

# Ancien site de Rossignol – Voiron (38)

Evaluation des risques sanitaires – Ilots A2B-D1-D2-D3-B2

## RAPPORT D'ETUDE

Etablissement Public Foncier Local du Dauphiné

## Ancien site de Rossignol – Voiron (38)

Evaluation des risques sanitaires – Ilots A2B-D1-D2-D3-B2

Etablissement Public Foncier Local du Dauphiné

Rapport d'étude

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
V1	Version initiale	Y. JOMARD	N. DOUCET	27/11/2020
V2	Version finale	Y. JOMARD	N. DOUCET	17/12/2020

Entité Sites et Sols Pollués  
6 rue de Lorraine – 38130 Echirolles – TEL : +33 (0)4 76 33 41 54



**ARTELIA** - Siège Social : 16, rue Simone Veil - 93400 Saint-Ouen-sur-Seine - France  
SAS au Capital de 12 817 270 Euros - 444 523 526 RCS Bobigny - SIRET 444 523 526 00804 - APE 7112B  
N° Identification TVA : FR 40 444 523 526 - [www.arteliagroup.com](http://www.arteliagroup.com)

# SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS.....	4
RÉSUMÉ NON TECHNIQUE .....	5
CONTEXTE – PROBLÉMATIQUE .....	7
1. SOURCES DE DONNÉES CONSULTÉES .....	8
2. SITUATION ET CONTEXTE DU SITE.....	8
3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ANTÉRIEURES.....	9
4. PROJET D'AMÉNAGEMENT DU SITE .....	12
5. SCHÉMA CONCEPTUEL.....	13
6. EVALUATION DES ENJEUX SANITAIRES.....	14
6.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS.....	14
6.2. DEFINITION DES SCENARIOS D'EXPOSITION.....	15
6.3. SELECTION DES SUBSTANCES POUR LES CALCULS DE RISQUES .....	16
6.3.1. METHODOLOGIE DE SÉLECTION DES SUBSTANCES.....	16
6.3.2. SUBSTANCES SÉLECTIONNÉES ET CONCENTRATIONS ASSOCIÉES .....	16
6.4. EVALUATION DES EXPOSITIONS .....	19
6.4.1. METHODOLOGIE GÉNÉRALE DE CALCUL DES DOSES D'EXPOSITION (CI).....	19
6.4.2. METHODOLOGIE DE DÉTERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX D'EXPOSITION .....	19
6.4.3. PARAMÈTRES ET DONNÉES RETENUS POUR LES CALCULS.....	20
6.5. EVALUATION DE LA TOXICITE DES SUBSTANCES .....	21
6.6. QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES.....	23
6.6.1. METHODOLOGIE GÉNÉRALE DE QUANTIFICATION DU RISQUE .....	23
6.6.2. CALCULS DES RISQUES SANITAIRES.....	24
6.6.3. CONCLUSIONS DES CALCULS DE RISQUES SANITAIRES .....	25
6.7. EVALUATION DES INCERTITUDES DE L'EVALUATION DES ENJEUX SANITAIRES .....	25
6.7.1. INCERTITUDES LIÉES AU SCHÉMA CONCEPTUEL ET À LA DÉFINITION DES SCÉNARIOS D'EXPOSITION 25	
6.7.2. INCERTITUDES LIÉES À LA CARACTÉRISATION DES SOURCES DE DANGER .....	26
6.7.3. INCERTITUDES LIÉES À LA MODÉLISATION DES PHÉNOMÈNES DE TRANSFERT.....	26
6.7.4. INCERTITUDES LIÉES AUX CARACTÉRISTIQUES DES SUBSTANCES.....	27
6.7.5. INCERTITUDES LIÉES À L'ÉVALUATION DE LA TOXICITÉ DES SUBSTANCES .....	27
6.8. DEFINITION ITERATIVE DES SEUILS D'ALERTE.....	28
6.9. ANALYSE DE LA COMPATIBILITE DES L'ETAT DES MILIEUX AVEC LES SEUILS D'ALERTE PAR ILOT .....	29
7. CONDITIONS DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS.....	31
8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	32

## FIGURE 34

ANNEXES.....	35
--------------	----

## TABLEAUX

Tableau 1 – Sources de données consultées .....	8
Tableau 2 – Synthèse des données sur la qualité des milieux .....	9
Tableau 3 – Schéma conceptuel .....	13
Tableau 4 – Définition du scénario étudié .....	15
Tableau 5 – Sélection des substances dans les gaz du sol .....	17
Tableau 6 – Sélection des substances dans les eaux souterraines .....	18
Tableau 7 – Paramètres de fréquence et de durée d'exposition .....	20
Tableau 8 – Paramètres relatifs aux sols .....	20
Tableau 9 – Paramètres relatifs aux bâtiments.....	21
Tableau 10 – Synthèse des VTR disponibles et retenues.....	22
Tableau 11 – Synthèse des niveaux de risques .....	24
Tableau 13 – Seuils d'alerte par milieu .....	28
Tableau 14 – Synthèse de la comparaison des teneurs des campagnes avec les seuils d'alerte.....	29
Tableau 15 – Comparaison des percentiles 90 de l'îlot B2 avec les seuils d'alerte .....	30
Tableau 16 – Comparaison des percentiles 90 de l'îlot D2 avec les seuils d'alerte.....	30

## FIGURES

Figure 1 - Localisation du site d'étude (source Géoportail) .....	8
Figure 2 - Plan général d'aménagement ZAC Rossignol République (Gautier Conquet) .....	12

## LISTE DES ABREVIATIONS

AEP	Alimentation en Eau Potable
AP	Arrêté Préfectoral
ARR	Analyse des Risques Résiduels
ARS	Agence Régionale de Santé
ASPITET	Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces
BASIAS	Inventaire historique de sites industriels et activités de service
BASOL	Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif
BRGM	Bureau de Recherches Géologique et Minières
BSS	Banque de données du Sous-Sol
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
CAV	Composés Aromatiques Volatils
Cis-1,2-CDE	Cis-1,2-dichloroéthylène
COHV	Composés Organiques Halogénés Volatils
COT	Carbone Organique total
CV	Chlorure de vinyle
DCE	Dichloroéthylène
HAP	Hydrocarbures aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
LQ	Limites de Quantification
PCE	Tétrachloroéthylène
RDC	Rez-de-Chaussée
TCE	Trichloroéthylène

## RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

La présente étude s'inscrit suite la mise à jour des données environnementales sur l'ancien site industriel Rossignol à Voiron (38) au droit duquel des travaux de réhabilitation ont été réalisés entre 2010 et 2014 puis en 2019 suite à la découverte d'une source résiduelle en solvants chlorés en 2018. Plusieurs études environnementales ont été réalisées par INGEOS et ARTELIA afin de caractériser la qualité des milieux eaux souterraines et gaz du sol suite aux travaux de réhabilitation. L'EPFL a mandaté ARTELIA pour la réalisation d'une ARR post-travaux en préalable à la requalification du site dans le cadre du projet de ZAC au droit de l'ancien site ROSSIGNOL.

La compilation des données quant à la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol a permis de mettre en évidence une diminution des teneurs résiduelles, mesurées inférieures aux objectifs de dépollution lors de la dernière campagne de septembre 2020 dans les eaux souterraines. Les principales teneurs dans les eaux souterraines et les gaz du sol restent localisées au centre du site d'étude.

Selon une approche globale pour les îlots A2b, B2, D1, D2 et D3, l'évaluation des enjeux sanitaires réalisée par ARTELIA sur base d'hypothèses sécuritaires (modélisation des concentrations en polluants dans l'air ambiant intérieur des sous-sols des bâtiments à partir des percentiles 90 des teneurs mesurées dans les gaz du sol et/ou les eaux souterraines lors des campagnes depuis les derniers travaux de réhabilitation d'octobre 2019), met en évidence la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés (logements et/ou commerces avec bâtiments avec 1 niveau de sous-sol). Il est à noter que pour les futurs bâtiments sur pilotis avec garages ouverts en rez-de-chaussée et logements en étages, les risques sont écartés en raison de la dilution des substances volatiles dans l'air ambiant extérieur.

Dans une démarche d'approche globale de la gestion des enjeux sanitaires pour les îlots A2b, B2, D1, D2 et D3, des seuils d'alerte ont été définis pour les gaz du sol et les eaux souterraines (avec un taux de ventilation de 0,5 vol/h comparable à une ventilation naturelle) tels que présentés aux tableaux suivants :

Seuils d'alerte Gaz du sol (mg/m <sup>3</sup> )	
Substances	Seuils d'alerte Gaz du sol
Benzene	500
Tétrachlorométhane	800
Chloroforme	100
Dichloroethane (1,1)	100
Dichloroethylene (1,1)	100
Dichloroethylene (cis 1,2)	1 500
Dichloroethene (trans 1,2)	200
Ethylbenzene	200
Tetrachloroethylene (PCE)	1 500
Toluene	500
TPH Aliphatic C5-6	2 000
TPH Aliphatic C6-8	1 500
TPH Aliphatic C8-10	1 500
TPH Aliphatic C10-12	1 500
TPH Aliphatic C12-16	3 500
TPH Aromatic C8-10	1 000
Trichloroethane (1,1,1)	200
Trichloroethylene (TCE)	5 000
Chlorure de Vinyle	300
Xylenes	600

Seuils d'alerte Eaux souterraines (µg/l)	
Substances	Seuils d'alerte Eaux souterraines
Dichloroethane (1,1)	2 000
Dichloroethylene (1,1)	8 000
Dichloroethylene (cis 1,2)	80 000
Dichloroethene (trans 1,2)	4 000
Tetrachloroethylene (PCE)	500
Trichloroethylene (TCE)	1 300
Chlorure de Vinyle	1 100

Dans le cas d'un constat de dépassement d'un seuil d'alerte par une teneur des eaux souterraines ou des gaz du sol, les solutions suivantes devront être envisagées afin d'assurer in fine la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés :

- En premier lieu, réaliser des calculs de risques spécifiques avec les teneurs identifiées localement afin de démontrer la compatibilité de l'état des milieux avec les usages de la zone considérée ;
- En cas de confirmation de l'incompatibilité, il sera nécessaire de :
  - Soit définir des mesures constructives particulières telle que la mise en place d'un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiments (par exemples : barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments) ;
  - Soit compléter la caractérisation des milieux et évaluer la nécessité de réaliser des travaux de réhabilitation complémentaires de façon à traiter les pollutions résiduelles. Il est toutefois à noter que les seuils d'alerte ne constituent pas des seuils de dépollution.

La comparaison des percentiles des teneurs des campagnes réalisées depuis octobre 2019 (après achèvement des derniers travaux de réhabilitation) avec les seuils d'alerte a permis d'identifier des dépassements ponctuels des seuils d'alerte dans les eaux souterraines en chlorure de vinyle au sein des îlots B2 (Pz12bis : 2782 µg/l) et D2 (PzA43 : 1605 µg/l).

- ⇒ **Au vu des dépassements des seuils d'alerte pour les percentiles du chlorure de vinyle au sein des îlots B2 et D2, il apparaît nécessaire de réaliser des calculs de risques spécifiques pour chacun de ces îlots en tenant compte du projet final d'aménagement.**
- ⇒ **Il est également recommandé de réaliser des campagnes de surveillance complémentaires au droit de ces deux îlots (selon, la périodicité définie par l'arrêté préfectoral applicable) afin de valider la présence de teneurs inférieures aux seuils d'alerte des dernières campagnes et la compatibilité de l'état des milieux avec tout usage (calcul des percentiles 90 après travaux sur une période glissante de 2 années, voire 4 années maximum).**
- ⇒ **Par ailleurs, pour chacun des îlots B2 et D2 il est recommandé d'évaluer la possibilité de mettre en place un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiment (barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments).**

## CONTEXTE – PROBLÉMATIQUE

Cette étude s'inscrit suite la mise à jour des données environnementales sur l'ancien site industriel Rossignol à Voiron (38). Les opérations de diagnostics environnementaux menées dès 2010 sur le site suite à l'arrêt de l'activité avaient mis en évidence la présence d'une pollution dans les sols et les eaux souterraines en COHV. Des travaux de réhabilitation avaient été réalisés entre 2010 et 2014 puis en 2019 suite à la découverte d'une source résiduelle en COHV en 2018. Plusieurs études environnementales ont été réalisées par INGEOS et ARTELIA afin de caractériser la qualité des milieux eaux souterraines et gaz du sol suite aux travaux de réhabilitation. Les dernières campagnes d'investigations réalisées par ARTELIA en décembre 2019 et septembre 2020 ont notamment montré la présence d'hydrocarbures volatils et de BTEX dans les gaz du sol et en COHV dans les eaux souterraines.

