théoriques. De ce fait, les divergences entre les conditions normales de températures et de pression (CNTP) et les conditions réelles peuvent générer des écarts entre les résultats théoriques utilisés dans cette étude et les valeurs réelles rencontrées sur le terrain.

8.9. Paramètres des sols

Les sols au droit du site ont été considérés comme étant homogènes. Toutefois, il s'agit d'un milieu complexe. Les variations de compacité ou de granulométrie influent sur le dégazage des polluants et donc sur les niveaux de risques.

La teneur en eau du sol a une influence sur le transfert des polluants volatils. Le transfert diminuant, ainsi que les risques associés, avec l'augmentation de la teneur en eau.

Or la teneur en eau dépend de plusieurs paramètres notamment la profondeur de prélèvements et des conditions atmosphériques.

D'autre part, certains paramètres issus de la classification SCS, sont donnés pour des mesures empiriques pour différents types de terrain. Toutefois, les terrains réellement présents sur site ne correspondent pas à l'identique aux terrains de référence ce qui est susceptible d'entraîner un biais dans les résultats de la modélisation.

8.10. Incertitudes sur les mesures

La réalisation des processus analytiques pour la mesure des concentrations dans les échantillons sont soumis à des biais qui entraînent une incertitude sur la mesure. De ce fait il n'est pas exclu que la concentration retenue ne soit pas réellement représentative de l'échantillon prélevé.

8.11. Incertitudes liées à l'analyse

En l'absence d'exigence réglementaire relative à l'application de la norme NF EN ISO/CE 17025, les incertitudes sur les analyses d'air ne sont pas obligatoirement données par les laboratoires dans le domaine des sites et sols pollués. Le retour d'expérience montre que les incertitudes données par les laboratoires pour les analyses sur l'air sont de l'ordre de 10 à 30 % (en fonction des supports, des substances, des gammes de concentration...).

8.12. Répartition des polluants

Dans cette étude, par principe de précaution, les concentrations prises en compte sont les teneurs maximales observées sur chaque zone projetée (pleine terre, sous-sol) quelles que soit leurs emplacements au sein de la zone. Ceci permet de s'affranchir d'une éventuelle pollution non détectée, mais qui, généralement est une hypothèse fortement majorante.

8.13. Paramètres des bâtiments

Une partie des paramètres des bâtiments est issue de données inhérentes au projet. Toutefois le projet n'étant pas figé, la majorité des paramètres des bâtiments résulte d'hypothèses de travail du bureau d'étude.

Ainsi, les données connues du projet sont susceptibles d'évoluer avec le temps d'une part, et les paramètres choisis par le bureau d'étude sont susceptibles de différer avec les données du projet une fois que celui-ci sera fixé, notamment le taux de renouvellement de l'air intérieur. Par ailleurs, ce dernier paramètre peut évoluer dans le temps en cas de fonctionnement défectueux ou d'encrassement des gaines d'aération.

Le taux de fissuration du béton est une valeur issue de la littérature, toutefois ce taux est également amené à évoluer dans le temps. En fonction de la qualité du béton coulé et du travail du bâtiment, ce taux aura tendance à s'accroître plus ou moins rapidement.

D'autre part, les données d'entrée « longueur et largeur de l'espace fermé » sont des longueurs mesurées de pans de murs posés sur les longrines (transport convectif du sol vers l'habitat). Celles-ci entrent dans le calcul des fissures (voies préférentielles prises par les polluants du sol vers l'intérieur du bâtiment). Donc les données d'entrée « longueur et largeur de l'espace fermé » ne reprennent pas nécessairement le périmètre de la pièce ou du bâtiment pris en compte, mais uniquement les murs extérieurs sur lesquels les fissures dans le modèle Johnson et Ettinger portent.

8.14. Incertitudes sur la modélisation du transfert racinaire

La modélisation des processus biologiques est très complexe du fait de l'interaction entre de très nombreux paramètres (physico-chimie des polluants, caractéristique des sols, processus biologique).

Pour les métaux, les facteurs de bioconcentration sont issus d'étude in vivo, mais ces facteurs sont étudiés pour chaque espèce végétale et les variations inter-espèces s'avèrent importantes. L'influence d'autres paramètres est également à prendre en compte (âge du végétal, humidité du sol et de l'air, présence d'éléments en compétition pour l'absorption...). Les valeurs ainsi obtenues ne permettent donc que d'avoir un aperçu pour certaines espèces dans certaines conditions.

Il en est de même pour les composés organiques, le coefficient pris en compte n'étant pas le seul facteur influent dans l'absorption des polluants.

Toutefois, les résultats donnent une première tendance qui permet de donner une alerte en cas de résultats négatifs.

8.15. Conclusions sur les incertitudes

De nombreux facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Toutefois, pour une grande partie d'entre eux (valeurs toxicologiques, caractéristiques techniques, échantillonnage, seuil de détection en laboratoire, ...), les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire les incertitudes.

En effet, tout modèle de propagation de polluants dans un milieu, d'estimation des niveaux d'exposition ou encore d'estimation des risques comporte l'élaboration d'hypothèses et de calculs pour simuler les conditions du milieu. Des incertitudes existent sur les hypothèses et la définition des scénarios, sur les modèles utilisés, dans l'approximation par des équations des phénomènes réels dans le milieu considéré et dans la définition des paramètres. Pour ces raisons, une approche sécuritaire a été élaborée de manière à obtenir une surestimation des risques d'atteinte à la santé d'un individu qui pourrait être exposé à la pollution présente sur le site.

Les principales incertitudes, ayant une influence sur la quantification des risques sanitaires, concernent les reconnaissances réalisées sur le site et les hypothèses posées sur son usage futur :

- caractéristiques physiques du site : géologie, hydrogéologie, météorologie ;
- choix des polluants retenus : pertinence des polluants mesurés, caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques, concentrations retenues ;

- estimation de l'exposition : hypothèses sur le schéma conceptuel et les valeurs des paramètres du modèle d'exposition.

Dans le cas présent, l'ensemble des paramètres intégrés dans le modèle de calcul prend en compte des hypothèses à la fois réalistes et majorantes.

