

ANNEXES

Annexe 1 : Choix des substances retenues dans l'étude (1 page)



Substances recherchées	Justification du choix des substances retenues	Substances retenues dans l'EQRS
Hydrocarbures C ₅ à C ₄₀		
Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques C ₅ à C ₄₀	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Les hydrocarbures C₁₀ à C₄₀ ont été mis en évidence dans les sols. Ils ont été analysés sur les eaux souterraines mais n'ont pas été quantifiés. Les hydrocarbures aliphatiques C₅-C₁₆ ont été quantifiés dans les gaz du sol. Les hydrocarbures C_{>16} à C₄₀ ne sont pas retenus dans cette étude. En effet, ils sont considérés comme peu volatils et aucune VTR¹ inhalation n'est disponible dans la littérature pour ces composés. Les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques C₅ à C₁₆ sont pris en compte dans la suite de l'étude.	Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques C ₅ à C ₁₆
Composés Aromatiques Volatils (CAV)		
Benzène	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Aucun CAV n'a été quantifié dans les sols et les eaux souterraines. Les xylènes ont été quantifiés dans les gaz du sol. Les xylènes sont considérés dans la suite de l'étude.	Xylènes
Toluène		
Ethylbenzène		
m-, p-Xylène		
o-Xylène		
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Naphtalène	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Tous les HAP analysés ont été quantifiés dans les sols (sauf le naphtalène) et certains dans les eaux souterraines. Aucun HAP n'a été quantifié dans les gaz du sol. Les HAP ne sont pas pris en compte dans la suite de l'étude.	Aucune
Acénaphtylène		
Acénaphène		
Fluorène		
Phénanthrène		
Anthracène		
Fluoranthène		
Pyrène		
Benzo(a)anthracène		
Chrysène		
Benzo(b)fluoranthène		
Benzo(k)fluoranthène		
Benzo(a)pyrène		
Dibenzo(ah)anthracène		
Indéno(123-cd)pyrène		
Benzo(ghi)pérylène		
Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)		
1,1-Dichloroéthane	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Le trichloroéthylène uniquement a été quantifié à l'état de traces dans les eaux souterraines. Aucun COHV n'a été quantifié dans les sols et les gaz du sol. Les COHV ne sont pas pris en compte dans la suite de l'étude.	Aucune
1,1-Dichloroéthylène		
cis-1,2-Dichloroéthylène		
trans-,2-Dichloroéthylène		
Dichlorométhane		
Tétrachloroéthylène (= PCE)		
Tétrachlorométhane		
Trichlorométhane		
1,1,1-Trichloroéthane		
Trichloroéthylène (= TCE)		
Chlorure de vinyle		
Métaux sur échantillon brut		
Arsenic (As)	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Aucune anomalie significative en métaux n'a été mise en évidence dans les sols et les eaux souterraines. Le mercure est le seul élément trace métallique volatil. Il n'a pas été quantifié dans les sols et les eaux souterraines. Il a été analysé dans les gaz du sol et non quantifié. Le mercure n'est pas retenu dans la suite de l'étude.	Aucune
Cadmium (Ca)		
Chrome (Cr)		
Cuivre (Cu)		
Mercure (Hg)		
Nickel (Ni)		
Plomb (Pb)		
Zinc (Zn)		
Polychlorobiphényles (PCB)		
PCB n°28	Dans le cadre du diagnostic sur les milieux, réalisé par SEREA en 2024 (SER24561) : Aucun PCB n'a été quantifié dans les sols et les eaux souterraines. Les PCB n'ont pas été analysés dans les gaz du sol. Les PCB ne sont pas pris en compte dans la suite de l'étude.	Aucune
PCB n°52		
PCB n°101		
PCB n°118		
PCB n°138		
PCB n°153		
PCB n°180		

Remarque : Les substances sont considérées très faiblement volatiles depuis les sols lorsque leur pression de vapeur (Pv) est inférieure à 133 Pa à 20/25°C et leur constante de Henry (k_H) est inférieure à 100 Pa.m³/mol (source : *Guide sur le comportement des polluants dans le sol et les nappes, BRGM, 2008*).

¹ VTR : Valeur Toxicologique de Référence

Annexe 2 : Dangers des substances retenues dans l'étude (2 pages)



Classification des substances cancérigènes

Sources : <https://substances.ineris.fr/recherche-substances> ; <https://echa.europa.eu/fr/home> ;
<http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/>

Classification de l'IARC²

1	L'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme.
2A	L'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des indices limités de cancérogénicité chez l'homme et des indices suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire.
2B	L'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme.
3	L'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme.
4	L'agent (ou le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

Règlement CLP³

1A	Agents dont le potentiel cancérogène (C) / mutagène (M) / reprotoxique (R) pour l'être humain est avéré.
1B	Agents dont le potentiel cancérogène/mutagène/reprotoxique pour l'être humain est supposé.
2	Agents suspectés d'être cancérogène/mutagène/reprotoxique pour l'être humain.