Il est à noter que l'arrêté préfectoral n°DDPP-IC-2019-04-07 du 10/04/2019 fixe des prescriptions complémentaires à la société SKIS ROSSIGNOL relatives à la réhabilitation de ce site, dont notamment :

- La mise en œuvre de travaux de réhabilitation complémentaire tels que définis au rapport de PCT référencé 8513814-PCT-R1V1 de juin 2018 par ARTELIA ;
  - ⇒ Travaux réalisés en 2019 par REMEA avec suivis réalisés par INGEOS.
- Des objectifs de dépollution correspondant aux concentrations maximales admissibles dans les eaux souterraines (cis-1,2-DCE : 4900 µg/l ; TCE : 1000 µg/l ; CV : 600 µg/l) et l'obtention d'un risque sanitaire acceptable pour le projet de réaménagement du site en usage résidentiel selon le projet de la CAPV (immeubles de logements avec sous-sol enterré) ;
  - ⇒ Objet du présent rapport d'étude pour les îlots A2B, D1, D2, D3 et B2<sup>1</sup>.
- La réalisation d'un suivi des eaux souterraines au sein de 8 piézomètres (PzA43, PzA47, Pz5, Pz10, Pz12, Pz15, Pz16<sup>2</sup> et Pz17) et des gaz du sol au sein de 4 piézaires (Pg1, Pg3ter, Pg5 et Pg6) pour évaluer l'impact des travaux de réhabilitation sur la qualité des milieux ;
  - ⇒ Suivi réglementaire réalisé selon la périodicité prescrite.

Sur base de l'ensemble de ces éléments, et suite à diverses campagnes de caractérisation des milieux, l'EPFLD a mandaté ARTELIA pour la réalisation d'une analyse des enjeux sanitaires pour le projet de réaménagement du site porté par le Pays Voironnais pour les îlots A2B, D1, D2, D3 et B2.

Le présent rapport d'étude rappelle les résultats et conclusions des études antérieures, et des synthèses des résultats analytiques des eaux souterraines et des gaz du sol sont présentées sous forme de tableaux afin d'alimenter la démarche d'évaluation des enjeux sanitaires.

La méthodologie et les conditions d'intervention utilisées par ARTELIA sont conformes à la norme AFNOR NF X31-620 spécifique aux « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués ». D'après cette norme, la présente prestation d'études correspond à la codification suivante :

- Analyse des enjeux sanitaires (A320).

Par ailleurs, ARTELIA a réalisé cette étude selon les orientations préconisées par la note ministérielle du 19 avril 2017 accompagnée de deux documents : une introduction à la méthodologie destinée à tous publics et la méthodologie de gestion elle-même.

---

<sup>1</sup> Une étude de caractérisation de la qualité environnementale du milieu souterrain intégrant une Analyse des Risques Résiduels a été réalisée pour les îlots A2A et A2C par ARTELIA en février 2020 (Réf. 8514480\_PG\_R1V5)



<sup>2</sup> Il est à noter que le piézomètre n'est référencé dans aucun des rapports de caractérisation des milieux repris dans le cadre de la présente étude.



## 1. SOURCES DE DONNÉES CONSULTÉES

Les sources d'informations consultées pour la réalisation de la présente étude sont détaillées ci-dessous.

Tableau 1 – Sources de données consultées

MODE DE CONSULTATION	SOURCE	INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES
 web	Géoportail	<a href="https://www.geoportail.gouv.fr/">https://www.geoportail.gouv.fr/</a>
	Infoclimat	<a href="https://www.infoclimat.fr/">https://www.infoclimat.fr/</a>
 bureau	EPFLD	Cahier des charges
	ARTELIA	Rapports des études antérieures (Cf. Chapitre 3)

## 2. SITUATION ET CONTEXTE DU SITE

Le site est implanté en zone urbaine avenue Philippe Vial sur la commune de Voiron (38).



Figure 1 - Localisation du site d'étude (source Géoportail)

A l'exception de la partie Sud-Est du site, en cours d'aménagement, aucun bâtiment n'est actuellement présent sur le site qui représente une surface totale d'environ 4,3 ha. Le site est actuellement occupé par une friche enherbée ainsi que par une voirie le traversant du Nord-Ouest au Sud-Est.

Le site est bordé à l'Est, au Sud et à l'Ouest par des habitations collectives et individuelles et au Nord par la ligne de chemin de fer.

### 3. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS ANTERIEURES

Plusieurs suivis de la qualité des milieux (eaux souterraines et gaz du sol) sont réalisés conformément aux prescriptions des arrêtés préfectoraux (AP du 07/04/2019 avec renforcement du suivi).

Les résultats des derniers rapports de suivi en date sont rappelés ci-après.

Tableau 2 – Synthèse des données sur la qualité des milieux

N° de rapport	Synthèse
8513814-R1V1 ARTELIA	<p><b>Bilan quadriennal de la surveillance des milieux eaux souterraines et gaz du sol – Surveillance de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol de 2014 à 2017</b></p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi trimestriel de 8 piézomètres et analyses COHV (Pz3bis, Pz4bis, P5, Pz7, Pz8, Pz10, Pz12 et Pz13)</li> <li>- Suivi semestriel de 6 piézais et analyses COHV (Pg1, Pg2, Pg3ter, Pg4, Pg5 et Pg6)</li> </ul> <p>Résultats Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecoulement de la nappe en direction de l'Est – Sud-Est avec un gradient d'environ 1,5%</li> <li>- Variabilité du niveau statique des eaux souterraines (hautes eaux en mars/avril ; basses eaux en septembre/octobre) et une baisse globale du niveau d'environ 1,3 m entre 2014 et 2017</li> <li>- Abattement significatif et durable au droit de la zone source traitée entre 2010 et 2014</li> <li>- Identification de la présence d'une source résiduelle dans les sols en périphérie/amont de la zone traitée en raison de l'augmentation des teneurs en COHV au droit de Pz12</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'ensemble des teneurs traduit l'absence de dégazage</li> </ul> <p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintien de la surveillance de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol</li> <li>- Réalisation d'investigations complémentaires en périphérie et amont de Pz12 et éventuelle réalisation d'un plan de gestion en fonction des résultats d'investigations complémentaires</li> <li>- Réalisation d'une ARR sur base des percentiles 90 des concentrations dans les eaux souterraines et éventuelle mise en place de restrictions d'usages en fonction des résultats de calculs de risques</li> </ul>
8514542-R1V4 ARTELIA	<p><b>Etude de caractérisation de la qualité environnementale du milieu souterrain sur les lots constructibles D1, D2 et B2 – Investigations de décembre 2019</b></p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilot B2 : 8 sondages à 3 m + 5 piézais + 1 piézomètre</li> <li>- Ilot D1 : 4 sondages de 1 à 3 m + 3 piézais</li> <li>- Ilot D2 : 5 sondages à 3 m + 2 piézais</li> <li>- Prélèvement de 40 échantillons de sol et analyses Pack ISDI + COHV + 8 Métaux</li> <li>- Prélèvement de 6 piézomètres et analyses TPH + BTEX + HAP + COHV + PCB + 8 Métaux (B2Pz1 + Pz3 + Pz11 + Pz12 + Pz15 + Pz17)</li> <li>- Prélèvement de 10 piézais et analyses TPH + BTEX (B2PzR1 à PzR5 + D2PzR1 + Pg6 + D1PzR1 à PzR3)</li> </ul> <p>Résultats Sols :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de pollution concentrée</li> <li>- Caractérisation de sols non inertes en différentes proportions au droit des îlots (9% sur l'îlot B2, 57% sur l'îlot D1, 0% sur l'îlot D2)</li> </ul> <p>Résultats Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens d'écoulement des eaux souterraines en direction de l'Est-Sud-Est</li> </ul>

Rapport d'étude

ANCIEN SITE DE ROSSIGNOL – VOIRON (38)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact en COHV au droit des îlots B2 et D2 avec des teneurs inférieures aux CMA de l'ARR établie en juin 2018 et reprises par l'arrêté préfectoral d'avril 2019</li> <li>- Impacts ponctuels en BTEX au droit des îlots B2 et D2 et HAP au droit de l'îlot D1 (substances non considérées dans l'ARR de juin 2018)</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact en COHV au droit des îlots B2, D1 et D2</li> </ul> <p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une campagne complémentaire de caractérisation des gaz du sol</li> <li>- Mettre à jour l'analyse des enjeux sanitaires après réalisation de la seconde campagne des gaz du sol</li> </ul> <p>Mettre en œuvre des mesures de gestion particulières des déblais et des eaux d'exhaure générés par les travaux d'aménagement</p>
8514542-R2V4 ARTELIA	<p><b>Etude de caractérisation de la qualité environnementale du milieu souterrain sur les lots constructibles A2B et D3 – Investigations de décembre 2019</b></p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilot A2B : 3 sondages de 1 à 6 m + 2 piézairs + 1 piézomètre</li> <li>- Ilot D3 : 3 sondages de 1 à 3 m + 2 piézairs</li> <li>- Ilot D2 : 5 sondages à 3 m + 2 piézairs</li> <li>- Prélèvement de 20 échantillons de sol et analyses Pack ISDI + COHV + 8 Métaux</li> <li>- Prélèvement de 1 piézomètre et analyses TPH + BTEX + HAP + COHV + PCB + 8 Métaux (A2BPz1)</li> <li>- Prélèvement de 4 piézairs et analyses TPH + BTEX (A2bPzR1 et PzR2, D3PzR1 et PzR2)</li> </ul> <p>Résultats Sols :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de pollution concentrée</li> <li>- Caractérisation de sols non inertes (30% pour les îlots A2B et D3)</li> </ul> <p>Résultats Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens d'écoulement des eaux souterraines en direction de l'Est-Sud-Est</li> <li>- Absence d'impact au droit de l'îlot A2B</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact en COHV, BTEX et TPH au droit des îlots A2B et D3</li> </ul> <p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une campagne complémentaire de caractérisation des gaz du sol</li> <li>- Réaliser un maillage complémentaire de caractérisation des sols de l'îlot D3</li> <li>- Mettre à jour l'analyse des enjeux sanitaires après réalisation de la seconde campagne des gaz du sol</li> <li>- Mettre en œuvre des mesures de gestion particulières des déblais et des eaux d'exhaure générés par les travaux d'aménagement</li> </ul>
D4029-18-004-IndA INGEOS	<p><b>Suivi T6 de l'état des milieux gaz du sol et eaux souterraines suite aux opérations de dépollution par soil-mixing – Campagne de mai 2020</b></p> <p>Le rapport de suivi T6 compile les résultats des suivis antérieurs T1 et T2 qui sont également pris en considération dans le cadre du présent rapport d'étude.</p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvement de 10 piézomètres et analyses COHV, nitrates, azote nitrique, chlorures sulfate, COT et fer (2ApZ1, Pz2, PzA43bis, Pz12bis, PzA47, Pz10bis, Pz11, Pz3bis, Pz14, Pz7bis)</li> <li>- Prélèvement de 3 piézairs et analyses COHV (Pg3ater, Pg43, PA2bis)</li> </ul> <p>Résultats Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens d'écoulement des eaux souterraines en direction du Sud-Est</li> <li>- Diminution des COHV en corrélation avec la chaîne de dégradation, et des augmentations localisées des COHV de dégradation</li> <li>- Présence d'une anomalie en CV en Pz11 supérieure à la valeur seuil</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact en COHV au droit de tous les piézairs</li> </ul>