Les phénomènes de dégradation des substances pendant leur transfert de la source vers la cible et des phénomènes de diminution des concentrations à la source, à mesure de la propagation et de la dégradation des substances présentes n'ont pas été considérés dans l'approche sécuritaire.

Enfin, le panel de polluants recherchés bien qu'important n'exclut pas la présence d'autres composés.

9. ÉTUDE DE SENSIBILITÉ

9.1. Paramètres de calcul pour l'étude de sensibilité

Les modélisations de l'étude de référence pour les expositions par inhalation en air intérieur et en air extérieur ont été réalisées à partir des concentrations mesurées dans l'air du sol, car il s'agit, en l'absence de mesure dans le milieu d'exposition (air ambiant) du milieu le plus pertinent pour appréhender les niveaux de risque liés à cette exposition (milieu « intégrateur » captant les polluants dégazés depuis les milieux sol et eau souterraine). Pour ces expositions, du fait de l'absence de concentrations notables, les concentrations retenues sont les concentrations maximales mesurées au droit de chaque zone considérée (pleine terre, sous-sol) ou les limites de quantification du laboratoire lorsque le composé n'est pas détecté.

Pour ce qui est des autres expositions, le milieu étudié est le milieu sol. Dans cette matrice, ont été détectés un spot de pollution concentrée aux hydrocarbures, un impact diffus en éléments traces métalliques ainsi qu'un marquage diffus en composés organiques (en dehors du spot précité). Pour la modélisation des niveaux de risque induits par les expositions par ingestion de sol, inhalation de poussières et consommation de végétaux autoproduits, les concentrations retenues dans l'étude de référence étaient, pour chaque zone considérée (pleine terre, arase du sous-sol), les concentrations maximales mesurées dans la zone étudiée en dehors du spot de pollution aux hydrocarbures (spot préalablement retiré). Il s'agit d'une approche très majorante puisqu'il est appliqué à l'intégralité des terres de chaque zone (pleine terre, arase du sous-sol) les concentrations maximales mesurées en polluants après aménagement du projet.

Cette approche très majorante aboutit à des niveaux de risque inacceptables pour les expositions par ingestion de sol et consommation de végétaux autoproduits.

Sachant que les composés à l'origine de ces niveaux de risque inacceptables (éléments traces métalliques et dans une moindre mesure les HAP et HCT) ont été détectés de manière diffuse dans les terres au droit du site, une approche plus réaliste consisterait à considérer le 90^{ème} percentile pour les éléments traces métalliques, les HAP et HCT. Cette approche statistique permet de tenir compte de concentrations plus représentatives de la qualité globale du terrain, tout en restant dans une optique majorante.

Ainsi, l'étude de sensibilité sera menée via l'approche statistique précitée, en considérant :

- Pour les expositions par ingestion de sol et inhalation de poussières :
 - Pour les éléments traces métalliques : le 90^{ème} percentile des concentrations mesurées sur l'ensemble du site entre 0 et 1 m de profondeur, si celui-ci est supérieur aux valeurs seuils naturelles de la CIRE IdF et de l'ASPITET ;
 - Pour les HCT et HAP : le 90^{ème} percentile des concentrations mesurées sur l'ensemble du site entre 0 et 1 m de profondeur, en dehors du spot de pollution aux HAP et HCT détecté dans la partie centrale du site ;
 - Pour les autres composés organiques détectés de manière ponctuelle : les concentrations maximales mesurées sur l'ensemble du site entre 0 et 1 m de profondeur.
- Pour l'exposition par consommation de végétaux autoproduits :
 - Pour les éléments traces métalliques : le 90^{ème} percentile des concentrations mesurées sur l'ensemble du site sur toute la profondeur d'investigation, si celui-ci est supérieur aux valeurs seuils naturelles de la CIRE IdF et de l'ASPITET ;

- Pour les HCT et HAP : le 90^{ème} percentile des concentrations mesurées sur l'ensemble du site sur toute la profondeur d'investigation, en dehors du spot de pollution aux HAP et HCT détecté dans la partie centrale du site ;
- Pour les autres composés organiques détectés de manière ponctuelle : les concentrations maximales mesurées sur l'ensemble du site sur toute la profondeur d'investigation.
- Pour les expositions par inhalation de vapeurs : même approche que l'étude de référence à savoir les concentrations maximales détectées dans les gaz du sol au droit de chaque zone considérée (pleine terre ou arase du futur sous-sol), ou à défaut les limites de quantification du laboratoire.

Le tableau suivant présente les concentrations retenues pour les expositions par ingestion de sol et inhalation de poussières.

Substance	Teneur retenue dans les sols (mg/kg MS)	Prélèvement concerné
Métaux		
Cuivre	144	90ème percentile sur échantillons analysés entre 0 et 1 m de profondeur sur l'ensemble du site
Mercuré	1,24	
Plomb	469	
Zinc	370	
Organo-Hologénés Volatils (COHV)		
Trichloroéthylène	0,15	Valeur maximale mesurée entre 0 et 1 m sur l'ensemble du site
Hydrocarbures totaux (Indice C5-C40)		
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,0	90ème percentile sur échantillons analysés entre 0 et 1 m de profondeur sur l'ensemble du site - Hors spots de pollution aux hydrocarbures
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	5,95	
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21 calculé	11,35	
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	44,9	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Naphtalène	0,12	90ème percentile sur échantillons analysés entre 0 et 1 m de profondeur sur l'ensemble du site - Hors spots de pollution aux hydrocarbures
Acénaphène	0,12	
Fluorène	0,09	
Phénanthrène	1,75	
Anthracène	0,22	
Fluoranthène	3,1	
Pyrène	2,7	
Benzo(a)anthracène	1,5	
Chrysène	1,35	
Benzo(b)fluoranthène	1,6	
Benzo(k)fluoranthène	0,89	
Benzo(a)pyrène	1,8	
Dibenzo(ah)anthracène	0,2	
Benzo(ghi)pérylène	1,2	
Indeno(123cd)pyrène	1,2	
Polychlorobiphényles		
Arochlor 1254	0,009	Valeur maximale mesurée entre 0 et 1 m sur l'ensemble du site

Tableau 70 : Tableau récapitulatif des substances et teneurs retenues pour les scénarios « ingestion de sol » et « inhalation de poussières » dans le cadre de l'étude de sensibilité

Le tableau suivant présente les concentrations retenues pour l'exposition par consommation de végétaux auto-produits.