Classification de l'ECHA⁴

C	Cancérigène
M	Mutagène
R	Reprotoxique = toxique pour la reproduction
Ss	Sensibilisateur cutané
Sr	Sensibilisateur respiratoire
PBT	Persistant, bioaccumulable et toxique

² IARC = CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

³ CLP : Classification, Labelling, Packaging

⁴ ECHA : European CHemicals Agency



Substance		CAV	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC
		Xylènes	Aromatiques C ₈ -C ₁₀	Aromatiques C _{>10} -C ₁₂	Aromatiques C _{>12} -C ₁₆	Aliphatiques C ₅ -C ₆	Aliphatiques C ₆ -C ₈	Aliphatiques C ₈ -C ₁₀	Aliphatiques C _{>10} -C ₁₂	Aliphatiques C _{>12} -C ₁₆
n°CAS		1330-20-7	-	-	-	-	-	-	-	-
Inhalation	Effet(s) sur la santé / Organe(s) cible(s) principal(aux)	Système nerveux central, foie, sang, poumons	Perte de poids			Neurotoxicité		Changements hépatiques et hématologiques		
	Effet(s) sur la santé / Organe(s) cible(s) secondaire(s)	Peau, rate, reins	NC							
Classification		IARC : 3 CLP : NC ECHA : NC	Non estimé dans le cadre du regroupement des fractions d'hydrocarbures							

NC : Non Classé (ou non étudié)

Annexe 3 : Equations utilisées pour la modélisation sanitaire
(5 pages)



1. Dose Journalière d'Exposition (DJE)

Pour la voie d'exposition par inhalation, la DJE est calculée comme suit :

$$DJE = C \times F \times \frac{T}{T_m}$$

DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m³)

C : Concentration en polluant dans le milieu d'exposition (mg/m³)

F : Fréquence ou taux d'exposition - Nombre annuel d'heures ou de jours (sans unité)

T : Durée d'exposition (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années)

Pour les polluants avec effets à seuil, l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition soit T_m = T.

Pour les polluants sans seuil, T_m est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans, soit T_m = 70 ans).



2. Modélisation du transfert des polluants

Transfert de l'air du sol vers l'air intérieur (source infinie avec dalle béton)

Jeux d'équations - transferts des polluants de l'air du sol vers l'air intérieur - modèle Johnson & Ettinger (US EPA, 2004)

Ce modèle considère un flux de polluants provenant de l'air du sol (source infinie) transféré vers l'air intérieur du bâtiment par le biais de phénomènes de diffusion et de convection.

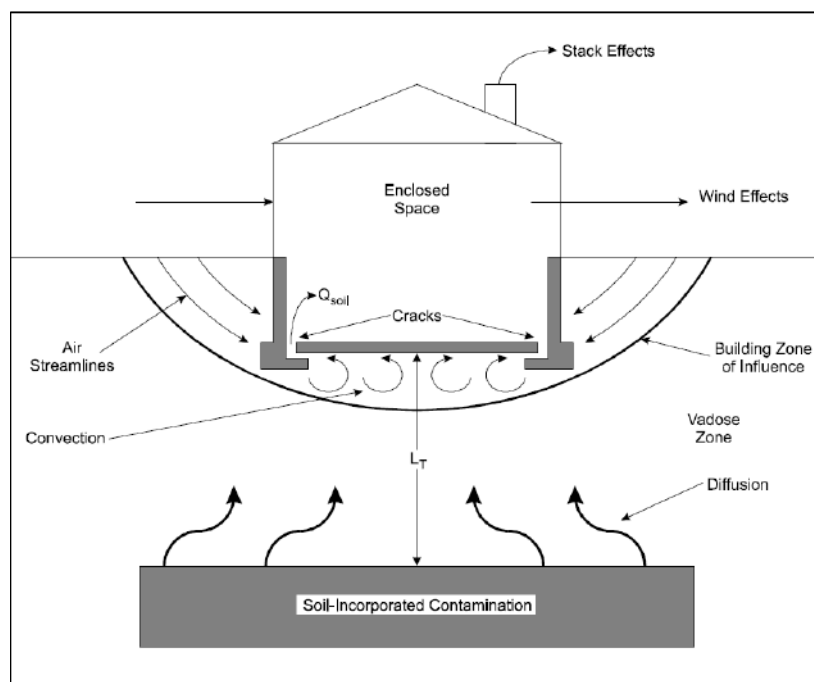


Figure : Flux de polluants pris en compte dans le modèle Johnson & Ettinger

Le modèle peut calculer la concentration dans l'air intérieur à partir des teneurs mesurées dans l'air du sol.