	<p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en conformité les piézaires qui présentent de trop faibles profondeurs (inférieurs à -0,7 m)</li> <li>- Maintenir la surveillance des eaux souterraines et gaz du sol à une fréquence trimestrielle conformément à l'arrêté préfectoral</li> </ul>
8514937-R1V1 ARTELIA	<p><b>Mise à jour des données environnementales sur les eaux souterraines et les gaz du sol pour les COHV sur l'ancien site ROSSIGNOL – Campagne de septembre 2020</b></p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvement de 9 piézomètres dont 4 ouvrages prescrits par arrêté préfectoral (sur les 11 ouvrages présents car 2 non retrouvés) et analyses COHV (2APz1, PzA47, Pz2, Pz15, Pz12bis, PzA43bis, Pz11, Pz3bis, Pz14)</li> <li>- Prélèvement de 3 piézaires et analyses COHV (Pa2, D2PzR1, D1PzR1)</li> </ul> <p>Résultats Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens d'écoulement des eaux souterraines en direction du Sud-Est</li> <li>- Impact en COHV au droit de la source (Pz12bis et PzA43bis)</li> <li>- Abattement notable en COHV suite à la deuxième phase du traitement des sols réalisée en 2019 et atteinte des objectifs sur TCE, DCE et CV fixés par arrêté préfectoral</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact en COHV au droit de tous les piézaires</li> </ul> <p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une analyse des enjeux sanitaires</li> <li>- Maintenir la surveillance des eaux souterraines et gaz du sol à une fréquence trimestrielle conformément à l'arrêté préfectoral</li> </ul>
8514937-R2V1 ARTELIA	<p><b>Mise à jour des données environnementales sur les gaz du sol pour les TPH et les BTEX sur l'ancien site ROSSIGNOL – Campagne de septembre 2020</b></p> <p>Investigations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvement de 8 piézaires et analyses TPH et BTEX (A2bPzR2, B2PzR4, B2PzR5, D1PzR1, D2PzR1 et PzR2, D3PzR1 et PzR2)</li> </ul> <p>Résultats Gaz du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesures sur site de valeurs PID comprises entre 1 et 23 ppm au droit de 5 piézaires (B2-PzR4, D2-PzR2, D2-PzR1, D3-PzR2 et A2b-PzR2)</li> <li>- Impact diffus en hydrocarbures volatils et BTEX au droit de tous les piézaires</li> </ul> <p>Recommandations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une analyse des enjeux sanitaires</li> </ul>

Ainsi, pour chaque milieu, les résultats peuvent être synthétisés comme il suit :

#### **Milieu Eaux Souterraines :**

La compilation de l'ensemble des données quant à la qualité des eaux souterraines depuis octobre 2019 (derniers travaux de réhabilitation terminés le 18/10/2019) indique une évolution globale à la baisse des concentrations en COHV et une évolution des teneurs selon la chaîne de dégradation (PCE > TCE > DCE > CV), ainsi que des teneurs inférieures aux objectifs de dépollution lors de la dernière campagne de septembre 2020. Les principales teneurs restent localisées au centre du site d'étude (en PzA43 et Pz12 localisés entre les îlots B2 et D2).

#### **Milieu Gaz du sol :**

Les données antérieures à 2018 indiquent l'absence d'impact au sein des piézaires suivis (Pg1 à Pg6 répartis sur la moitié Sud de la ZAC). La compilation de l'ensemble des données quant à la qualité des gaz du sol au droit de l'ensemble de la ZAC depuis octobre 2019 (derniers travaux de réhabilitation terminés le 18/10/2019) indique la présence de teneurs résiduelles en COHV et hydrocarbures volatils (TPH et BTEX) localisées au centre du site d'étude (en Pg43, Pa2 et Pg3 localisés entre les îlots B2 et D2) de manière cohérente avec la localisation des impacts résiduels identifiés dans les eaux souterraines.

Les tableaux présentés en Annexes 1 et 2 synthétisent les résultats analytiques des eaux souterraines et des gaz du sol octobre 2019 (date des derniers travaux de réhabilitation).

Il est présenté en fin de rapport une figure de synthèse de l'ensemble des ouvrages disponibles au droit de la ZAC.

Rapport d'étude

**ANCIEN SITE DE ROSSIGNOL – VOIRON (38)**



## 4. PROJET D'AMENAGEMENT DU SITE

Le projet d'aménagement du secteur Rossignol est réalisé sous la maîtrise d'ouvrage du Pays Voironnais. Ce dernier porte sur l'aménagement d'un quartier urbain mixte mêlant logements, commerces, services tertiaires et artisanat incluant l'aménagement de voiries et d'espaces verts, l'ensemble étant porté au sein d'une ZAC.

Le plan général d'aménagement envisagé est présenté sur la figure ci-dessous.

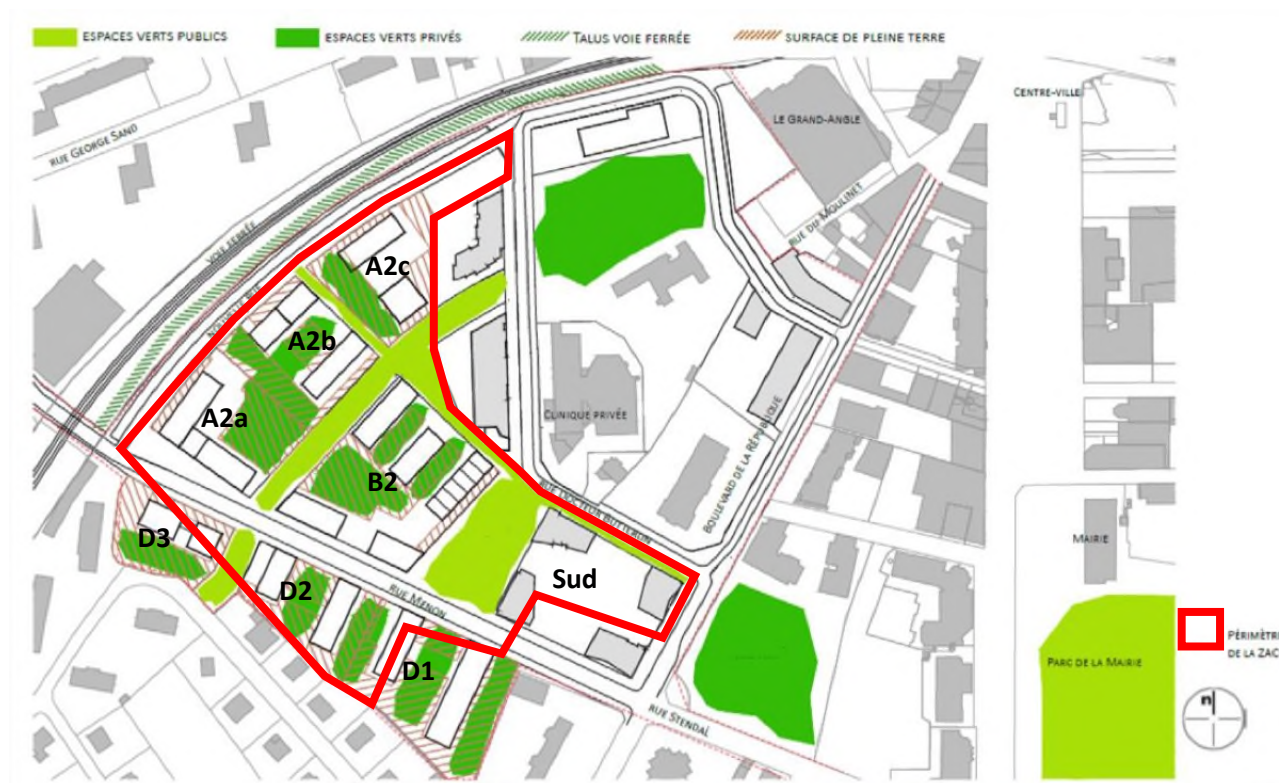


Figure 2 - Plan général d'aménagement ZAC Rossignol République (Gautier Conquet)

L'aménagement sera réalisé selon les modalités fixées par l'Orientation d'Aménagement et de Programmation inscrite au PLU à savoir :

- la localisation des principaux espaces publics et liaisons ;
- l'alignement des constructions sur les principales voies publiques ;
- les orientations des bâtiments et les hauteurs maximales des constructions ;
- l'obligation de rez-de-chaussée commerciaux ou d'activités pour certains linéaires ;

Au droit de l'ancien site ROSSIGNOL, l'aménagement projeté pour le site est composé des axes suivants :

- Aménagements/Voiries :
  - Création d'une voirie (Rue du Menon) depuis l'actuelle rue de la République jusqu'à la voie ferrée;
  - Aménagement de deux zones vertes entre la nouvelle rue du Menon et la rue du Docteur Butterlin ;
- Partie îlots :
  - Aménagement d'îlots délimités par les zones vertes avec des immeubles de logement sur un ou deux niveaux de sous-sol, le rez-de-chaussée de ces immeubles pouvant potentiellement être destiné à accueillir des activités commerciales (a minima dans l'alignement des principaux axes de circulation de la zone Nord), ou des bâtiments sur pilotis avec un usage de parking en rez-de-chaussée et des logements en étage ;

■ Partie Sud :

- Aménagement par des immeubles de logement sur un niveau de sous-sol enterré.

Le projet d'aménagement prévoit également une gestion des eaux de pluie à la parcelle, soit en infiltration, soit en rétention/rejet régulé au réseau, le choix de la méthode se faisant en fonction des contraintes pollution liées au site.

L'utilisation des eaux souterraines au droit du site n'est pas envisagée dans le cadre du projet d'aménagement.

L'ensemble des sols actuels en place fera l'objet d'un recouvrement par des espaces verts, de voiries et ou des surfaces bâties.

- ⇒ **La présente étude concerne uniquement les îlots A2b, B2, D1, D2 qui comprendront un niveau de sous-sol à usage de parking, et l'îlot D3 qui sera construit sur pilotis avec le rez-de-chaussée en usage de parking ouvert.**

## 5. SCHEMA CONCEPTUEL

Conformément à la méthodologie en vigueur, le schéma conceptuel du site doit permettre de préciser les relations entre :

- les sources de danger ;
- les voies de transfert et d'expositions;
- les cibles potentielles (enjeux à protéger) ;

Le schéma conceptuel permet ainsi d'évaluer de façon qualitative le risque sanitaire et/ou environnemental résultant du triptyque précédemment détaillé (source de danger/ voies de transfert / cibles potentielles).

Dans le cadre de la présente étude, la source de danger considérée pour l'élaboration du schéma conceptuel correspond au sous-sol du site (eaux souterraines et gaz du sol) impactées par des substances volatiles (COHV pour les eaux souterraines ; COHV, TPH et BTEX pour les gaz du sol).

Tableau 3 – Schéma conceptuel

Sources de danger	Milieux de transfert	Voies d'exposition	Evaluation des risques
Eaux souterraines impactées par des COHV  Gaz du sol impactés par des COHV et des hydrocarbures volatils	Sols	Contact cutané, ingestion et inhalation de poussières de sol	Risque écarté : recouvrement systématique des sols prévu par le projet
	Eaux souterraines	Contact / ingestion d'eaux souterraines	Risque écarté : absence d'usage des eaux souterraines
	Gaz du sol	Inhalation de substances volatiles	<b>Cas d'un bâtiment avec garages en sous-sol et logements et/ou commerces en rez-de-chaussée : risques sanitaires à évaluer pour inhalation de composés volatils par les futurs usagers du site</b> Cas de bâtiments sur pilotis avec garages ouverts en rez-de-chaussée et logements en étages : risques écartés en raison de la dilution des substances volatiles dans l'air ambiant extérieur

**Le schéma conceptuel présenté ci-avant met en évidence la présence d'enjeux sanitaires à évaluer quantitativement pour l'inhalation de substances volatiles en air intérieur par les futurs usagers de bâtiments disposant d'un niveau de sous-sol.**

## 6. EVALUATION DES ENJEUX SANITAIRES

### 6.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

La démarche d'analyse des enjeux sanitaires est construite sur la base d'une analyse des risques résiduels (ARR). Elle a pour objectif d'évaluer les risques sanitaires entraînés par la présence de substances polluantes présentes dans les milieux du site, lorsque les voies de transfert ne peuvent pas être toutes désactivées, et que des expositions potentielles aux polluants subsistent. Cette quantification permet de définir si le risque sanitaire est acceptable par rapport aux critères usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la santé, et adoptés par la réglementation française en vigueur.

L'ARR permet de caractériser les substances, voies d'exposition, utilisateurs du site et autres paramètres qui « tirent » le risque.

Les principales étapes de la réalisation de l'ARR sont les suivantes :

- Définition des scénarii d'expositions identifiant les liens entre les sources de danger, les voies d'exposition et les utilisateurs du site ; cette étape a été traitée par le schéma conceptuel ci-avant ;
- Sélection des substances susceptibles d'entrer en contact avec les utilisateurs du site et devant par conséquent être retenues pour les calculs ;
- Evaluation des expositions théoriques des utilisateurs du site pour chaque substance et dans chaque scénario selon une approche itérative en prenant en compte la répartition rencontrée des substances polluantes présentes ;
- Identification de la Valeur Toxicologique de Référence (VTR), permettant d'évaluer le risque ;
- Quantification des risques sanitaires, par comparaison des teneurs théoriques auxquelles sont exposés les utilisateurs du site à la VTR ;
- Evaluation des incertitudes et étude de sensibilité.