Substance	Teneur retenue dans les sols (mg/kg MS)	Prélèvement concerné
Métaux		
Cuivre	132	90ème percentile sur échantillons analysés sur l'ensemble du site, toutes profondeurs confondues
Mercure	2,49	
Plomb	324	
Zinc	250	
COHV		
Trichloroéthylène	0,31	Valeur maximale mesurée sur l'ensemble du site, toutes profondeurs confondues
Hydrocarbures totaux (Indice C5-C40)		
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,0	90ème percentile sur échantillons analysés sur l'ensemble du site, toutes profondeurs confondues - Hors spots de pollution aux hydrocarbures
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	4,0	
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21 calculé	8,3	
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	27,1	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques		
Naphtalène	0,1	90ème percentile sur échantillons analysés sur l'ensemble du site, toutes profondeurs confondues - Hors spots de pollution aux hydrocarbures
Acénaphthène	0,06	
Fluorène	0,05	
Phénanthrène	1,00	
Anthracène	0,16	
Fluoranthène	1,6	
Pyrène	1,7	
Benzo(a)anthracène	0,97	
Chrysène	1,0	
Benzo(b)fluoranthène	1,0	
Benzo(k)fluoranthène	0,56	
Benzo(a)pyrène	1,0	
Dibenzo(ah)anthracène	0,1	
Benzo(ghi)peryène	0,61	
Indeno(123cd)pyrène	0,74	
Polychlorobiphényles		
Arochlor 1254	0,009	Valeur maximale mesurée sur l'ensemble du site, toutes profondeurs confondues

Tableau 71 : Tableau récapitulatif des substances et teneurs retenues pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits » dans le cadre de l'étude de sensibilité

Les concentrations retenues pour les expositions par inhalation de vapeur sont inchangées par rapport à l'étude de référence.

Les autres paramètres pris en compte dans cette étude de sensibilité (caractéristiques des sols et des bâtiments, paramètres corporels...) sont strictement identiques à ceux de l'étude de référence

9.2. Scénario n°1 : inhalation de poussières

Le mode de calcul reste strictement le même que celui de l'étude de référence, la seule modification étant les concentrations retenues.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « inhalation de poussières » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)	Enfant résident		Adulte résident		Valeur toxicologique de référence		Quotient de Danger		Excès de Risque individuel	
		Concentration inhalée à seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée à seuil (mg/m ³)	Concentration inhalée sans seuil (mg/m ³)	A seuil (mg/m ³)	sans seuil (mg/m ³) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Métaux											
Cuivre	144,00	3,39E-06	2,90E-07	2,90E-06	1,24E-06	1,00E-03	-	3,39E-03	2,90E-03	-	-
Mercur	1,24	2,92E-08	2,50E-09	2,50E-08	1,07E-08	3,00E-05	-	9,73E-04	8,33E-04	-	-
Plomb	468,00	1,10E-05	9,44E-07	9,43E-06	4,04E-06	-	1,20E-02	-	-	1,13E-08	4,85E-08
Zinc	370,00	8,71E-06	7,46E-07	7,46E-06	3,20E-06	-	-	-	-	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)											
Trichloroéthylène	0,15	3,53E-09	3,03E-10	3,02E-09	1,30E-09	3,20E+00	1,00E-03	1,10E-09	9,45E-10	3,03E-13	1,30E-12
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)											
Aromatiques >C10 - C12	4,00	9,41E-08	8,07E-09	8,06E-08	3,45E-08	2,00E-01	-	4,71E-07	4,03E-07	-	-
Aromatiques >C12 - C16	5,95	1,40E-07	1,20E-08	1,20E-07	5,14E-08	2,00E-01	-	7,00E-07	6,00E-07	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)											
Naphtalène	0,12	2,82E-09	2,42E-10	2,42E-09	1,04E-09	3,70E-02	5,60E-03	7,63E-08	6,54E-08	1,36E-12	5,80E-12
Acénaphthène	0,12	2,72E-09	2,33E-10	2,33E-09	9,98E-10	1,00E-03	6,00E-04	2,72E-06	2,33E-06	1,40E-13	5,99E-13
Fluorène	0,09	2,13E-09	1,83E-10	1,82E-09	7,82E-10	1,00E-03	6,00E-04	2,13E-06	1,82E-06	1,10E-13	4,69E-13
Phénanthrène	1,75	4,12E-08	3,53E-09	3,53E-08	1,51E-08	1,00E-03	6,00E-04	4,12E-05	3,53E-05	2,12E-12	9,07E-12
Anthracène	0,22	5,06E-09	4,34E-10	4,33E-09	1,86E-09	1,00E-02	6,00E-03	5,06E-07	4,33E-07	2,60E-12	1,11E-11
Fluoranthène	3,10	7,29E-08	6,25E-09	6,25E-08	2,68E-08	1,00E-03	6,00E-04	7,29E-05	6,25E-05	3,75E-12	1,61E-11
Pyrène	2,70	6,35E-08	5,45E-09	5,44E-08	2,33E-08	1,00E-03	6,00E-04	6,35E-05	5,44E-05	3,27E-12	1,40E-11
Benzo(a)anthracène	1,50	3,53E-08	3,03E-09	3,02E-08	1,30E-08	1,00E-01	6,00E-02	3,53E-07	3,02E-07	1,82E-10	7,77E-10
Chrysène	1,35	3,18E-08	2,72E-09	2,72E-08	1,17E-08	1,00E-02	6,00E-03	3,18E-06	2,72E-06	1,63E-11	7,00E-11
Benzo(b)fluoranthène	1,60	3,76E-08	3,23E-09	3,22E-08	1,38E-08	1,00E-01	6,00E-02	3,76E-07	3,22E-07	1,94E-10	8,29E-10
Benzo(k)fluoranthène	0,89	2,09E-08	1,80E-09	1,79E-08	7,69E-09	1,00E-01	6,00E-02	2,09E-07	1,79E-07	1,08E-10	4,61E-10
Benzo(a)pyrène	1,80	4,24E-08	3,63E-09	3,63E-08	1,55E-08	2,00E-06	6,00E-01	2,12E-02	1,81E-02	2,18E-09	9,33E-09
Dibenzo(a,h)anthracène	0,20	4,71E-09	4,03E-10	4,03E-09	1,73E-09	1,00E+00	6,00E-01	4,71E-09	4,03E-09	2,42E-10	1,04E-09
Benzo(ghi)perylène	1,20	2,82E-08	2,42E-09	2,42E-08	1,04E-08	1,00E-02	6,00E-03	2,82E-06	2,42E-06	1,45E-11	6,22E-11
Indeno(1,23cd)pyrène	1,20	2,82E-08	2,42E-09	2,42E-08	1,04E-08	1,00E-01	6,00E-02	2,82E-07	2,42E-07	1,45E-10	6,22E-10
Somme								2,57E-02	2,20E-02	1,44E-08	6,18E-08
Somme Enfant + Adulte								-	-	7,62E-08	
Valeur seuil								1	1	1,00E-05	