Pour cela, un coefficient d'atténuation α est calculé entre la concentration dans l'air du sol et la concentration dans l'air intérieur :

$$C_{bat} = \alpha \times C_{air_sol_f}$$

Avec :

C_{bat} : Concentration dans l'air intérieur du bâtiment (mg/m^3_{air})

$C_{air_sol_f}$: Concentration dans l'air du sol (mg/m^3_{air})

α : Coefficient d'atténuation (sans unité)

- Le coefficient d'atténuation α est calculé comme ci-après :

$$\alpha = \frac{\frac{Deff \times AB}{Q_B \times L_T} \times \left[\exp\left(\frac{Q_{soil} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) \right]}{\left[\exp\left(\frac{Q_{soil} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) + \left(\frac{Deff \times AB}{Q_B \times L_T} \right) + \left(\frac{Deff \times AB}{Q_{soil} \times L_T} \right) \times \left[\exp\left(\frac{Q_{soil} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}}\right) - 1 \right] \right]}$$

$Deff$: Coefficient de diffusion global (cm^2/s)

AB : Surface de l'espace enterré (cm^2)

Q_B : Taux de ventilation du bâtiment (cm^3/s)

L_T : Distance entre la source de pollution et la base des fondations du bâtiment (cm)

Q_{soil} : Flux d'air du sol vers le bâtiment (cm^3/s)

L_{crack} : Epaisseur de la fondation (cm)

D_{crack} : Coefficient de diffusion au-travers des fissures (cm^2/s)

A_{crack} : Aire totale des fissures (cm^2)

- Le coefficient de diffusion global $Deff$ est défini comme suit :

$$Deff = \frac{L_T}{\sum_{i=0}^n \frac{L_i}{Deff,i}}$$

L_T : Distance entre la source de pollution et la base des fondations du bâtiment (cm)

L_i : Epaisseur de la couche de sol (cm)

$Deff,i$: Coefficient de diffusion au-travers de chaque couche de sol (cm^2/s)



- Le coefficient de diffusion au-travers de chaque couche de sol $Deff,i$ est défini par :

$$Deff,i = Da \times \left(\frac{\theta_{a,i}^{3,33}}{n_i^2} \right) + \left(\frac{Dw}{H} \right) \times \left(\frac{\theta_{w,i}^{3,33}}{n_i^2} \right)$$

Da : Coefficient de diffusion dans l'air de la substance (cm^2/s)

$\theta_{a,i}$: Porosité sol-air de la couche de sol i (cm^3/cm^3)

n_i : Porosité totale de la couche de sol i (cm^3/cm^3)

Dw : Coefficient de diffusion dans l'eau de la substance (cm^2/s)

H : Constante de Henry de partage air/eau adimensionnée ($mg/m^3_a)/(mg/m^3_w)$)

$\theta_{w,i}$: Porosité eau-air de la couche de sol i (cm^3/cm^3)

- Le taux de ventilation du bâtiment Q_B est déterminé par :

$$Q_B = \frac{L_B \times H_B \times W_B \times ER}{3\ 600}$$

Q_B : Taux de ventilation du bâtiment (cm^3/s)

L_B : Longueur du bâtiment (cm)

H_B : Hauteur du bâtiment (cm)

W_B : Largeur du bâtiment (cm)

ER : Taux de renouvellement d'air (/h)

- Le flux d'air du sol entrant dans le bâtiment Q_{soil} est déterminé par :

$$Q_{soil} = \frac{2 \times \Pi \times (\Delta P) \times k_v \times X_{crack}}{\mu \ln \left(2 \times \frac{Z_{crack}}{r_{crack}} \right)}$$

ΔP : Différence de pression entre la surface du sol et le bâtiment ($g/cm.s^2$)

k_v : Perméabilité de l'air du sol (cm^2)

X_{crack} : Périmètre de la dalle de fondation (cm)

μ : Viscosité de l'air ($g/cm.s$)

Z_{crack} : Profondeur de la base des fondations (cm)

r_{crack} : Rayon équivalent d'une fissure (cm)



Avec le rayon équivalent d'une fissure r_{crack} égal à :

$$r_{crack} = \eta \times \frac{AB}{X_{crack}}$$

$$\eta = A_{crack} / AB$$

$$A_{crack} = X_{crack} \times w$$

AB : Surface de l'espace enterré (cm^2)

X_{crack} : Périmètre d'une fissure entre le sol et le mur (cm)

A_{crack} : Aire totale des fissures (cm^2)

η : Ratio de fissures par surface (sans unité)

w : Largeur des fissures de retrait (cm)

3. Quotient de Danger (QD)

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

QD : Quotient de Danger (sans unité)

DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m^3)

VTR : Valeur Toxicologique de Référence (mg/m^3)

4. Excès de Risque Individuel (ERI)

$$ERI = DJE * ERU$$

ERI : Excès de Risque Individuel (sans unité)

DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/m^3)