La présente étude s'intéresse uniquement aux expositions chroniques. En effet, la politique nationale des sites et sols pollués stipule que « La problématique des sites et sols pollués relève pour la population générale, du domaine des risques chroniques ».

## 6.2. DEFINITION DES SCENARIOS D'EXPOSITION

Le scénario envisagé prend en compte l'ensemble des éléments illustrés dans le schéma conceptuel du site et se conforme à la méthodologie de gestion des sites potentiellement pollués. Il est présenté sous la forme du tableau de synthèse ci-après.

Tableau 4 – Définition du scénario étudié

	Sources de danger	Voie de transfert	Enjeux évalués			Risques
			Zone d'exposition	Voies d'exposition	Cibles	
<b>Scénario 1 - Bâtiments à 1 niveau de sous-sol</b>	Eaux souterraines impactées en COHV  Gaz du sol impactés en COHV, TPH et BTEX	Cas 1 : Transfert des substances volatiles depuis les gaz du sol vers l'air ambiant des futurs bâtiments  Cas 2 : Transfert des substances volatiles depuis les eaux souterraines vers l'air ambiant des futurs bâtiments	Parking en sous-sol,  Logements / commerces au rez de chaussée	Inhalation d'air ambiant intérieur	Usagers des bâtiments :  Logements : - enfants (0-6 ans) ; - adultes  Commerces : - travailleurs (adultes)	Cancérigène et toxique

En première approche, les hypothèses définissant le scénario retenu et présenté ci-avant sont les suivantes :

- La voie d'exposition des cibles aux substances volatiles via l'air extérieur est considérée comme négligeable devant leur exposition via l'air intérieur inhalé. En effet, les substances volatiles se concentrent davantage dans l'air confiné des espaces clos, où les cibles passent davantage de temps qu'à l'extérieur au cours d'une journée, où les mouvements d'air diluent fortement les concentrations. Les incertitudes liées à cette hypothèse sont évaluées au Chapitre 6.7.
- Les usagers du site pris en considération (résidents n'exerçant pas d'activité professionnelle à l'extérieur du site tels que retraité, personne au foyer, travailleur exerçant depuis son domicile, etc.) correspondent aux cibles les plus exposées. Un scénario de cumul « vie entière » sera également présenté.
- Il est également considéré que les concentrations d'exposition dans le milieu air sont plus importantes au niveau des rez-de-chaussée qu'aux étages supérieurs ; ainsi, le risque généré par la source de polluant sera inférieur aux étages supérieurs par rapport au cas du rez-de-chaussée étudié.
- Comme indiqué dans le tableau, il est proposé d'évaluer les risques selon les sources identifiées :
  - Cas 1 - Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol : prise en compte des teneurs dans les gaz du sol mesurées lors de campagne d'investigations ;
  - Cas 2 - Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol : prise en compte des teneurs dans les gaz du sol modélisées depuis dégazage des eaux souterraines.



## 6.3. SELECTION DES SUBSTANCES POUR LES CALCULS DE RISQUES

### 6.3.1. Méthodologie de sélection des substances

Une première phase de sélection des substances a été réalisée lors de l'étape de définition du schéma conceptuel et de la définition des scénarios. Ainsi, la source de danger est constituée par les substances volatiles présentes dans les eaux souterraines et les gaz du sol caractérisés par l'ensemble des ouvrages du site d'étude.

Les différents composés volatils sont susceptibles de causer des risques significatifs dus à deux types d'effets :

- Les substances ayant des effets à seuil (effets systémiques). Pour ces substances, il est admis qu'il existe un seuil d'exposition en dessous duquel on admet qu'il n'y a pas d'effet sur la santé humaine ;
- Les substances pour lesquelles il n'y aurait pas d'exposition sans risque (substances à effets sans seuil, effets cancérogènes). Les critères utilisés pour l'analyse des risques sont appelés des Excès de Risque Unitaire qui correspondent à l'excès de l'occurrence d'une tumeur pour une dose d'exposition.

Le potentiel de danger que représente une substance provient à la fois de son caractère volatil, ainsi que de l'importance de la contamination et de sa toxicité, évaluée d'après sa Valeur de Référence Toxicologique (VTR). La sélection des substances sera donc effectuée sur la base de ces trois paramètres. Attendue que les COHV et les hydrocarbures volatils, sont tous volatils et tous toxiques, la sélection se fera principalement sur la base de l'importance de la contamination (évaluée à travers les concentrations mesurées dans les eaux souterraines et les gaz du sol).

La démarche de sélection est ainsi la suivante : il sera considéré que la contribution au risque global des substances non sélectionnées en première approche est négligeable devant celle des substances retenues. En cas d'incertitude quant au risque pour l'homme, ces substances pourront être intégrées en seconde étape.

### 6.3.2. Substances sélectionnées et concentrations associées

Les tableaux récapitulatifs des substances sélectionnées et concentrations associées sont présentés ci-après.

La sélection des composés et des concentrations associées a été réalisée, de manière cohérente avec les études antérieures et conformément à la demande de la DREAL, en considérant les percentiles 90 des teneurs dans les eaux souterraines ou dans les gaz du sol à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude (les teneurs inférieures à la limite de quantification sont considérées égales à cette LQ). Dans le cadre de la présente étude, il est proposé de considérer les résultats analytiques des campagnes réalisées depuis les derniers travaux de réhabilitation terminés le 18/10/2019. Cette démarche est globalement sécuritaire à l'échelle de l'ensemble des îlots, et une approche spécifique par îlot est proposée au Chapitre 6.9.

Tableau 5 – Sélection des substances dans les gaz du sol

Substances recherchées dans les gaz du sol (mg/m3)		A2b-PzR1	A2b-PzR2		B2-PzR1	B2PzR2	B2-PzR3	B2-PzR4		B2-PzR5		D1-PzR1		D1-PzR2	D1-PzR3	D2-PzR1		D2-PzR2	
		21/10/2019	21/10/2019	15/09/2020	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020
CAV - BTEX	Benzène	<0,002	<0,002	0,002	0,0018	<0,0017	0,003	0,0037	0,003	<0,0017	<0,002	0,0022	0,002	0,01	0,011	<0,0017	0,002	0,0017	0,003
	Toluène	0,01	0,009	0,013	0,01	0,007	0,0083	0,015	0,014	0,009	0,007	0,008	0,023	0,019	0,014	0,0067	0,011	0,017	0,024
	Ethylbenzène	0,005	0,005	0,006	0,0048	0,004	0,004	0,007	0,005	0,0037	<0,003	0,0022	0,005	0,006	0,0047	0,0043	0,005	0,0057	0,007
	m, p -Xylène	0,021	0,022	0,03	0,0172	0,015	0,017	0,022	0,021	0,014	0,012	0,007	0,021	0,014	0,015	0,017	0,021	0,021	0,027
	o-Xylène	0,007	0,007	0,011	0,0056	0,005	0,005	0,008	0,007	0,0047	0,004	0,0024	0,008	0,005	0,005	0,005	0,007	0,007	0,01
	Xylènes (o, m et p)	0,028	0,029	0,041	0,022	0,02	0,022	0,03	0,028	0,019	0,016	0,0096	0,029	0,019	0,02	0,022	0,028	0,028	0,037
HC aliphatiques	>C5-C6	<0,067	<0,067	<0,082	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	0,11	0,21	<0,067	<0,081	<0,067	<0,079
	>C6-C8	0,1	<0,067	<0,082	0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	0,104	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	0,13	0,187	<0,067	<0,081	0,093	<0,079
	>C8-C10	<0,067	<0,067	0,113	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	0,083	<0,067	0,123	<0,0044	0,133	0,07	<0,067	<0,067	0,248	<0,067	0,143
	>C10-C12	<0,067	<0,067	0,125	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	0,098	0,067	0,129
	>C12-C16	-	-	0,422					0,098	-	<0,081	-	0,102	-	-	-	0,228	-	0,173
HC aromatiques	>C6-C7	0,01	0,009	0,002	0,01182	0,007	0,011	0,0187	0,002	0,009	0,002	0,0106	0,002	0,029	0,025	0,067	0,002	0,0187	0,003
	>C7-C8			0,013					0,014		0,007		0,023				0,011		0,024
	>C8-C10	0,08	0,073	0,107	0,05	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	<0,081	<0,067	0,112
	>C10-C12	<0,067	<0,067	<0,082	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	<0,081	<0,067	<0,079
	>C12-C16	-	-	<0,082					<0,083	-	<0,081	-	<0,086	-	-	-	<0,081	-	<0,079
COHV	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,005	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,0033	-
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	0,037	-	<0,0067	-	<0,0044	0,089	0,035	<0,0067	0,02	0,018	<0,0067	-
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,01	<0,0044	<0,0067	<0,0067	0,013	<0,0067	-
	Dichlorométhane (CH2Cl2)	<0,0083	<0,0083	-	<0,005	<0,0083	<0,0083	<0,0083	-	<0,0083	-	<0,0056	<0,003	<0,0056	<0,0083	<0,0083	<0,003	<0,0083	-
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	<0,0067	0,012	-	0,0056	0,12	<0,0083	0,18	-	<0,0067	-	<0,0044	0,009	<0,0044	<0,0067	<0,0067	0,002	<0,0067	-
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0083	<0,0067	-	0,07	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	<0,0067	0,011	-	0,0074	0,012	<0,0083	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,005	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	0,04	0,163	-	0,078	0,06	0,002	0,1	-	0,0097	-	<0,0011	0,711	0,11	0,009	0,047	0,036	<0,0017	-
	Chloroforme** (CHCl3)	<0,0067	<0,0067	-	0,0094	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	0,037	-	<0,0044	0,122	<0,0044	0,008	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,0002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,003	<0,0022	0,019	0,009	<0,003	<0,0033	-
	Bromoforme** (CHBr3)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0083	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	0,002	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-
	Dibromométhane (BrCBr)	<0,0033	<0,0033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,002	-	-	-	<0,002	-	-
	Substances recherchées dans les gaz du sol (mg/m3)		D2-Pg3ater			D2-Pg43		D3-PzR1		D3-PzR2	Pa2bis		Pa2	Pg4bis	Pg6	Percentile 90	Substances retenues	Critères	
13/11/2019			08/01/2020	27/05/2020	13/11/2019	08/01/2020	21/10/2019	15/09/2020	15/09/2020	08/01/2020	27/05/2020	15/09/2020	08/01/2020	17/12/2019					
CAV - BTEX	Benzène	-	-	-	-	-	<0,002	0,002	0,002	-	-	0,002	-	0,002	0,0069	Oui	quantifié		
	Toluène	-	-	-	-	-	0,011	0,009	0,011	-	-	0,013	-	0,017	0,019	Oui	quantifié		
	Ethylbenzène	-	-	-	-	-	0,006	0,004	0,005	-	-	0,006	-	0,006	0,006	Oui	quantifié		
	m, p -Xylène	-	-	-	-	-	0,023	0,016	0,025	-	-	0,03	-	0,021	0,027	Non	Cf. xylènes		
	o-Xylène	-	-	-	-	-	<0,01	0,005	0,009	-	-	0,011	-	0,007	0,0099	Non	Cf. xylènes		
	Xylènes (o, m et p)	-	-	-	-	-	0,033	0,021	0,034	-	-	0,041	-	0,028	0,036	Oui	quantifié		
HC aliphatiques	>C5-C6	-	-	-	-	-	<0,067	<0,080	<0,085	-	-	<0,082	-	<0,067	0,2	Oui	quantifié		
	>C6-C8	-	-	-	-	-	0,067	<0,080	<0,085	-	-	<0,082	-	0,093	0,15	Oui	quantifié		
	>C8-C10	-	-	-	-	-	<0,067	<0,080	0,100	-	-	0,113	-	<0,067	0,16	Oui	quantifié		
	>C10-C12	-	-	-	-	-	<0,067	<0,080	0,098	-	-	0,125	-	0,067	0,13	Oui	quantifié		
	>C12-C16	-	-	-	-	-	-	0,152	0,291	-	-	0,422	-	-	0,42	Oui	quantifié		
HC aromatiques	>C6-C7	-	-	-	-	-	0,011	0,002	0,002	-	-								