Tableau 72 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Inhalation de poussières » - Enfants et adultes résidents – Étude de sensibilité

9.3. **Scénario n°2 : ingestion de sol**

Le mode de calcul reste strictement le même que celui de l'étude de référence, la seule modification étant les concentrations retenues.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « ingestion de sol » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)		Dose journalière d'exposition enfant		Dose journalière d'exposition adulte		VTR		Quotient de Danger (à seuil)		Excès de risque individuel (sans seuil)	
	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg)	SANS SEUIL (mg/kg) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Métaux												
Cuivre	144,00	7,18E-05	8,38E-04	9,86E-05	4,23E-05	1,50E-01	-	-	5,58E-03	6,58E-04	-	-
Mercure	1,24	6,18E-07	7,21E-06	8,49E-07	3,64E-07	6,60E-04	-	-	1,09E-02	1,29E-03	-	-
Plomb	468,00	2,33E-04	2,72E-03	3,21E-04	1,37E-04	3,60E-03	8,50E-03	8,50E-03	7,56E-01	8,90E-02	1,98E-06	1,17E-06
Zinc	370,00	1,84E-04	2,15E-03	2,53E-04	1,09E-04	3,00E-01	-	-	7,17E-03	8,45E-04	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)												
Trichloréthylène	0,15	7,48E-08	8,73E-07	1,03E-07	4,40E-08	5,00E-04	8,11E-04	8,11E-04	1,75E-03	2,05E-04	6,07E-11	3,57E-11
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)												
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,00	1,99E-06	2,33E-05	2,74E-06	1,17E-06	4,00E-02	-	-	5,82E-04	6,85E-05	-	-
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	5,95	2,97E-06	3,46E-05	4,08E-06	1,75E-06	4,00E-02	-	-	8,65E-04	1,02E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21	11,35	5,66E-06	6,60E-05	7,77E-06	3,33E-06	3,00E-02	-	-	2,20E-03	2,59E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	44,90	2,24E-05	2,61E-04	3,08E-05	1,32E-05	3,00E-02	-	-	8,71E-03	1,03E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)												
Naphtalène	0,12	5,98E-08	6,98E-07	8,22E-08	3,52E-08	2,00E-02	1,20E-01	1,20E-01	3,49E-05	4,11E-06	7,18E-09	4,23E-09
Acénaphthène	0,12	5,76E-08	6,72E-07	7,91E-08	3,39E-08	6,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	1,12E-05	1,32E-06	5,76E-11	3,39E-11
Fluorène	0,09	4,51E-08	5,26E-07	6,20E-08	2,66E-08	4,00E-02	1,00E-02	1,00E-02	1,32E-05	1,55E-06	4,51E-11	2,66E-11
Phénanthrène	1,75	8,73E-07	1,02E-05	1,20E-06	5,14E-07	4,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	2,55E-04	3,00E-05	8,73E-10	5,14E-10
Anthracène	0,22	1,07E-07	1,25E-06	1,47E-07	6,31E-08	3,00E-01	1,00E-02	1,00E-02	4,17E-06	4,91E-07	1,07E-09	6,31E-10
Fluoranthène	3,10	1,55E-06	1,80E-05	2,12E-06	9,10E-07	4,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	4,51E-04	5,31E-05	1,55E-09	9,10E-10
Pyrène	2,70	1,35E-06	1,57E-05	1,85E-06	7,93E-07	3,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	5,24E-04	6,16E-05	1,35E-09	7,93E-10
Benzo(a)anthracène	1,50	7,48E-07	8,73E-06	1,03E-06	4,40E-07	3,00E-03	1,00E-01	1,00E-01	2,91E-03	3,42E-04	7,48E-08	4,40E-08
Chrysène	1,35	6,73E-07	7,85E-06	9,25E-07	3,96E-07	3,00E-02	1,00E-02	1,00E-02	2,62E-04	3,08E-05	6,73E-09	3,96E-09
Benzo(b)fluoranthène	1,60	7,98E-07	9,31E-06	1,10E-06	4,70E-07	3,00E-03	1,00E-01	1,00E-01	3,10E-03	3,65E-04	7,98E-08	4,70E-08
Benzo(k)fluoranthène	0,89	4,44E-07	5,18E-06	6,10E-07	2,61E-07	3,00E-03	1,00E-01	1,00E-01	1,73E-03	2,03E-04	4,44E-08	2,61E-08
Benzo(a)pyrène	1,80	8,98E-07	1,05E-05	1,23E-06	5,28E-07	3,00E-04	1,00E+00	1,00E+00	3,49E-02	4,11E-03	8,98E-07	5,28E-07
Dibenz(a,h)anthracène	0,20	9,97E-08	1,16E-06	1,37E-07	5,87E-08	3,00E-04	1,00E+00	1,00E+00	3,88E-03	4,57E-04	9,97E-08	5,87E-08
Benzo(ghi)pérylène	1,20	5,98E-07	6,98E-06	8,22E-07	3,52E-07	3,00E-02	1,00E-02	1,00E-02	2,33E-04	2,74E-05	5,98E-09	3,52E-09
Indeno(1,2,3cd)pyrène	1,20	5,98E-07	6,98E-06	8,22E-07	3,52E-07	3,00E-03	1,00E-01	1,00E-01	2,33E-03	2,74E-04	5,98E-08	3,52E-08
Polychlorobiphényles (PCB)												
Arochlor 1254	0,009	4,49E-09	5,24E-08	6,16E-09	2,64E-09	7,00E-05	-	-	7,48E-04	8,81E-05	-	-
somme									0,85	0,10	3,26E-06	1,92E-06
somme enfant+adulte												
Valeur Seuil									1	1	5,19E-06	1,00E-05