ERU : Excès de Risque Unitaire (mg/m^3)⁻¹

**Annexe 4 : Paramètres physico-chimiques des substances
retenues dans l'étude (1 page)**



Paramètre	Symbole	Unité	CAV	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC
			Xylènes	Aromatiques C ₈ -C ₁₀	Aromatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aromatiques C ₁₂ -C ₁₆	Aliphatiques C ₅ -C ₆	Aliphatiques C ₆ -C ₈	Aliphatiques C ₈ -C ₁₀	Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆
n°CAS			1330-20-7	-	-	-	-	-	-	-	-
Masse molaire	M	(g/mol)	102	120	130	150	81	100	130	160	200
Source			INERIS	TPHCWG							
Coefficient de diffusion dans l'air	Da	m ² /s	7,4E-06	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05
Source			GSI Env.	TPHCWG							
Coefficient de diffusion dans l'eau	Dw	m ² /s	8,5E-10	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09	1,0E-09
Source			GSI Env.	TPHCWG							
Coefficient de partage carbone organique / eau	Koc	L/kg ou cm ³ /g	2,4E+02	1,6E+03	2,5E+03	5,0E+03	7,9E+02	4,0E+03	3,2E+04	2,5E+05	5,0E+06
Source			GSI Env.	TPHCWG							
Solubilité	S	mg/l ou g/m ³	2,0E+02	6,5E+01	2,5E+01	5,8E+00	3,6E+01	5,4E+00	4,3E-01	3,4E-02	7,6E-04
Source			GSI Env.	INERIS							
Coefficient de Henry	H	(mg/m ³ sa)/ (mg/m ³ eau)	2,9E-01	4,8E-01	1,4E-01	5,3E-02	3,3E+01	5,0E+01	8,0E+01	1,2E+02	5,2E+02
Source			GSI Env.	TPHCWG							

**Annexe 5 : Paramètres retenus pour la modélisation du
transfert des polluants (2 pages)**



Paramètres de transfert - Intérieur

Paramètre	Unité	Donnée d'entrée	Source/Justification
Données générales			
Distance entre la source et la base des fondations du bâtiment	cm	3,00E+01	Profondeur de la crépine des piézairs sous la dalle béton
Caractéristiques du sol pollué			
Type de sol =		Sable	Analyse granulométrique
Fraction de matière sèche	kgMS/kgMB	8,70E-01	Moyenne des valeurs obtenues sur les sols
Porosité totale	(-)	3,75E-01	Johnson&Ettinger
Masse volumique = densité	kg/m3	1,66E+03	Johnson&Ettinger
Caractéristiques du sol : couche A			
Type de sol =		Sable	Granulométrie majorante
Epaisseur de la couche sol	cm	5,00E+01	Profondeur de la crépine des piézairs
Porosité totale de la couche de sol A	(-)	3,75E-01	Johnson&Ettinger

Données logements

Paramètre	Unité	Donnée d'entrée	Source/Justification
Longueur	cm	300	Longueur supposée d'une petite pièce de vie (aménagement futur supposé)
Largeur	cm	300	Largeur supposée d'une petite pièce de vie (aménagement futur supposé)
Aire	cm ²	90 000	Superficie supposée d'une petite pièce de vie (aménagement futur supposé)
Hauteur sous plafond	cm	250	Hauteur sous plafond minimale RDC (aménagement futur supposé)
Largeur des fissures de retrait	cm	0,1	Johnson&Ettinger
Taux de renouvellement d'air	/h	0,5	Scénario considéré (Préconisations de l'ICEB ⁵ et guides méthodologiques FLUXOBAT et BATICOV)
Différence de pression (surface du sol/bâtiment)	g/cm.s ²	40	Johnson&Ettinger
Profondeur de la base des fondations (=L _f)	cm	20	Absence de sous-sol, épaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)
Epaisseur de la fondation	cm	20	Epaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)

⁵ Institut pour la Conception Ecoresponsable du Bâtiment



Données bureaux/commerces

Paramètre	Unité	Donnée d'entrée	Source/Justification
Longueur	cm	400	Longueur supposée d'un bureau (aménagement futur supposé)
Largeur	cm	250	Largeur supposée d'un bureau (aménagement futur supposé)
Aire	cm ²	100 000	Superficie minimum d'un bureau (aménagement futur supposé)
Hauteur sous plafond	cm	250	Hauteur sous plafond minimale RDC (aménagement futur supposé)
Largeur des fissures de retrait	cm	0,1	Johnson&Ettinger
Taux de renouvellement d'air	/h	1	Scénario considéré (Préconisations de l'ICEB et guides méthodologiques FLUXOBAT et BATICOV)
Différence de pression (surface du sol/bâtiment)	g/cm.s ²	40	Johnson&Ettinger
Profondeur de la base des fondations (=L _F)	cm	20	Absence de sous-sol, épaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)
Epaisseur de la fondation	cm	20	Epaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)

Données parking couvert

Paramètre	Unité	Donnée d'entrée	Source/Justification
Longueur	cm	1000	Longueur supposée du parking (aménagement futur supposé)
Largeur	cm	1000	Largeur supposée du parking (aménagement futur supposé)
Aire	cm ²	100 000	Superficie supposée du parking (aménagement futur supposé)
Hauteur sous plafond	cm	250	Hauteur sous plafond minimale RDC (aménagement futur supposé)
Largeur des fissures de retrait	cm	0,1	Johnson&Ettinger
Taux de renouvellement d'air	/h	1	Scénario considéré (Préconisations de l'ICEB et guides méthodologiques FLUXOBAT et BATICOV)
Différence de pression (surface du sol/bâtiment)	g/cm.s ²	40	Johnson&Ettinger
Profondeur de la base des fondations (=L _F)	cm	20	Absence de sous-sol, épaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)
Epaisseur de la fondation	cm	20	Epaisseur dalle béton (aménagement futur supposé)