Tableau 6 – Sélection des substances dans les eaux souterraines

Substances recherchées		LQ (µg/l)	D2-Pz2				D2-Pz11					D2-Pz15	
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	15/09/2020
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	1,8	<	<	<	<	<
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	1,8	<	2,5	2,2	<	<	<
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	5,2	69,7	<	<	1600	206	3520	1840	7,7	3,3	<
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	2,9	<	5,8	3,3	<	<	<
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	2,12	0,66	<	<	580	411	2920	1100	8,73	8,7	<
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	2,7	<	4,1	2,9	<	<	<
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Substances recherchées		LQ (µg/l)	B2-Pz17	B2-PzA47				B2-Pz12	B2-Pz12bis			
			21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	<	72	344	245	98,7
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	0,4	<	<	<	<
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	0,7	<	<	<	<
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	0,87	<	2,6	2,2	<	0,91	7920	838	454	299
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	21,1	4,6	2,7	7
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	6,9	1,83	90,8	72,7	15,9	1,7	4340	444	130	64,9
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	9	<	<	<
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Substances recherchées		LQ (µg/l)	D1-Pz3bis				D1-Pz14				Pz10/Pz10bis		
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	2,6	<	<
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	11,8	<	<	12,3	4,4	8,3	13,3	1180	479	8,5
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	<	<	0,69	<	15	5,2	19,4	23,1	1010	462	<
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Substances recherchées		LQ (µg/l)	PzA43/PzA43bis				Pz5	Pz8/Pz8bis	Pz7/Pz7bis	Percentile 90	Substances retenues	Critères
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020			
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	1,4	2,9	2,3	<	11	1,1	<	254,9	Oui	quantifié
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	0,4	Oui	quantifié
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	2,56	Oui	quantifié
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	995	<	271	6,3	340	196	54	1624	Oui	quantifié
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	9	<	2,2	<	<	<	<	11,42	Oui	quantifié
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	2180	<	263	96,5	467	2,2	113	1100	Oui	quantifié
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	7,53	Oui	quantifié
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié

< : inférieur aux limites de quantification (LQ)

## 6.4. EVALUATION DES EXPOSITIONS

### 6.4.1. Méthodologie générale de calcul des doses d'exposition (CI)

Le calcul de la dose d'exposition considère la concentration en polluant dans le milieu considéré, les paramètres physiologiques de l'individu exposé (volume d'air inhalé par jour, ...) et son exposition (durée, fréquence, ...). Il repose sur une formule mathématique, différente selon que l'exposition de la cible s'effectue :

- par inhalation (substances volatiles) : la dose d'exposition est appelée Concentration moyenne Inhalée ou CI.

Les formules mathématiques de calcul des doses d'exposition selon la famille de voies d'exposition considérée sont présentées en Annexe 3.

Les calculs de la dose d'exposition sont réalisés avec des feuilles de calculs développées par ARTELIA. Les modèles de calcul utilisés sont fondés sur des lois physiques. La méthodologie utilisée s'appuie sur celle développée par le groupe de travail du Ministère en charge de l'environnement et sur des modèles de calcul d'exposition tels que ceux développés par l'US EPA (United-States Environmental Protection Agency).

### 6.4.2. Méthodologie de détermination des concentrations dans les milieux d'exposition

Selon les milieux d'exposition considérés, la concentration en polluants associée au milieu d'exposition est soit mesurée, soit estimée partir de formules de calculs ou de modélisations. Dans le cas présent, les concentrations dans l'air intérieur des bâtiments sont calculées à partir de modèle simulant les remontées de substances volatiles depuis le sous-sol vers l'air ambiant intérieur.

Pour quantifier le risque pour les futurs usagers du site, l'étude de la volatilisation des substances rencontrées et de leur diffusion jusqu'à la surface a été réalisée à partir d'un modèle de transfert. Cette modélisation se base sur les dimensions et structures supposées des bâtiments en projet, pour chaque scénario, ainsi que sur la qualité des milieux caractérisée lors des investigations de terrain.

Les modèles de transfert utilisés font appel à des calculs de concentrations d'exposition dans un bâtiment sur un niveau de sous-sol via :

- un logiciel (RISC5, version 1.06.001) permettant de déterminer les concentrations d'exposition dans le niveau de sous-sol. Ce logiciel utilise le modèle Johnson et Ettinger, 1991.
- l'estimation d'abattement d'un facteur 10 entre le niveau de sous-sol et le niveau de rez-de-chaussée, ou entre niveaux de sous-sol. Ce facteur est retenu sur la base de notre retour d'expérience et du facteur de contribution de l'air de la fondation à l'air intérieur utilisé dans le modèle hollandais CSoil (Van den Berg et Al. 1994).

Les paramètres utilisés dans la présente étude sont détaillés ci-dessous et le détail des calculs est présenté en Annexe 3 pour chaque scénario.

### 6.4.3. Paramètres et données retenus pour les calculs

Les équations contiennent un certain nombre de variables et de paramètres qu'il est important de définir le plus justement possible. En l'absence de mesures ou de données parfaitement adaptées au site, des données réputées sécuritaires sont choisies.

Les paramètres utilisés dans ces modèles mathématiques sont issus de 3 sources d'informations :

- valeurs effectivement rencontrées dans la réalité (nature des sols, concentrations rencontrées dans les milieux, ...),
- valeurs recommandées par les guides de calcul (différence de pression entre les milieux,...),
- valeurs référencées dans la littérature (caractéristiques de mobilité des substances, toxicité, ...).

#### Paramètres relatifs au comportement des récepteurs

Les paramètres de fréquence et de durée d'exposition sont synthétisés dans le tableau ci-après. Ces paramètres sont déduits des différents scénarios envisagés et sont choisis de manière sécuritaire.

Tableau 7 – Paramètres de fréquence et de durée d'exposition

Zone d'exposition	Récepteur	Fréquence d'exposition		Durée d'exposition (Tm)		
		Fraction de temps d'exposition (t)	Fréquence d'exposition (F)	Non cancérogène	Cancérogène (c)	
Scénario 1 - Bâtiment avec un niveau de garage en sous-sol enterré et logements et/ou commerces en rdc						
Garage en sous sol et logements et/ou commerces en sous-sol	Logements	Enfants 0-6 ans	18 h/j (a)	360 j/an (c)	1 an	6 ans
		Adulte	18,8 h/j (b) dont 18,3 h/j au rdc et 0,5 h/j au sous-sol	360 j/an (c)	1 an	30 ans (f)
	Commerces	Travailleurs (adultes)	8 h/j (d) dont 7,5 h/j au rdc et 0,5 h/j au sous-sol	230 j/an (e)	1 an	42 ans (g)

(a) : moyenne estimée en retirant le temps passé à l'école ou crèche et en extérieur toute l'année

(b) : durée estimée du temps de présence dans l'habitation (données Ciblex Rhône-Alpes pour des adultes ne travaillant pas à l'extérieur)

(c) : fréquence estimée de présence sur le lieu d'habitation

(d) : durée estimée du temps de travail et temps de présence en sous-sol

(e) : fréquence estimée sur lieu de travail hors congés payés, week-end et jours fériés

(f) : durée estimée de résidence selon étude de Nedellec et al. (1998) sur base d'abonnement EDF

(g) : durée légale de travail

#### Paramètres relatifs aux caractéristiques des substances

Les propriétés des substances (volatilité) utilisées pour les modèles de transferts sont issues des bases de données des modèles utilisés, des fiches toxicologiques de l'INERIS, des documents TPHWG et des bases de données HSDB et USEPA.

#### Paramètres relatifs aux sols

Les paramètres relatifs au sol sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Tableau 8 – Paramètres relatifs aux sols

Paramètres relatifs au milieu naturel - Scénario 1 : Bâtiments avec un niveau de sous-sol		
Paramètre	Valeur retenue	Référence
LITHOLOGIE TYPE DES SOLS DE SURFACE	Limon "Silt"	Estimation générale sur la base des levés de coupe lithologique à 3 m de profondeur
PROFONDEUR D'ENCAISSEMENT DU BATIMENT	3,0 m	Un niveau de sous-sol
PROFONDEUR DE LA CONTAMINATION GAZ DU SOL	3,01 m (sous la dalle du sous-sol du bâtiment)	Juste sous la dalle du bâtiment (transfert verticaux)
TENEUR EN EAU DANS LES SOLS	16,7%	Proposition « Johnson and Ettinger » pour la lithologie retenue (limon)
TENEUR EN AIR DANS LES SOLS	32,2%	La teneur en air considérée est égale à : « porosité totale » – « teneur en eau », soit d'après la Proposition « Johnson and Ettinger » 0,489-0,167=0,322. Cette valeur est considérée comme très sécuritaire.
PERMEABILITE A L'AIR DANS LES SOLS	3,2.10-10 cm <sup>2</sup>	Proposition « Johnson and Ettinger, 1991 ; Ferguson et al, 1995 » pour un limon (silt)

## Paramètres relatifs aux bâtiments

Les paramètres relatifs au sol sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Tableau 9 – Paramètres relatifs aux bâtiments

Paramètres relatifs au sol - Scénario 1 : Bâtiment avec un niveau de sous-sol enterré		
Paramètre	Valeur retenue	Référence
TYPE DE BÂTIMENT	bâtiment avec sous-sol	Hypothèse d'un bâtiment avec sous-sols (1 niveau)
EPAISSEUR DE LA DALLE	0,1 m	Estimation de l'épaisseur de la dalle du bâtiment
PROFONDEUR SOUS le NIVEAU du SOL	3,0 m	Estimation de la hauteur du niveau de parking + dalle sol et plafond
DIFFERENCE DE PRESSION ENTRE LE SOL ET LE BATIMENT	4 Pa	En l'absence de mesures sur site, la valeur retenue est une valeur par défaut (source : Nazaroff et al., 1985 et Put and Meir 1989). Hypothèse sécuritaire
DIMENSIONS DE LA PIECE D'EXPOSITION	box : 5m x 2m x 2,5m	Hypothèse des dimensions d'un garage en sous-sol (sécuritaire)
FISSURATION DU BETON	0,002	La valeur retenue est une valeur par défaut. Cette valeur équivaut à prendre compte une dalle béton de qualité moyenne (2 fissures de 1 mm tous les mètres). / Hypothèse sécuritaire
FACTEUR de DILUTION entre SOUS-SOL et RDC	10	valeur est issue de mesures sur sites, sans distinction pour le cas d'un vide sanitaire ou d'une cave ou du type de fondation : plancher, béton... (HESP, Veerkamp et ten Berge, 1994).
RENOUVELLEMENT DE L'AIR A L'INTERIEUR DU BATIMENT	sous-sol : 0,5 vol/h	Valeur habituellement retenue pour une ventilation naturelle

## 6.5. EVALUATION DE LA TOXICITE DES SUBSTANCES

Pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires, plusieurs types d'indices toxicologiques sont utilisés. L'évaluation de la toxicité des substances passe par deux étapes. La première a pour but d'identifier les effets indésirables que la substance est capable de provoquer chez l'homme. La seconde consiste à définir la relation quantitative qui existe entre la dose de polluant et l'effet produit. Cette relation se traduit par une Valeur Toxicologique de Référence, VTR.

La note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31/10/2014 précise la méthodologie de sélection des substances chimiques et des choix des VTR pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués. Elle indique notamment que si plusieurs VTR sont disponibles dans les bases de données des organismes reconnus, le choix doit se faire selon la préférence suivante :

- les VTR construites par l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail),
- la VTR la plus récente parmi : US-EPA (The United States Environmental Protection Agency), ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) ou OMS (Organisation Mondiale de la Santé),
- la VTR la plus récente parmi : Santé Canada, RIVM (Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu), OEHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) ou EFSA (European Food Safety Authority).

Afin de faciliter la lisibilité des feuilles de calculs, lorsqu'une VTR est sélectionnée nous lui attribuons la nomination suivante :

- VTRinc : Valeur toxicologique de référence pour l'inhalation de substance non-cancérogène ;
- VTRic : Valeur toxicologique de référence pour l'inhalation de substance cancérogène ;

Un tableau page suivante synthétise les valeurs de références toxicologiques retenues pour l'évaluation des risques ainsi que l'argumentation de ce choix par rapport à l'ensemble des VTR disponibles pour chaque substance

Une première phase de sélection des substances a été réalisée lors de l'étape de définition du schéma conceptuel et de la définition des scénarios. Ainsi, la source de danger est constituée par les substances volatiles présentes dans les eaux souterraines et les gaz du sol caractérisés par l'ensemble des ouvrages du site d'étude.