Tableau 73 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Ingestion de sol » - Adultes et enfants résidents - Etude de sensibilité

9.4. Scénario n°3 : consommation de végétaux autoproduits

Le mode de calcul reste strictement le même que celui de l'étude de référence, la seule modification étant les concentrations retenues.

Les résultats des calculs montrent que pour le scénario « consommation de végétaux autoproduits » et pour les paramètres sélectionnés :

- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants, mais **acceptables** pour les adultes résidents ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants et adultes résidents, mais **inacceptables** pour le scénario « vie entière enfant+adulte ».

Nous vous rappelons que l'addition des Quotients de Danger (QD) pour toutes les substances permet d'obtenir une valeur globale du risque pour l'individu le plus exposé, mais suppose l'additivité de leur mode d'action toxique respectif. Or, ce n'est pas le cas pour les substances qui n'agissent pas sur le même organe cible. Il s'agit donc d'une approche plutôt sécuritaire pour la santé permettant de tenir compte d'une éventuelle synergie entre substances aujourd'hui non avérée.

Toutefois, dans le cas présent, il est constaté qu'un composé génère à lui-seul un niveau de risque inacceptable pour les effets à seuil. Une approche par organe cible ne serait donc pas pertinente.

Le plomb induit à lui seul des niveaux de risque inacceptables.

Le tableau synthétique de calcul est présenté sur la page suivante.

Substance	Teneur dans les sols (mg/kg MS)	Facteur de bioconcentration Bv	Concentration dans les plantes (mg/kg)	Dose journalière d'exposition enfant		Dose journalière d'exposition adulte		VTR		Quotient de Danger		Excès de risque individuel	
				A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg/j)	SANS SEUIL (mg/kg/j)	A SEUIL (mg/kg)	SANS SEUIL (mg/kg) ⁻¹	Enfant résident	Adulte résident	Enfant résident	Adulte résident
Métaux													
Cuivre	132,00	1,50E-01	2,97E+00	9,45E-03	8,10E-04	3,10E-03	1,33E-03	1,50E-01	-	6,30E-02	2,07E-02	-	-
Mercuré	2,49	3,50E-02	1,31E-02	4,16E-05	3,56E-06	1,37E-05	5,86E-06	6,60E-04	-	6,30E-02	2,07E-02	-	-
Plomb	324,00	3,00E-02	1,46E+00	4,64E-03	3,98E-04	1,52E-03	6,53E-04	3,60E-03	0,01	1,29E+00	4,23E-01	3,38E-06	5,55E-06
Zinc	250,00	2,30E-01	8,63E+00	2,74E-02	2,35E-03	9,02E-03	3,86E-03	3,00E-01	-	9,15E-02	3,01E-02	-	-
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)													
Trichloroéthylène	0,31	1,80E-01	5,58E-02	1,78E-04	1,52E-05	5,84E-05	2,50E-05	5,00E-04	8,11E-04	3,55E-01	1,17E-01	1,23E-08	2,03E-08
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)													
Hydrocarbures aromatiques C10 - C12	4,00	1,64E-02	6,56E-02	2,09E-04	1,79E-05	6,86E-05	2,94E-05	4,00E-02	-	5,22E-03	1,72E-03	-	-
Hydrocarbures aromatiques C13 - C16	4,00	6,38E-03	2,55E-02	8,12E-05	6,96E-06	2,67E-05	1,14E-05	4,00E-02	-	2,03E-03	6,67E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C17 - C21	8,30	1,87E-03	1,56E-02	4,95E-05	4,24E-06	1,63E-05	6,97E-06	3,00E-02	-	1,65E-03	5,42E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques C22 - C35 calculé	27,12	5,97E-04	1,62E-02	5,15E-05	4,41E-06	1,69E-05	7,25E-06	3,00E-02	-	1,72E-03	5,64E-04	-	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)													
Naphtalène	0,10	7,19E-02	7,19E-03	2,29E-05	1,96E-06	7,51E-06	3,22E-06	2,00E-02	1,20E-01	1,14E-03	3,76E-04	2,35E-07	3,86E-07
Acénaphthène	0,06	3,15E-02	1,98E-03	6,31E-06	5,41E-07	2,07E-06	8,89E-07	6,00E-02	1,00E-03	1,05E-04	3,46E-05	5,41E-10	8,89E-10
Fluorène	0,05	2,23E-02	1,11E-03	3,54E-06	3,04E-07	1,16E-06	4,99E-07	4,00E-02	1,00E-03	8,86E-05	2,91E-05	3,04E-10	4,99E-10
Phénanthrène	1,00	1,54E-02	1,54E-02	4,88E-05	4,19E-06	1,60E-05	6,88E-06	4,00E-02	1,00E-03	1,22E-03	4,01E-04	4,19E-09	6,88E-09
Anthracène	0,16	1,56E-02	2,49E-03	7,92E-06	6,79E-07	2,60E-06	1,12E-06	3,00E-01	1,00E-02	2,64E-05	8,67E-06	6,79E-09	1,12E-08
Fluoranthène	1,60	6,05E-03	9,68E-03	3,08E-05	2,64E-06	1,01E-05	4,33E-06	4,00E-02	1,00E-03	7,70E-04	2,53E-04	2,64E-09	4,33E-09
Pyrène	1,70	8,78E-03	1,49E-02	4,75E-05	4,07E-06	1,56E-05	6,89E-06	4,00E-02	1,00E-03	1,58E-03	5,20E-04	4,07E-09	6,89E-09
Benzo(a)anthracène	0,97	2,61E-03	2,54E-03	8,07E-06	6,92E-07	2,65E-06	1,14E-06	3,00E-03	1,00E-01	-	-	6,92E-08	1,14E-07
Chrysène	1,00	2,83E-03	2,83E-03	9,01E-06	7,72E-07	2,96E-06	1,27E-06	3,00E-02	1,00E-02	-	-	7,72E-09	1,27E-08
Benzo(b)fluoranthène	1,00	8,90E-04	8,90E-04	2,83E-06	2,43E-07	9,30E-07	3,99E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	2,43E-08	3,99E-08
Benzo(k)fluoranthène	0,56	6,47E-04	3,62E-04	1,15E-06	9,87E-08	3,78E-07	1,62E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	9,87E-09	1,62E-08
Benzo(a)pyrène	1,00	1,66E-03	1,66E-03	5,29E-06	4,53E-07	1,74E-06	7,45E-07	3,00E-04	1,00E+00	-	-	4,53E-07	7,45E-07
Dibenz(a,h)anthracène	0,10	7,29E-04	7,29E-05	2,32E-07	1,99E-08	7,62E-08	3,26E-08	3,00E-04	1,00E+00	-	-	1,99E-08	3,26E-08
Benzo(ghi)perylène	0,61	8,55E-04	5,22E-04	1,66E-06	1,42E-07	5,45E-07	2,34E-07	3,00E-02	1,00E-02	5,53E-05	1,82E-05	1,42E-09	2,34E-09
Indeno(1,2,3cd)pyrène	0,74	8,90E-04	6,58E-04	2,09E-06	1,80E-07	6,88E-07	2,95E-07	3,00E-03	1,00E-01	-	-	1,80E-08	2,95E-08
Polychlorobiphényles (PCB)													
Arochlor 1254	0,009	1,02E-03	9,15E-06	2,91E-08	2,49E-09	9,56E-09	4,10E-09	7,00E-05	-	4,16E-04	1,37E-04	-	-
somme										1,88	0,62	4,25E-06	6,98E-06
somme enfant+adulte										-	-	1,12E-05	-
Valeur Seuil										1	1	1,00E-05	-