Annexe 6 : Résultats détaillés de l'EQRS (2 pages)



« Résidents » (adultes, enfants, nourrissons)

Substance		CAV	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	Somme toutes substances confondues	Valeur de référence
		Xylènes	Aromatiques C ₈ -C ₁₀	Aromatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aromatiques C ₁₂ -C ₁₆	Aliphatiques C ₅ -C ₆	Aliphatiques C ₆ -C ₈	Aliphatiques C ₈ -C ₁₀	Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆		
n°CAS		1330-20-7	-	-	-	-	-	-	-	-		
ADULTE												
Exposition dans le parking												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	2,25E-05	1,74E-04	1,74E-04	1,74E-04	1,96E-04	3,19E-04	1,76E-03	1,16E-03	6,05E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	4,69E-07	3,63E-06	3,63E-06	3,63E-06	4,07E-06	6,65E-06	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,34E-07	1,04E-06	1,04E-06	1,04E-06	1,16E-06	1,90E-06	1,05E-05	6,88E-06	3,60E-06		
Quotient de Danger (QD)	-	4,69E-06	1,82E-05	1,82E-05	1,82E-05	2,21E-07	3,61E-07	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05	1,33E-04	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'une petite pièce de vie												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	9,03E-05	7,60E-04	7,60E-04	7,60E-04	8,52E-04	1,39E-03	7,67E-03	5,04E-03	2,64E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	6,17E-05	5,19E-04	5,19E-04	5,19E-04	5,82E-04	9,51E-04	5,24E-03	3,44E-03	1,80E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,76E-05	1,48E-04	1,48E-04	1,48E-04	1,66E-04	2,72E-04	1,50E-03	9,84E-04	5,14E-04		
Quotient de Danger (QD)	-	6,17E-04	2,60E-03	2,60E-03	2,60E-03	3,17E-05	5,17E-05	5,24E-03	3,44E-03	1,80E-03	1,90E-02	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Risques INHALATION												
Somme des Quotients de Danger (QD)	-	6,22E-04	2,62E-03	2,62E-03	2,62E-03	3,19E-05	5,20E-05	5,28E-03	3,47E-03	1,81E-03	1,91E-02	1
ENFANT												
Exposition dans le parking												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	2,25E-05	1,74E-04	1,74E-04	1,74E-04	1,96E-04	3,19E-04	1,76E-03	1,16E-03	6,05E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	4,69E-07	3,63E-06	3,63E-06	3,63E-06	4,07E-06	6,65E-06	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	9,38E-08	7,27E-07	7,27E-07	7,27E-07	8,15E-07	1,33E-06	7,34E-06	4,82E-06	2,52E-06		
Quotient de Danger (QD)	-	4,69E-06	1,82E-05	1,82E-05	1,82E-05	2,21E-07	3,61E-07	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05	1,33E-04	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'une petite pièce de vie												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	9,03E-05	7,60E-04	7,60E-04	7,60E-04	8,52E-04	1,39E-03	7,67E-03	5,04E-03	2,64E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	5,75E-05	4,85E-04	4,85E-04	4,85E-04	5,43E-04	8,87E-04	4,89E-03	3,21E-03	1,68E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,15E-05	9,69E-05	9,69E-05	9,69E-05	1,09E-04	1,77E-04	9,79E-04	6,43E-04	3,36E-04		
Quotient de Danger (QD)	-	5,75E-04	2,42E-03	2,42E-03	2,42E-03	2,95E-05	4,82E-05	4,89E-03	3,21E-03	1,68E-03	1,77E-02	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Risques INHALATION												
Somme des Quotients de Danger (QD)	-	5,80E-04	2,44E-03	2,44E-03	2,44E-03	2,97E-05	4,86E-05	4,93E-03	3,24E-03	1,69E-03	1,78E-02	1
NOURRISSON												
Exposition dans le parking												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	2,25E-05	1,74E-04	1,74E-04	1,74E-04	1,96E-04	3,19E-04	1,76E-03	1,16E-03	6,05E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	4,69E-07	3,63E-06	3,63E-06	3,63E-06	4,07E-06	6,65E-06	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,34E-08	1,04E-07	1,04E-07	1,04E-07	1,16E-07	1,90E-07	1,05E-06	6,88E-07	3,60E-07		
Quotient de Danger (QD)	-	4,69E-06	1,82E-05	1,82E-05	1,82E-05	2,21E-07	3,61E-07	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05	1,33E-04	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'une petite pièce de vie												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	9,03E-05	7,60E-04	7,60E-04	7,60E-04	8,52E-04	1,39E-03	7,67E-03	5,04E-03	2,64E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	6,58E-05	5,54E-04	5,54E-04	5,54E-04	6,21E-04	1,01E-03	5,60E-03	3,67E-03	1,92E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,88E-06	1,58E-05	1,58E-05	1,58E-05	1,78E-05	2,90E-05	1,60E-04	1,05E-04	5,49E-05		
Quotient de Danger (QD)	-	6,58E-04	2,77E-03	2,77E-03	2,77E-03	3,38E-05	5,51E-05	5,60E-03	3,67E-03	1,92E-03	2,03E-02	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Risques INHALATION												
Somme des Quotients de Danger (QD)	-	6,63E-04	2,79E-03	2,79E-03	2,79E-03	3,40E-05	5,55E-05	5,63E-03	3,70E-03	1,93E-03	2,04E-02	1