Tableau 10 – Synthèse des VTR disponibles et retenues

Famille	Substances	Date de la mise à jour des données	Effets à seuil / sans seuil	Voie d'exposition	Organes cibles SS: syst. sanguin SGI: syst. gastro-intestinal SNC: syst. Nerveux central OR: Organe reproducteur SI: syst. Immunitaire SR : système respiratoire	Source	Année de révision	Type d'exposition	Appellation de la VTR	Valeur de référence	Unité	VTR retenues	Justification du choix de VTR
BTEX	Benzène N° CAS : 71-43-2	06/06/2019	nc	Inhalation	syst. Hématoprotéique, SNC, syst. Immunitaire	ATSDR	2007	chronique	MRL	9,8E-03	mg/m3		
						ANSES	2008	chronique	VTR	1,0E-02	mg/m3	X	Application de la DGS : sélection de la valeur de l'ANSES
						USEPA	2003	chronique	RfC	3,0E-02	mg/m3		
						OEHHA	2014	chronique	REL	3,0E-03	mg/m3		
			c	Inhalation		ANSES	2014	-	-	2,6E-02	(mg/m3)-1	X	Application de la DGS : sélection de la valeur de l'ANSES
						USEPA	2000	-	ERUI	2,2E-03	(mg/m3)-1		
						OMS	2000	chronique	ERUI	6,0E-03	(mg/m3)-1		
						Santé Canada	2010	chronique	VTRI	3,0E-03	(mg/m3)-1		
	Toluène N° CAS : 108-88-3	01/12/2014	nc	Inhalation	SNC, foie, rein, fœtus, lait maternel, neurologique	RIVM	2001	chronique	VTRI	5,0E-03	(mg/m3)-1		
						OEHHA	2002	chronique	ERUI	2,9E-02	(mg/m3)-1		
						USEPA	2005	chronique	RfC	5,0E+00	mg/m3		
						ATSDR	2015	chronique	MRL	3,8E+00	mg/m3		
						ANSES	2017	chronique	-	1,9E+01	mg/m3	X	Application de la DGS : sélection de la valeur de l'ANSES
						Santé Canada	1991	chronique	CA	3,8E+00	mg/m3		
						RIVM	2001	chronique	TCA	4,0E-01	mg/m3		
						OEHHA	2003	chronique	REL	3,0E-01	mg/m3		
	Ethylbenzène 100-41-4	18/11/2013	nc	Inhalation	Foie, Reins	ATSDR	2010	chronique	MRL	2,60E-01	mg/m3		
						USEPA	1991	chronique	RfC	1,0E+00	mg/m3		
						ANSES	2016	chronique	-	1,5E+00	mg/m3	X	Application de la DGS : sélection de la valeur de l'ANSES
						RIVM	2000	chronique	TCA	7,7E-01	mg/m3		
			c	Inhalation		OEHHA	2003	chronique	TCA	2,0E+00	mg/m3		
						OEHHA	2007	chronique	ERUI	2,5E-03	(mg/m3)-1	X	Application de la DGS : seule valeur disponible
						ATSDR	2007	chronique	MRL	2,2E-01	mg/m3	X	Application de la DGS : Sélection de la VTR la plus récente parmi BD des organismes suivants : US EPA, ATSDR, OMS/IPCS
						Santé Canada	1996	chronique	CA	1,8E-01	mg/m3		
COHV	Trichloroéthylène (TCE) 79-01-6	04/06/2019	nc	Inhalation	SNC, rein, foie, cœur, système immunitaire, peau	ATSDR	2013	chronique	MRLi	2,2E-03	mg/m3		
						OEHHA	2000	chronique	RELi	6,0E-01	mg/m3		
						RIVM	2001	chronique	TCA	2,0E-01	mg/m3		
						ANSES	2009/2011	chronique	VTR	3,2E+00	mg/m3	X	Valeur sélectionnée selon procédure DGS du 31/10/2014 VGAi pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10-5
		04/06/2019	c	Inhalation	foie, poumon, OR	USEPA	2011	chronique	RfC	2,0E-03	mg/m3		
						Santé Canada	2010	chronique	ERUI	6,1E-04	(mg/m3)-1		
						USEPA	2011	chronique	URF	4,1E-03	(mg/m3)-1		
						ANSES	2018	chronique	VTR	1,0E-03	(mg/m3)-1	X	Valeur sélectionnée selon procédure DGS du 31/10/2014
	Tétrachloroéthylène (perchloroéthylène, PCE) 127-18-4	04/06/2019	nc	Inhalation	SNC, rein, foie, système respiratoire	OEHHA	2002	chronique	URF	2,0E-03	(mg/m3)-1		
						ANSES	2018	chronique	VTR	4,0E-01	mg/m3	X	Valeur sélectionnée selon procédure DGS du 31/10/2014 Choix INERIS et ANSES
						Santé Canada	2010	chronique	CA	3,6E-01	mg/m3		
						ATSDR	1997	chronique	MRL	2,8E-01	mg/m3		
		04/06/2019	c	Inhalation	Foie	USEPA	2012	chronique	RfC	4,0E-02	mg/m3		
						OMS	2006	chronique	CT	2,0E-01	mg/m3		
						RIVM	2001	chronique	TCA	2,5E-01	mg/m3		
						OEHHA	2016	chronique	ERUI	6,1E-03	(mg/m3)-1		
	Chlorure de vinyle 75-01-4	05/06/2019	nc	Inhalation	SNC, peau, foie	ANSES	2018	chronique	ERUI	2,6E-04	(mg/m3)-1	X	Valeur sélectionnée selon procédure DGS du 31/10/2014 Recommandation ANSES - voir "Avis de l'Anses - Saisine n° « 2012-SA-0141 » et INERIS
						US EPA	2012	chronique	URF	2,6E-04	(mg/m3)-1		
		05/06/2019	c	Inhalation	Foie	USEPA	2000	chronique	RfC	1,0E-01	mg/m3	X	Seule valeur disponible + Application DGS oct 2014
						OMS	1996	-	ERUeau	2,0E-03	(mg/l)-1		
	1,1 dichloroéthylène 75-35-4	04/06/2019	nc	Inhalation	Foie, poumons	ANSES	2012	chronique	VTR	3,8E-03	(mg/m3)-1	X	Recommandation ANSES - voir "Liste des VTR »" d'avril 2018 + Application DGS oct 2014
						USEPA	2000	vie adulte	ERUI	4,4E-03	(mg/m3)-1		
						USEPA	2000	vie entière	ERUI	8,8E-03	(mg/m3)-1		
						RIVM	2001	-	Cri	3,6E-03	mg/m3		
	1,2-cis-dichloroéthylène 156-59-2	04/06/2019	nc	Inhalation	SNC, foie, poumons	USEPA	2002	chronique	RfC	2,00E-01	mg/m3		
						OEHHA	2001	chronique	REL	7,00E-02	mg/m3		
	1,2-trans-dichloroéthylène 156-60-5	04/06/2019	nc	Inhalation	SNC, foie, poumons	OMS	2003	chronique	CT	2,00E-01	mg/m3	X	Valeur sélectionnée selon procédure DGS du 31/10/2014
						RIVM	2009	chronique	pTCA	6,0E-02	mg/m3	X	seule valeur disponible
	1,1 dichloroéthane 76-34-3	06/01/2014	c	Inhalation		RIVM	2009	chronique	pTCA	6,0E-02	mg/m3	X	seule valeur disponible pour les expositions chroniques
						OEHHA	2009			1,60E-03	(mg/m3)-1	X	seule valeur disponible
	1,2 dichloroéthane 107-06-2	27/11/2020	nc	Inhalation	sang, foie	OEHHA	2001	chronique	REL	4,0E-01	mg/m3	X	seule valeur disponible
						OEHHA	2003	chronique	REL	1,0E+00	mg/m3		
	1,1,1-trichloroéthane 71-55-6	06/01/2014	nc	Inhalation	SNC, poumons, reins, foie	USEPA	2007	chronique	RfC	5,0E+00	mg/m3	X	organisme reconnu et valeur plus récente
						ATSDR	2004	subchronique	MRL	3,9E+00	mg/m3		
						ATSDR	1998	chronique	MRL	9,8E-02	mg/m3		
						ANSES	2009	chronique	NOAEL	6,3E-02	mg/m3	X	Choix INERIS (ref : 7-1INERIS-DRC-17-164563-03067A-VTR-VGAi-VGAi_R1-R2-R3_VF) +Application DGS oct 2014
						RIVM	2001	chronique	TCA	1,0E-01	mg/m3		
						OEHHA	2002	chronique	REL	3,0E-01	mg/m3		
	Chloroforme 67-66-3	20/11/2013	nc	Inhalation	SNC, foie, reins, cavités nasales	ATSDR	1997	subchronique	MRL	2,4E-01	mg/m3		
						USEPA	2001	-	ERUI	2,3E-02	(mg/m3)-1	X	Choix INERIS (ref : 7-1INERIS-DRC-17-164563-03067A-VTR-VGAi-VGAi_R1-R2-R3_VF) +Application DGS oct 2014
						OEHHA	2002	-	ERUI	5,3E-03	(mg/m3)-1		
						USEPA	1990	-	RSC	1,1E-03	(mg/m3)-1	x	seule valeur disponible
	bromoforme 75-25-2	06/01/2014	c	Inhalation		ATSDR	1994	subchronique	MRL	3,2E-02	mg/m3		
						USEPA	2010	chronique	rfc	1,0E-01	mg/m3	x	valeur récente, organisme reconnu
						RIVM	2001	chronique	TCA	6,0E-02	mg/m3		
						OEHHA	2003	chronique	REL	4,0E-02	mg/m3		
						USEPA	2010	-	ERUI	6,0E-03	(mg/m3)-1	X	valeur récente et organisme reconnu
						OEHHA	2002	-	ERUI	4,2E-02	(mg/m3)-1		
Chaînes carbonées aliphatiques	C5-C8	15/11/2006	nc	Inhalation	foie, reins	TPH	1999	chronique	RfC	1,8E+01	mg/m3	x	DGS non applicable (aucun organisme cité n'a produit de valeur) Seule valeur disponible
	C8-C16		nc	Inhalation	foie, SS	TPH	1999	chronique	RfC	1,0E+00	mg/m3	x	DGS non applicable (aucun organisme cité n'a produit de valeur) Seule valeur disponible
Chaînes carbonées aromatiques	C8-C16	15/11/2006	nc	Inhalation	perte de poids	TPH	1999	chronique	RfC	2,0E-01	mg/m3	x	DGS non applicable (aucun organisme cité n'a produit de valeur) Seule valeur disponible

## 6.6. QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES

### 6.6.1. Méthodologie générale de quantification du risque

L'estimation des risques sanitaires pour chaque scénario retenu consiste à comparer les Dose Journalière d'Exposition (DJE) et les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) de la manière décrite ci-dessous.

Pour les substances à effets avec seuil, le risque est exprimé par un quotient de danger (QD) :

$$QD = DJE / VTR_{nc}$$

Pour les substances ayant des effets sans seuil, le risque est exprimé par l'Excès de Risque Individuel (ERI) qui représente la probabilité d'excès d'occurrence d'un effet (cancérogène, génotoxique, ...) durant la vie d'un individu exposé :

$$ERI = DJE \times VTR_c$$

ARTELIA utilise ses propres feuilles de calcul (format EXCEL) dans lesquelles les formules explicitées dans les guides du ministère (Guide ARR et IEM, parus en fév. 2007) sont reprises et présentées avec chaque tableau de calcul de risques.

Les ERI sont comparés à une probabilité en prenant comme référence un « risque acceptable d'augmentation de la probabilité d'excès d'occurrence d'un effet » (survenue d'une pathologie) chez l'individu exposé. Par exemple un risque de  $10^{-5}$  signifie qu'une personne exposée a une probabilité de 1 sur 100 000 de manifester un effet lié à l'exposition durant la vie entière. Au-dessus d'un niveau de  $10^{-5}$  le risque est usuellement considéré comme inacceptable.