Tableau 74 : Synthèse des concentrations d'exposition et des niveaux de risques pour le scénario « Consommation de végétaux autoproduits » - Adultes et enfants résidents – Étude de sensibilité

9.5. Scénario n°4 : inhalation en air extérieur

Aucune modification n'a été apportée pour ce scénario par rapport à l'étude de référence. Les résultats sont les mêmes que pour l'étude de référence.

9.6. Scénario n°5 : inhalation de vapeur dans l'air intérieur du sous-sol

Aucune modification n'a été apportée pour ce scénario par rapport à l'étude de référence. Les résultats sont les mêmes que pour l'étude de référence.

9.7. Scénario n°6 : inhalation de vapeur dans l'air intérieur du rez-de-chaussée sur sous-sol

Aucune modification n'a été apportée pour ce scénario par rapport à l'étude de référence. Les résultats sont les mêmes que pour l'étude de référence.

9.8. Scénario n°7 : inhalation de vapeurs dans l'air intérieur du rez-de-chaussée sur pleine terre

Aucune modification n'a été apportée pour ce scénario par rapport à l'étude de référence. Les résultats sont les mêmes que pour l'étude de référence.

9.9. Cumul des scénarios

Afin d'avoir un aperçu de l'exposition globale au niveau du site d'étude, les résultats des QD et des ERI des scénarios retenus ont été sommés. Ainsi est résumée l'exposition globale pour les effets à seuil et sans seuil.

Scénario	Effet à seuil		Effet sans seuil	
	Quotient de danger		Excès de Risque Individuel	
	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site
Inhalation de poussières CSOIL	0,03	0,02	1,44E-08	6,18E-08
Ingestion de sol	0,85	0,10	3,26E-06	1,92E-06
Consommation de végétaux autoproduits	1,88	0,62	4,25E-06	6,98E-06
Inhalation de vapeur en air extérieur J&E	1,55E-06	6,65E-07	1,89E-11	5,80E-11
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - sous-sol		0,01		1,11E-06
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur sous-sol	2,02E-03	1,80E-03	3,24E-08	1,44E-07
Si logement au rez-de-chaussée sur sous-sol				
Somme si logement au RDC sur sous-sol	2,75	0,75	7,56E-06	1,02E-05
Somme enfant + adulte	-		1,78E-05	
Valeur seuil	1		1,00E-05	
Si logement au rez-de-chaussée sur pleine terre				
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur pleine terre	1,07E-03	9,55E-04	1,73E-08	7,72E-08
Somme si logement au RDC sur pleine terre	2,75	0,75	7,58E-06	1,03E-05
Somme enfant + adulte	-		1,79E-05	
Valeur seuil	1		1,00E-05	

Tableau 75 : Cumul des risques – Étude de sensibilité

Le tableau ci-dessus montre que dans le cadre de la réalisation du projet et en prenant en compte d'une part les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol et d'autre part les 90^{ème} percentiles dans les sols (en dehors du spot de pollution aux hydrocarbures dans la partie centrale du site), vis-à-vis de l'ensemble des scénarios d'exposition retenus :

- Les risques sanitaires sont **inacceptables** pour les substances à effet à seuil (non cancérigènes) pour les enfants résidents, mais **acceptables** pour les adultes résidents travaillant sur site, pour des logements situés au rez-de-chaussée sur sous-sol ainsi que pour des logements situés au rez-de-chaussée sur pleine terre ;
- Les risques sanitaires sont **acceptables** pour les substances à effet sans seuil (cancérigènes) pour les enfants résidents, mais **inacceptables** pour les adultes résidents travaillant sur site, ainsi que pour le scénario « vie entière enfant+adulte ». Cela s'applique à des logements situés au rez-de-chaussée sur sous-sol ainsi qu'à des logements situés au rez-de-chaussée sur pleine terre.