Remarque : Le tiret « - » désigne l'absence de QD/ERI liée à l'absence de VTR/ERU ou une substance non retenue pour le milieu source concerné ou la voie d'exposition retenue.



« Travailleurs » adultes

Substance		CAV	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	Somme toutes substances confondues	Valeur de référence
		Xylènes	Aromatiques C ₈ -C ₁₀	Aromatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aromatiques C ₁₂ -C ₁₆	Aliphatiques C ₅ -C ₆	Aliphatiques C ₆ -C ₈	Aliphatiques C ₈ -C ₁₀	Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆		
n°CAS		1330-20-7	-	-	-	-	-	-	-	-		
INHALATION DE SUBSTANCES VOLATILES												
Exposition dans le parking												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m³	2,25E-05	1,74E-04	1,74E-04	1,74E-04	1,96E-04	3,19E-04	1,76E-03	1,16E-03	6,05E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m³	2,83E-07	2,19E-06	2,19E-06	2,19E-06	2,46E-06	4,01E-06	2,21E-05	1,45E-05	7,59E-06		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m³	1,74E-07	1,35E-06	1,35E-06	1,35E-06	1,51E-06	2,46E-06	1,36E-05	8,92E-06	4,66E-06		
Quotient de Danger (QD)	-	2,83E-06	1,10E-05	1,10E-05	1,10E-05	1,33E-07	2,18E-07	2,21E-05	1,45E-05	7,59E-06	8,03E-05	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'un bureau												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m³	4,46E-05	3,75E-04	3,75E-04	3,75E-04	4,21E-04	6,87E-04	3,79E-03	2,49E-03	1,30E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m³	8,97E-06	7,54E-05	7,54E-05	7,54E-05	8,45E-05	1,38E-04	7,61E-04	5,00E-04	2,61E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m³	5,51E-06	4,63E-05	4,63E-05	4,63E-05	5,19E-05	8,48E-05	4,68E-04	3,07E-04	1,61E-04		
Quotient de Danger (QD)	-	8,97E-05	3,77E-04	3,77E-04	3,77E-04	4,59E-06	7,50E-06	7,61E-04	5,00E-04	2,61E-04	2,75E-03	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Risques INHALATION												
Somme des Quotients de Danger (QD)	-	9,25E-05	3,88E-04	3,88E-04	3,88E-04	4,73E-06	7,72E-06	7,83E-04	5,14E-04	2,69E-04	2,84E-03	1

Remarque : Le tiret « - » désigne l'absence de QD/ERI liée à l'absence de VTR/ERU ou une substance non retenue pour le milieu source concerné ou la voie d’exposition retenue.

« Travailleurs » et « résidents » adultes

Substance		CAV	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	Somme toutes substances confondues	Valeur de référence
		Xylènes	Aromatiques C ₈ -C ₁₀	Aromatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aromatiques C ₁₂ -C ₁₆	Aliphatiques C ₅ -C ₆	Aliphatiques C ₆ -C ₈	Aliphatiques C ₈ -C ₁₀	Aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	Aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆		
n°CAS		1330-20-7	-	-	-	-	-	-	-	-		
INHALATION DE SUBSTANCES VOLATILES												
Exposition dans le parking												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	2,25E-05	1,74E-04	1,74E-04	1,74E-04	1,96E-04	3,19E-04	1,76E-03	1,16E-03	6,05E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	4,69E-07	3,63E-06	3,63E-06	3,63E-06	4,07E-06	6,65E-06	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,34E-07	1,04E-06	1,04E-06	1,04E-06	1,16E-06	1,90E-06	1,05E-05	6,88E-06	3,60E-06		
Quotient de Danger (QD)	-	4,69E-06	1,82E-05	1,82E-05	1,82E-05	2,21E-07	3,61E-07	3,67E-05	2,41E-05	1,26E-05	1,33E-04	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'une petite pièce de vie (logement)												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	9,03E-05	7,60E-04	7,60E-04	7,60E-04	8,52E-04	1,39E-03	7,67E-03	5,04E-03	2,64E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	6,17E-05	5,19E-04	5,19E-04	5,19E-04	5,82E-04	9,51E-04	5,24E-03	3,44E-03	1,80E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	1,76E-05	1,48E-04	1,48E-04	1,48E-04	1,66E-04	2,72E-04	1,50E-03	9,84E-04	5,14E-04		
Quotient de Danger (QD)	-	6,17E-04	2,60E-03	2,60E-03	2,60E-03	3,17E-05	5,17E-05	5,24E-03	3,44E-03	1,80E-03	1,90E-02	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Exposition à l'intérieur d'un bureau (commerce)												
Concentration en polluants dans le milieu d'exposition	mg/m ³	4,46E-05	3,75E-04	3,75E-04	3,75E-04	4,21E-04	6,87E-04	3,79E-03	2,49E-03	1,30E-03		
Dose Journalière d'Exposition (DJE)	mg/m ³	8,97E-06	7,54E-05	7,54E-05	7,54E-05	8,45E-05	1,38E-04	7,61E-04	5,00E-04	2,61E-04		
Dose Journalière d'Exposition (DJE) - Vie-entière	mg/m ³	5,51E-06	4,63E-05	4,63E-05	4,63E-05	5,19E-05	8,48E-05	4,68E-04	3,07E-04	1,61E-04		
Quotient de Danger (QD)	-	8,97E-05	3,77E-04	3,77E-04	3,77E-04	4,59E-06	7,50E-06	7,61E-04	5,00E-04	2,61E-04	2,75E-03	1
Excès de Risque Individuel (ERI)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-05
Risques INHALATION												
Somme des Quotients de Danger (QD)	-	7,11E-04	2,99E-03	2,99E-03	2,99E-03	3,65E-05	5,95E-05	6,04E-03	3,97E-03	2,07E-03	2,19E-02	1