Pour les effets à seuil, le quotient de danger (QD) n'est pas un risque au sens biostatistique. L'évaluation est de nature qualitative. Les QD sont comparés à 1 :

- si  $QD < 1$  : la survenue d'un effet toxique ne peut théoriquement pas se produire dans la population exposée, incluant les populations sensibles. Le risque est alors considéré comme négligeable. Il n'est toutefois pas possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement et le degré de vraisemblance n'est pas linéaire par rapport au QD.
- si  $QD > 1$  : la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue. Cette possibilité apparaît d'une manière générale d'autant plus forte que le QD augmente mais ce degré de vraisemblance n'est pas linéaire par rapport au QD.

Les critères d'acceptabilité du risque utilisés sont ceux préconisés par le Ministère en Charge de l'Environnement (Guide « ARR » de fév. 2007), et qui sont usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé (recommandations de l'OMS et la circulaire ministérielle de 1999).

#### **Prise en compte de l'exposition sur la vie entière**

La prise en compte de l'exposition sur la vie entière consiste à :

- Quotients de danger (QD) : retenir le QD le plus élevé pour chaque période de la vie au cours de laquelle la personne est différemment exposée ;
- Excès de Risque Individuel (ERI) : additionner les ERI des enfants à ceux des adultes, ramené à la période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, sans seuil d'effets.

L'évaluation du risque « vie entière » permet de considérer le risque maximal encouru par les populations, à savoir passer sa vie de jeune enfant, puis d'adulte exposé aux sources de danger considérée dans l'évaluation du risque.



## Additivité des risques

Les niveaux de risque sont calculés en pratiquant l'additivité des risques selon les règles de l'art en la matière et en tenant compte des recommandations des instances sanitaires émises au niveau national.

Pour les substances non cancérogènes (effets à seuil), bien que l'indice de risque ne représente pas une probabilité, il est considéré que la possibilité d'apparition d'un effet toxique est fonction de la somme des indices de risques pour les substances qui ont des organes cibles communs. Pour les substances étudiées les organes cibles communs sont le foie et le Système Nerveux Central. L'ensemble des indices de risques a donc été sommé.

Pour les substances avec effets sans seuil, tous les excès de risque individuel sont additionnés.

### 6.6.2. Calculs des risques sanitaires

Les résultats des calculs de risques pour chaque scénario pris en compte à l'échelle de la ZAC sont synthétisés ci-après :

Tableau 11 – Synthèse des niveaux de risques

Scénario 1 : Bâtiments à 1 niveau de sous-sol					
Calculs de risques avec percentiles 90 des gaz du sol					
	Usage de logement			Usage de commerce	Référence
	Enfant	Adulte	Vie entière	Travailleur	
QD	2,5E-05	3,2E-05	3,2E-05	1,1E-05	<1
ERI	2,6E-10	1,4E-09	1,7E-09	6,9E-10	<1E-5

Scénario 1 : Bâtiments à 1 niveau de sous-sol					
Calculs de risques avec percentiles 90 des eaux souterraines					
	Usage de logement			Usage de commerce	Référence
	Enfant	Adulte	Vie entière	Travailleur	
QD	3,5E-02	4,5E-02	4,5E-02	1,5E-02	<1
ERI	1,1E-06	6,0E-06	7,1E-06	2,9E-06	<1E-5

Selon une approche globale pour les îlots A2b, B2, D1, D2 et D3, l'ensemble des risques est évalué comme acceptable quel que soit la source de danger considéré (eaux souterraines ou gaz du sol) et les usages projetés (logements ou commerces) avec :

- pour les calculs de risques avec les percentiles 90 des gaz du sol depuis octobre 2019 (après travaux de réhabilitation) :
  - des QD <1 dont les principales parts de risques sont portées par le Cis-1,2-dichloroéthylène (32%), les TPH aromatiques C8-C10 (17%), TPH aliphatiques C12-C16 (13%) et le benzène (10%) ;
  - des ERI < 10<sup>-5</sup> avec le chloroforme (48%) et le benzène (25%).
- pour les calculs de risques avec les percentiles 90 des eaux souterraines depuis octobre 2019 (après travaux de réhabilitation) :
  - des QD <1 dont les principales parts de risques sont portées par le chlorure de vinyle (81%) et le Cis-1,2-dichloroéthylène (18%) ;
  - des ERI < 10<sup>-5</sup> avec le chlorure de vinyle (près de 100%).

Les tableaux détaillant les calculs de risques sont présentés en Annexe 3.

### 6.6.3. Conclusions des calculs de risques sanitaires

Pour les usagers exposés selon les différents scénarios présentés ci-avant, il a été évalué les niveaux de risques à l'aide des modèles de transfert et des hypothèses sécuritaires retenues et d'après les résultats des campagnes de surveillance de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol (utilisation des percentiles 90 des teneurs mesurées depuis les derniers travaux de réhabilitation effectués en septembre/octobre 2019). Les résultats des calculs de risques mettent en évidence la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés (bâtiments avec 1 niveau de sous-sol à usage de parking, et logements et/ou commerces en rez-de-chaussée).

Il est rappelé que pour les futurs bâtiments sur pilotis avec garages ouverts en rez-de-chaussée et logements en étages, les risques sont écartés en raison de la dilution des substances volatiles dans l'air ambiant extérieur.

## 6.7. EVALUATION DES INCERTITUDES DE L'ÉVALUATION DES ENJEUX SANITAIRES

Les résultats de l'évaluation des risques sont basés sur des hypothèses prises d'après les connaissances scientifiques actuelles et les informations disponibles sur le site. Le présent chapitre a ainsi pour objectif de discuter les résultats afin de :

- Mettre en perspective les résultats obtenus par rapport à la réalité,
- Mettre en évidence les points de l'évaluation où un effort supplémentaire dans l'acquisition de données peut réduire de façon substantielle l'incertitude du résultat.

L'évaluation des incertitudes concerne à la fois l'évaluation de l'exposition et l'évaluation de la toxicité des substances. Les incertitudes liées à l'évaluation du risque concernent :

- La définition des scénarios d'exposition,
- La caractérisation des sources de danger,
- La modélisation des phénomènes de transfert,
- Les caractéristiques des substances,
- L'évaluation de la toxicité des substances.

Ainsi, l'évaluation des incertitudes est conduite, pour les substances et voies d'expositions les plus sensibles, en recherchant l'influence des hypothèses et des paramètres qui ont la plus grande influence sur le niveau de risque.

### 6.7.1. Incertitudes liées au schéma conceptuel et à la définition des scénarios d'exposition

Le scénario d'exposition repose sur les caractéristiques des substances et sur les orientations d'aménagement et les usages prévus sur site, tels que définis avec l'EPFLD et la CAPV l'aménageur.

Les paramètres d'exposition concernant les cibles (fréquence et durée d'exposition) sont estimés par rapport aux aménagements supposés sur site. Il existe une incertitude remarquable sur la réalité de ces paramètres (temps exact de présence sur le site pour chaque scénario) et leur degré de ressemblance avec le cas étudié (personnes sans activité passant la quasi-totalité de leur temps dans leur logement, ou salarié réalisant l'intégralité de sa carrière professionnelle dans le commerce). Ces hypothèses sont cependant considérées comme sécuritaires.

L'exposition par inhalation de substances volatiles en milieu extérieur n'a pas été prise en compte. Les niveaux de risques ainsi calculés sont donc légèrement sous-estimés. Néanmoins, la voie d'exposition en milieu extérieur étant peu sensible (phénomènes de dilution en milieu extérieur), l'incertitude associée est négligeable. Sur base de l'expérience d'ARTELIA en évaluation quantitative des risques sanitaires, le risque associé à une exposition par inhalation d'air extérieur est moins important d'un ordre de grandeur de 10 à 100 fois par rapport à celui lié à une exposition par inhalation d'air intérieur au droit d'un même site. Cette dilution dans l'air extérieur sera également effective au droit des parkings aménagés en rez-de chaussée des bâtiments construits sur pilotis, ce qui permet d'écarter les risques pour cette configuration de bâtiments.

### 6.7.2. Incertitudes liées à la caractérisation des sources de danger

La source de danger est représentée par les teneurs résiduelles dans les gaz du sol et dans la nappe au droit de l'ensemble du site d'étude.

La source de danger est caractérisée par l'analyse des eaux souterraines au droit de dix-sept piézomètres sur plusieurs campagnes d'analyse (1 à 6 campagnes réalisées depuis octobre 2019) et des gaz du sol au droit de vingt piézajirs sur plusieurs campagnes d'analyse (1 à 4 campagnes réalisées depuis octobre 2019), tous implantés au droit du site d'étude. Ces ouvrages permettent une caractérisation proportionnée de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol au droit de la source résiduelle de pollution. La modélisation est par ailleurs réalisée depuis les percentiles 90 des concentrations au droit de l'ensemble de ces ouvrages suite aux derniers travaux de traitement de la pollution effectués en octobre 2019. Ces hypothèses sont sécuritaires.

Par ailleurs, il a été comparé les résultats de la modélisation de transfert des substances volatiles présentes dans les eaux souterraines avec les résultats analytiques des campagnes de gaz du sol. Pour les sept substances communes aux deux milieux, il est noté que les concentrations modélisées dans les gaz du sol depuis les teneurs des eaux souterraines sont de 2 (cas du PCE) à plus de 35 000 (cas du chlorure de vinyle) fois plus élevées que les concentrations dans les gaz du sol issues de campagnes d'investigations. L'évaluation des risques effectuée depuis les teneurs des eaux souterraines est plus sécuritaire que celle effectuée depuis les gaz du sol. Cependant, celle effectuée depuis les gaz du sol permet de prendre en compte les paramètres impactant les milieux au plus proches des futurs aménagements, tout en s'affranchissant de modèles. Ainsi, la modélisation depuis les eaux souterraines est l'approche la plus sécuritaire, mais elle cumule davantage d'incertitudes que celle effectuée depuis les gaz du sol.

### 6.7.3. Incertitudes liées à la modélisation des phénomènes de transfert

Pour les scénarios étudiés, la source de danger ayant été caractérisée par des prélèvements d'eaux souterraines et de gaz du sol, le transfert vers l'air ambiant a été modélisé. Les modèles existants, permettant de calculer la volatilisation des substances vers l'air ambiant, induisent des incertitudes portant sur l'évaluation des expositions. Celles-ci proviennent d'une part des hypothèses sous-tendant le modèle choisi et d'autre part de son paramétrage.

#### Conception du modèle

L'élaboration de chaque modèle pris en considération, Johnson et Ettinger, est basée sur la sélection d'une série de formules d'équilibre entre les différentes phases et de transfert depuis l'eau souterraine vers l'air ambiant (diffusion, convection).

Ce modèle est limité par les hypothèses de calcul suivantes :

- les processus de transformation (biodégradation, hydrolyse,...) ne sont pas pris en compte ;
- la répartition du composé est homogène sur toute la zone de contamination;
- la couche de sol est supposée homogène horizontalement et isotrope (mêmes caractéristiques dans les trois dimensions).
- le transport par convection est localisé dans la zone sous influence des bâtiments (différence de pression plus marquée) et est séparé du transfert diffusif qui a lieu dans le reste du sol.

Ces phénomènes sont largement influencés par les conditions environnementales très variables telles que les conditions atmosphériques, les caractéristiques des sols, etc....

Il existe une incertitude quant au facteur d'abattement de 10 considéré entre l'air du sous-sol du bâtiment et l'air du rez-de-chaussée. Même si la valeur de 10 appliquée à ce facteur d'abattement n'est pas majorante, elle est considérée comme sécuritaire. Il est également rappelé que l'ensemble des hypothèses considérées sont globalement majorantes. Ainsi, il ne semble pas opportun (voire très éloigné de la réalité) de diminuer la valeur de ce facteur.

## Paramétrage

Dans une étude portant sur l'évaluation des modèles, l'INERIS souligne que les résultats varient par plusieurs ordres de grandeurs lorsque l'on compare les résultats mesurés sur le terrain avec les résultats obtenus avec les modèles.

Cette observation souligne la sensibilité des modèles, qui est liée à la difficulté de les paramétrer de manière réaliste. L'évaluation des tendances des modèles à sur/sous-estimer les risques n'ont guère fait l'objet de validation expérimentale.

Les incertitudes liées à la modélisation de la volatilisation des substances sont importantes mais les choix des paramètres ont été systématiquement sécuritaires.