Le scénario « consommation de végétaux autoproduits » génère à lui seul des niveaux de risque inacceptables pour les enfants résidents (environ 2 supérieurs aux seuils). Il représente :

- Entre 68 et 82 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet à seuil ;
- Entre 56 et 68 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet sans seuil.

Le scénario « ingestion de sol » représente :

- Entre 9 et 23 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet à seuil ;
- Entre 6 et 17 % des niveaux de risque totaux pour les substances à effet sans seuil.

Il est également à noter que le scénario « *ingestion de sol* » génère des niveaux de risque non négligeables, notamment pour les enfants résidents. En effet, bien qu'acceptables, les niveaux de risque peuvent être seulement moins de deux fois inférieurs à la limite d'acceptabilité. C'est-à-dire que la valeur calculée est du même ordre de grandeur que la valeur limite.

Pour le scénario « *inhalation de poussières* », les niveaux de risques sont largement acceptables avec des niveaux au moins 40 fois inférieurs aux limites d'acceptation.

Vis-à-vis des scénarios « *inhalation de vapeur en air intérieur* », pour lesquels les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol ont été retenues, les niveaux de risque sont nettement acceptables avec des niveaux au moins 9 fois inférieurs à la limite d'acceptabilité pour le sous-sol, et au moins 70 fois inférieurs pour le rez-de-chaussée.

Enfin, les niveaux induits par l'exposition par « *inhalation de vapeur en air extérieur* » sont négligeables car au moins 170 000 fois inférieurs aux seuils.

Notons que pour les risques à seuil (non cancérogènes), l'ensemble des quotients de danger a été sommé. Il s'agit d'une méthode majorante puisqu'il est admis qu'il est possible de ne sommer que les composés agissant sur le même organe cible.

Toutefois dans le cas présent, certains composés engendrent des niveaux de risque inacceptables à eux seuls pour l'exposition par consommation de végétaux autoproduits. De ce fait, quelle que soit la méthodologie utilisée (somme par organe ou somme de tous les composés), le résultat final est défavorable et nécessite la mise en place d'actions correctives pour cette exposition, d'autant plus que la somme des niveaux de risques sans seuil est également défavorable.

Il est important de souligner que la suppression de l'exposition par consommation de végétaux autoproduits aboutit à des niveaux totaux acceptables pour l'ensemble des cibles considérées, malgré l'approche majorante. Toutefois, les niveaux induits par l'exposition via ingestion de sol, bien qu'acceptables, sont proches des seuils.

10. COMPARAISON DES VALEURS DES ÉTUDES DE RÉFÉRENCE ET DE SENSIBILITÉ

Les tableaux suivants présentent les niveaux de risque pour chacun des scénarios d'exposition dans le cadre de l'étude de référence et l'étude de sensibilité.

Scénario	Etude de référence		Etude de sensibilité	
	Quotient de danger		Quotient de danger	
	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site
Inhalation de poussières CSOIL	1,08E-01	9,26E-02	2,57E-02	2,20E-02
Ingestion de sol	2,34	0,28	0,85	0,10
Consommation de végétaux autoproduits	7,68	2,52	1,88	0,62
Inhalation de vapeur en air extérieur J&E	1,55E-06	6,65E-07	1,55E-06	6,65E-07
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - sous-sol		0,01		0,01
Si logement au rez-de-chaussée sur sous-sol				
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur sous-sol	2,02E-03	1,80E-03	2,02E-03	1,80E-03
Somme si logement au RDC sur sous-sol	10,13	2,90	2,75	0,75
Valeur seuil	1			
Si logement au rez-de-chaussée sur pleine terre				
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur pleine terre	1,07E-03	9,55E-04	1,07E-03	9,55E-04
Somme si logement au RDC sur pleine terre	10,13	2,90	2,75	0,75
Valeur seuil	1			

Tableau 76 : Tableau comparatif des études de référence et de sensibilité – Substances à effet à seuil

Scénario	Etude de référence		Etude de sensibilité	
	Excès de risque individuel		Excès de risque individuel	
	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site	Enfant résident	Adulte résidant et travaillant sur site
Inhalation de poussières CSOIL	3,89E-07	1,67E-06	1,44E-08	6,18E-08
Ingestion de sol	3,43E-05	2,02E-05	3,26E-06	1,92E-06
Consommation de végétaux autoproduits	1,68E-04	2,77E-04	4,25E-06	6,98E-06
Inhalation de vapeur en air extérieur J&E	1,89E-11	5,80E-11	1,89E-11	5,80E-11
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - sous-sol		1,11E-06		1,11E-06
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur sous-sol	3,24E-08	1,44E-07	3,24E-08	1,44E-07
Si logement au rez-de-chaussée sur sous-sol				
Somme si logement au RDC sur sous-sol	2,03E-04	3,00E-04	7,56E-06	1,02E-05
Somme enfant + adulte	5,03E-04		1,78E-05	
Valeur seuil	1,00E-05			
Si logement au rez-de-chaussée sur pleine terre				
Inhalation de vapeur en air intérieur J&E - RDC sur pleine terre	1,73E-08	7,72E-08	1,73E-08	7,72E-08
Somme si logement au RDC sur pleine terre	2,03E-04	3,00E-04	7,58E-06	1,03E-05
Somme enfant + adulte	5,03E-04		1,79E-05	
Valeur seuil	1,00E-05			

Tableau 77 : Tableau comparatif des études de référence et de sensibilité – Substances à effet sans seuil

Pour rappel, les paramètres modifiés entre l'étude de référence et les études de sensibilité :

- concernent uniquement les expositions par ingestion de sol, inhalation de poussières et consommation de végétaux autoproduits,
- sont les concentrations retenues.

La comparaison des résultats de l'étude de référence et de l'étude de sensibilité montre que les niveaux de risque pour les expositions par ingestion de sol, inhalation de poussières et consommation de végétaux autoproduits sont plus faibles lorsque les 90^{ème} percentiles sont pris en compte. Ceci est logique puisque les 90^{ème} percentiles sont plus faibles (mais plus représentatifs de la qualité globale du terrain) que les concentrations maximales.