Remarque : Le tiret « - » désigne l'absence de QD/ERI liée à l'absence de VTR/ERU ou une substance non retenue pour le milieu source concerné ou la voie d’exposition retenue.

Annexe 7 : Limites et incertitudes de l'EQRS (5 pages)



■ Investigations sur site

Les investigations réalisées reposent sur un nombre limité de sondages, piézomètres et piézairs et de prélèvements de sols, d'eaux souterraines et de gaz du sol, ne pouvant être représentatifs de l'ensemble du site.

Une seule campagne de prélèvements d'air a été réalisée sur le site. Elle ne peut prendre en compte les variations du dégazage des eaux souterraines et sols liées aux conditions météorologiques, aux différences de pression entre les milieux, à la fluctuation du niveau des eaux souterraines, etc. ... A noter que les guides et normes en vigueur ainsi que la méthodologie nationale des sites et sols pollués recommandent un nombre de campagnes minimal de deux, à des périodes météorologiques différentes (été/hiver, bâtiment chauffé/non chauffé) et avec des résultats convergents.

Les prélèvements de gaz du sol ont été réalisés dans des conditions plutôt favorables au dégazage des composés volatils présents dans le sous-sol.

Une seule campagne de prélèvements d'eaux souterraines a été réalisée sur le site. Elle ne peut prendre en compte l'influence de la fluctuation saisonnière du niveau des eaux souterraines (hautes eaux, basses eaux). A noter que la méthodologie nationale des sites et sols pollués recommande un nombre de campagnes minimal de deux, en période de hautes eaux et de basses eaux.

■ Caractéristiques physiques du site

Aucune analyse de granulométrie n'a été réalisée. Des valeurs par défaut ont été retenues.

La couche de forme supposée est assimilée à du sable (lithologie la plus grossière du modèle).

La dalle des bâtiments est assimilée à du béton. La couche de forme (hérissos) sous bâtiment est assimilée à du sable (lithologie la plus grossière du modèle).

■ Sélection des substances et concentrations dans les milieux sources

Le choix des substances analysées repose sur la nature de l'ancienne activité du site et sur les résultats des études environnementales réalisées, ayant permis de mettre en évidence la présence de xylènes et hydrocarbures aromatiques et aliphatiques C₅-C₁₆ sur les gaz du sol. Les substances retenues dans l'analyse des risques correspondent uniquement aux substances détectées lors des analyses de gaz du sol et jugées pertinentes.



Les paramètres physico-chimiques des substances utilisés dans les modèles sont issus de la littérature.

Un travail de sélection des polluants « prioritaires » d'un point de vue sanitaire a été réalisé.

Par mesure conservatoire et sans signifier que des pollutions concentrées puissent rester en place, SEREA réalise des EQRS sur la base des teneurs maximales identifiées dans les milieux et non sur la base des teneurs résiduelles supposées dans les terrains après mesures de gestion théoriques (définies dans le cadre du plan de gestion, ARR prédictive). Les ARR fin de travaux, sont quant à elles réalisées sur la base des teneurs résiduelles obtenues après travaux de réhabilitation.

Les concentrations en polluants prises en compte sont les teneurs maximales mesurées dans le milieu gaz du sol. Cette hypothèse est majorante compte tenu de la variabilité des concentrations en fonction des conditions environnementales et de la répartition géographique. En effet, le volume du parking constitue une zone d'homogénéisation des gaz.

Lorsqu'un polluant a été mis en évidence dans les sols mais qu'il n'a pas été détecté dans les gaz du sol, la limite de quantification du laboratoire est retenue, dans le cadre de l'étude des incertitudes, afin de considérer cette substance.

Pour les hydrocarbures aliphatiques C₅-C₁₆ et aromatiques C₈-C₁₆, l'ensemble des fractions carbonées a été pris en compte. En effet, les hydrocarbures ont été étudiés par groupement de substances par le TPHCWG. Ainsi, en cas de teneur inférieure à la limite de quantification du laboratoire pour une fraction donnée, celle-ci a été prise en compte.

Les caractéristiques physico-chimiques considérées des xylènes sont celles du m-xylène, correspondant xylène le plus volatil (approche majorante). La VTR des xylènes totaux est toutefois considérée pour une approche raisonnable.

Les dégradations chimiques et biologiques des substances dans le temps n'ont pas été prises en compte (source infinie de pollution). La même concentration en polluants est prise en compte pour la quantification des risques sur toute la période d'exposition.

■ Evaluation de la toxicité

Le choix des VTR est conforme à la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 du ministère de l'Environnement.

Les VTR existantes en version provisoire ne sont pas prises en compte.

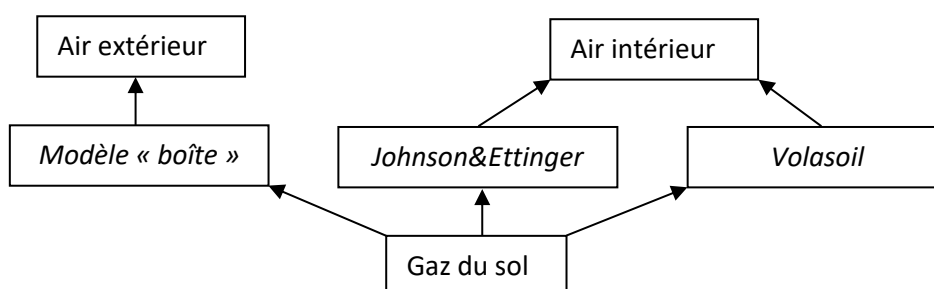
Les organismes cités pour le choix des VTR dans cette note d'information ne proposant pas de valeur pour les fractions d'hydrocarbures, les données du TPHCWG ont été utilisées. Les VTR y



sont établies pour des groupements de substances et les effets cancérogènes n'y sont pas considérés.

■ Evaluation de l'exposition

La modélisation du transfert des polluants du sol vers l'air ambiant intérieur a été réalisée à l'aide du modèle interne de SEREA, reprenant les équations des modèles Johnson & Ettinger, Volasoil et « boîte », d'après la méthodologie préconisée par l'INERIS.



L'estimation de l'exposition d'un individu est une représentation mathématique de la réalité. Les modèles d'exposition visent à se rapprocher de la situation réelle, tout en considérant des hypothèses majorantes afin de surestimer les risques sanitaires dans une approche conservatoire. L'incertitude associée aux modèles est toutefois difficilement quantifiable au vu du faible nombre de modèles disponibles et du manque de validation des résultats par des données de terrain.

Les usages retenus sont de type résidentiel et tertiaire. Les cibles correspondantes sont les « résidents » (adultes, enfants et nourrissons) et les « travailleurs » (adultes).

Les budgets espace-temps considérés se veulent majorants. La plupart des données permettant leur élaboration sont issues de l'INERIS.

Toute modification des usages tels qu'ils ont été considérés devra entraîner des nouveaux calculs de risques sanitaires.

La modélisation des teneurs en polluants dans l'air intérieur du bâtiment est réalisée en tenant compte des dispositions constructives énoncées en annexe 5.

Il a été notamment considéré un taux de renouvellement d'air des taux de renouvellement d'air de 0,5 volume/heure pour des logements (préconisation de l'ICEB et guides méthodologiques FLUXOBAT et BATICOV) et de 1 volume/heure pour des locaux d'activités (donnée du Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement de septembre 2024 du Ministère en charge de l'Environnement pour un bâtiment sans sous-sol avec usage de bureau, industriel, commercial) et pour un parking (valeur par défaut en ventilation naturelle).



Toute modification de ces dispositions telles qu'elles ont été considérées devra entraîner des nouveaux calculs de risques sanitaires.

Le modèle impose la prise en compte d'une épaisseur minimale de terres saines entre la base de la dalle béton et le début de la pollution (prise arbitrairement égale à 1 cm).

■ **Caractérisation des risques**

Le taux d'absorption des substances est égal à 100 % (hypothèse majorante).

L'interaction possible entre plusieurs substances n'a pas été prise en compte dans l'analyse des risques. En effet, peu de données existent dans la littérature concernant ce phénomène.

En première approche, l'additivité des risques liée à l'exposition à plusieurs substances est prise en considération (approche majorante car les substances n'agissent pas sur les mêmes organes cibles). En seconde approche, en cas de dépassement de la valeur de référence de la méthodologie nationale de 1 de la somme des QD, l'additivité des risques est effectuée voie d'exposition par voie d'exposition pour les substances présentant les mêmes organes cibles (principaux et secondaires).