Ces résultats montrent que :

- les concentrations mesurées dans les gaz du sol ne sont pas de nature à présenter un risque sanitaire pour les futurs usagers du site ;
- dans le cadre d'une approche très majorante (concentrations maximales dans les sols appliquées à l'ensemble de la zone considérée, après purge du spot de pollution aux hydrocarbures), la suppression des expositions par ingestion de sol et consommation de végétaux autoproduits permettrait de rendre le site compatible avec l'usage futur ;
- dans le cadre d'une approche plus réaliste restant toutefois majorante (prise en compte des 90^{ème} percentiles dans les sols après purge du spot de pollution aux hydrocarbures), la suppression de l'exposition par consommation de végétaux autoproduits permettrait de rendre le site compatible avec l'usage futur.

Cette interprétation s'applique sur des résultats obtenus en considérant des paramètres du bâtiment correspondant pour la majorité à des choix du bureau d'étude se voulant réalistes, en l'absence de projet fixé.

11. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DE RÉFÉRENCE

Le tableau suivant permet de comparer les valeurs modélisées suivant les différentes études réalisées aux valeurs de référence. Les valeurs de référence sont issues :

- Du décret 2011-1727 du 02 décembre 2011 relatif aux valeurs guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène ;
- Des Valeurs Guides de Qualité d'Air Intérieur (VGAI) chroniques ou des Valeurs Toxicologiques de Référence fixées par l'ANSES.

Ces valeurs ont été consultées en mai 2023 dans le cadre de la réalisation de la présente étude.

De nombreux composés n'ayant pas de valeur de référence, nous utilisons à titre de comparaison les valeurs-repères R1 proposées par l'INERIS dans le cadre de la démarche « établissements sensibles ». Ces valeurs ne sont données qu'à titre indicatif car elles doivent être utilisées dans le cadre de la réalisation d'une Interprétation de l'État des Milieux (IEM). Toutefois, cela permet d'appréhender les concentrations modélisées pour les composés sans valeurs de référence.

Les concentrations prises en compte sont celles modélisées dans l'air intérieur du rez-de-chaussée (sur pleine terre et sur sous-sol) et les expositions dans l'air intérieur du sous-sol.

AIR INTÉRIEUR					
Substance	Valeur modélisée dans l'air ambiant du sous-sol (mg/m ³)	Valeur modélisée dans l'air ambiant du rez-de-chaussée sur sous-sol (mg/m ³)	Valeur modélisée dans l'air ambiant du rez-de-chaussée sur pleine terre (mg/m ³)	Valeur de référence (mg/m ³)	Source
Hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX)					
Benzène	7,59E-06	7,59E-07	3,78E-07	2,00E-03	Décret du 02/12/2011
Toluène	2,24E-05	2,24E-06	1,44E-06	2,00E+01	VGAI - ANSES
Ethylbenzène	1,50E-05	1,50E-06	7,49E-07	1,50E+00	VGAI - ANSES
Xylènes totaux	3,42E-05	3,42E-06	2,08E-06	1,00E-01	R1 - INERIS
Composés Organo-Chlorés Volatils (COHV)					
Dichlorométhane	4,25E-05	4,25E-06	2,10E-06	1,00E-02	R1 - INERIS
Trichlorométhane (Chloroforme)	3,48E-05	3,48E-06	1,70E-06	6,30E-02	R1 - INERIS
Tetrachlorométhane	2,75E-05	2,75E-06	1,38E-06	2,40E-04	R1 - INERIS
Trichloroéthylène	2,13E-05	2,13E-06	3,48E-07	1,00E-02	VGAI - ANSES
Tetrachloroéthylène	2,57E-05	2,57E-06	1,30E-06	2,50E-01	VGAI - ANSES
1,1-dichloroéthane	2,63E-05	2,63E-06	1,33E-06	-	-
1,2-dichloroéthane	3,48E-05	3,48E-06	1,74E-06	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	2,75E-05	2,75E-06	1,38E-06	1,00E+00	R1 - INERIS
1,1,2-trichloroéthane	2,75E-05	2,75E-06	1,40E-06	-	-
cis 1,2-Dichloroéthylène	2,62E-05	2,62E-06	1,33E-06	6,00E-02	R1 - INERIS
trans 1,2-Dichloroéthylène	2,53E-05	2,53E-06	1,28E-06	-	-
1,1-Dichloroéthène	1,55E-05	1,55E-06	7,65E-07	-	-
Chlorure de Vinyle	1,76E-05	1,76E-06	8,59E-07	2,60E-03	R1 - INERIS
Hydrocarbures totaux aliphatiques (HCT)					
Aliphatiques >C5-C6	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	1,80E+01	R1 - INERIS
Aliphatiques >C6-C8	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	1,80E+01	R1 - INERIS
Aliphatiques >C8-C10	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	1,00E+00	R1 - INERIS
Aliphatiques >C10-C12	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	1,00E+00	R1 - INERIS
Aliphatiques >C12-C16	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	1,00E+00	R1 - INERIS
Hydrocarbures totaux aromatiques (HCT)					
Aromatiques >C8 - C10	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	2,00E-01	R1 - INERIS
Aromatiques >C10 - C12	3,35E-04	3,35E-05	1,61E-05	2,00E-01	R1 - INERIS
Aromatiques >C12 - C16	3,35E-04	3,35E-05	1,62E-05	2,00E-01	R1 - INERIS
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)					
Naphtalène	7,55E-04	7,55E-05	4,13E-05	1,00E-02	VGAI - ANSES

Tableau 78 : Tableau comparatif des concentrations modélisées dans l'air en intérieur avec les valeurs de référence

L'ensemble des concentrations modélisées dans l'air intérieur est inférieur aux valeurs de gestion. Toutefois, certains composés ne possédant pas de valeurs de référence, la méthodologie des sites et sols pollués préconise la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires afin de juger de la compatibilité des valeurs modélisées avec l'usage projeté. Or, l'évaluation des risques sanitaires réalisée a montré que les concentrations modélisées dans l'air intérieur des futurs bâtiments sont compatibles d'un point de vue sanitaire avec l'usage.