### ➤ Paramètres relatifs au milieu naturel

Les paramètres du sol retenus pour les calculs de transfert sont ceux fournis par la littérature (Johnson and Ettinger 1991, Ferguson et al. 1995) pour les types de sol identifiés à partir des coupes des sondages :

- Limons à 3 m de profondeur pour les scénarios 1,

Ces hypothèses sont représentatives des terrains observés. Ces derniers sont des limons sableux, avec des passages plus ou moins argileux selon les zones. La définition d'un limon a été préférée à celle d'un limon sableux car la perméabilité associée à ce dernier matériau était supérieure à celle d'un limon. L'hypothèse la plus conservatrice a donc été retenue.

### ➤ Paramètres relatifs aux futurs bâtiments

Le taux de ventilation des sous-sols est un paramètre très influant sur le calcul des transferts. Le taux de 0,5 vol/h retenu pour les calculs est représentatif d'une ventilation naturelle des sous-sols des futurs bâtiments. Le choix de cette valeur est considéré comme sécuritaire.

La taille des garages en sous-sol a été fixée à 5 x 2 x 2,5 m. Cette taille retenue pour la modélisation est sécuritaire pour le niveau de risque calculé.

## **6.7.4. Incertitudes liées aux caractéristiques des substances**

Des incertitudes sur les résultats peuvent être induites par la variabilité des paramètres physico-chimiques des substances (souvent plusieurs valeurs existent dans la littérature pour un même paramètre). Les valeurs jugées les plus représentatives ont été retenues lorsque plusieurs valeurs différentes étaient disponibles. Ces choix peuvent, suivant les cas, entraîner des surestimations ou sous-estimations des niveaux de risque.

Les incertitudes liées aux caractéristiques des substances ne sont donc pas susceptibles de modifier les conclusions de l'EQRS.

## **6.7.5. Incertitudes liées à l'évaluation de la toxicité des substances**

La sélection des valeurs toxicologiques de référence (VTR) a été menée conformément à la circulaire de la DGS en vigueur. L'évaluation de la toxicité des substances s'appuie sur les VTR, dont l'élaboration et l'extrapolation à l'homme induisent des incertitudes notables.

Concernant les fractions d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques quantifiées, aucune sélection de VTR n'est recommandée par la DGS, et une unique VTR concernant les risques non cancérigènes est disponible, publiée par le ministère américain en charge de l'environnement, réputé fiable. Aucune VTR concernant les risques cancérigènes n'est disponible à ce jour, induisant des incertitudes remarquables, en particulier concernant les risques liés aux hydrocarbures aromatiques volatils.

C'est pourquoi l'approche suivante a été retenue concernant les composés aromatiques de la famille des BTEX :

- les TPH aromatiques >C6-C7 correspondant au benzène n'ont pas été retenus ;
- les TPH aromatiques >C7-C8 correspondant au toluène n'ont pas été retenus ;

⇒ Cette démarche est réaliste et aucune incertitude n'en découle.

La sélection des TPH >C8-C10 aromatiques et de l'éthylbenzène et des xylènes par ailleurs est une démarche sécuritaire dans la mesure où les TPH >C8-C10 aromatiques regroupent non seulement l'éthylbenzène et les xylènes mais également d'autres hydrocarbures aromatiques comportant de 9 à 10 carbones.

⇒ Cette approche génère une surestimation des niveaux de risque mais pas de nature à remettre en cause les conclusions de la présente étude.

## 6.8. DEFINITION ITERATIVE DES SEUILS D'ALERTE

Dans le cadre d'une opération de réhabilitation future du site d'étude, il apparaît intéressant de définir des seuils d'alerte dans les eaux souterraines et les gaz du sol correspondant aux teneurs résiduelles pour lesquelles les résultats du calcul des risques sanitaires pour les usagers futurs du site demeurent en-deçà des seuils de référence recommandés par l'OMS et la circulaire ministérielle de 1999. Ainsi, la définition des seuils d'alerte consiste en un calcul itératif aboutissant à des risques acceptables. Les scénarios les plus pénalisants ont été retenus pour la réalisation de ces calculs itératifs, entendu que si le niveau de risque est acceptable pour ce scénario il le sera également pour les autres :

- Pour les eaux souterraines : Scénario 1 pour des bâtiments de logements avec 1 niveau de sous-sol (avec un taux de ventilation de 0,5 vol/h comparable à une ventilation naturelle) ;
- Pour les gaz du sol : Scénario 1 pour des bâtiments de logements à 1 niveau de sous-sol (avec un taux de ventilation de 0,5 vol/h comparable à une ventilation naturelle).

Cette approche est en ligne avec la méthodologie nationale relative aux Sites et Sols Pollués et permettra de réaliser des mesures de contrôle des eaux souterraines et des gaz du sol au droit des zones accueillant des bâtiments afin de valider la compatibilité de l'état des milieux avec le projet d'aménagement.

Les feuilles de calculs des risques sanitaires pour la définition de ces seuils d'alerte sont présentées en Annexe 4.

Les résultats de la définition des seuils d'alerte sont synthétisés ci-dessous.

Tableau 12 – Seuils d'alerte par milieu

Seuils d'alerte Gaz du sol (mg/m3)		Seuils d'alerte Eaux souterraines (µg/l)	
Substances	Seuils d'alerte Gaz du sol	Substances	Seuils d'alerte Eaux souterraines
Benzene	500	Dichloroethane (1,1)	2 000
Tétrachlorométhane	800	Dichloroethylene (1,1)	8 000
Chloroforme	100	Dichloroethylene (cis 1,2)	80 000
Dichloroethane (1,1)	100	Dichloroethene (trans 1,2)	4 000
Dichloroethylene (1,1)	100	Tetrachloroethylene (PCE)	500
Dichloroethylene (cis 1,2)	1 500	Trichloroethylene (TCE)	1 300
Dichloroethene (trans 1,2)	200	Chlorure de Vinyle	1 100
Ethylbenzene	200		
Tetrachloroethylene (PCE)	1 500		
Toluene	500		
TPH Aliphatic C5-6	2 000		
TPH Aliphatic C6-8	1 500		
TPH Aliphatic C8-10	1 500		
TPH Aliphatic C10-12	1 500		
TPH Aliphatic C12-16	3 500		
TPH Aromatic C8-10	1 000		
Trichloroethane (1,1,1)	200		
Trichloroethylene (TCE)	5 000		
Chlorure de Vinyle	300		
Xylenes	600		

La comparaison avec les seuils d'alerte a été effectuée en calculant les percentiles 90 de l'ensemble des teneurs disponibles après travaux (avec les teneurs inférieures aux limites de quantification prises égales à celles-ci). Ultérieurement, le calcul des percentiles 90 pourra s'effectuer sur une période supérieure à 1 an afin de tenir compte de l'évolution des teneurs dans le temps (2 années, voire 4 années glissantes maximum).

Dans le cas d'un constat de dépassement d'un seuil d'alerte par une valeur de percentile 90 des eaux souterraines ou des gaz du sol sur une période glissante de 2 années (voire 4 années maximum), les solutions suivantes devront être envisagées afin d'assurer in fine la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés :

- En premier lieu, réaliser des calculs de risques spécifiques avec les teneurs identifiées localement afin de démontrer la compatibilité de l'état des milieux avec les usages de la zone considérée ;
- En cas de confirmation de l'incompatibilité, il sera nécessaire de :
  - Soit définir des mesures constructives particulières telle que la mise en place d'un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiments (par exemples : barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments) ;
  - Soit compléter la caractérisation des milieux et évaluer la nécessité de réaliser des travaux de réhabilitation complémentaires de façon à traiter les pollutions résiduelles. Il est toutefois à noter que les seuils d'alerte ne constituent pas des seuils de dépollution.

## 6.9. ANALYSE DE LA COMPATIBILITE DES L'ETAT DES MILIEUX AVEC LES SEUILS D'ALERTE PAR ILOT

Afin d'évaluer la compatibilité des milieux avec les futurs usages au droit de chaque îlot du site d'étude, et selon une approche simplificatrice, les résultats analytiques des eaux souterraines et des gaz du sol depuis octobre 2019 (après achèvement des derniers travaux de réhabilitation) sont mis en regard des seuils d'alerte définis ci-avant dans les tableaux présentés en Annexes 1 et 2. En effet, si l'ensemble des teneurs mesurées sont inférieures aux seuils d'alerte, alors les percentiles de la dernière année glissante écoulée seront a fortiori inférieurs aux seuils d'alerte.

La synthèse de cette comparaison est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 13 – Synthèse de la comparaison des teneurs des campagnes avec les seuils d'alerte

Ilots	Eaux souterraines	Gaz du sol
Ilot A2b	Aucun ouvrage au droit ou à proximité immédiate de cet îlot	2 piézairs au droit de cet îlot : A2bPzR1 et A2bPzR2
Ilot B2	2 piézomètres au droit de cet îlot : B2Pz17 et B2PzA47	5 piézairs au droit de cet îlot : B2PzR1 à B2PzR5 et Pa2bis
	1 piézomètre à proximité immédiate de cet îlot : B2Pz12/Pz12bis (dépassements pour 2 campagnes : 09/2019 pour TCE, CV et cis12DCE et 11/2019 pour CV)	
Ilot D1	3 piézomètres au droit ou à proximité de cet îlot : D1Pz3bis, D1Pz14 et Pz5	3 piézairs au droit de cet îlot : D1PzR1, D1PzR2 et D1PzR3/Pg2
Ilot D2	4 piézomètres au droit ou à proximité de cet îlot : D2Pz15, D2Pz11, D2Pz2 et Pz10	4 piézairs au droit ou à proximité de cet îlot : D2PzR1, D2PzR2, Pg6 et Pg43
	1 piézomètre à proximité de cet îlot : PzA43	
Ilot D3	1 piézomètre au droit de cet îlot : D3Pz4 mais pas de campagne depuis octobre 2019	2 piézairs au droit de cet îlot : D3PzR1 et D3PzR2

Légende :

Ouvrages dont toutes les teneurs sont inférieures aux seuils d'alerte

Ouvrages dont au moins une teneur depuis octobre 2019 est supérieure aux seuils d'alerte

➤ **Cas de l'îlot B2 :**

Il est identifié des dépassements ponctuels des seuils d'alerte pour certaines valeurs des eaux souterraines en trichloroéthylène, chlorure de vinyle et cis-1,2-dichloroéthylène au sein de l'ouvrage B2-Pz12bis (campagnes de novembre 2019). Il est toutefois à noter que les résultats des campagnes suivantes sont inférieurs aux seuils d'alerte. Cependant, la compatibilité de l'état des milieux a été évaluée sur base du calcul du percentile 90 d'une année glissante après travaux. Les valeurs calculées spécifiquement pour l'îlot B2 sont les suivantes :

Tableau 14 – Comparaison des percentiles 90 de l'îlot B2 avec les seuils d'alerte

Substances	Percentile 90 des eaux souterraines pour l'îlot B2	Percentile 90 des eaux souterraines pour B2-Pz12bis	Seuils d'alerte
Trichloroéthylène	254 µg/l	304 µg/l	1 300 µg/l
Chlorure de vinyle	<b>8334 µg/l</b>	<b>2 782 µg/l</b>	1 100 µg/l
Cis-1,2-dichloroéthylène	1 546 µg/l	5 087 µg/l	80 000 µg/l

- ⇒ **Au vu des dépassements des seuils d'alerte pour les percentiles du chlorure de vinyle, il apparaît nécessaire de réaliser des calculs de risques spécifiques pour cet îlot (avec ventilation naturelle).**

➤ **Cas de l'îlot D2 :**

Il est identifié un dépassement ponctuel d'un seuil d'alerte des eaux souterraines en chlorure de vinyle au sein de l'ouvrage PzA43 (campagnes de novembre 2019). Il est toutefois à noter que les résultats des campagnes suivantes sont inférieurs aux seuils d'alerte. Cependant, la compatibilité de l'état des milieux a été évaluée sur base du calcul du percentile 90 d'une année glissante après travaux. Les valeurs calculées spécifiquement pour l'îlot D2 sont les suivantes :

Tableau 15 – Comparaison des percentiles 90 de l'îlot D2 avec les seuils d'alerte

Substances	Percentile 90 des eaux souterraines pour l'îlot D2	Percentile 90 des eaux souterraines pour D2-PzA43	Seuils d'alerte
Chlorure de vinyle	<b>1 856 µg/l</b>	<b>1 605 µg/l</b>	1 100 µg/l

- ⇒ **Au vu des dépassements des seuils d'alerte pour les percentiles du chlorure de vinyle, il apparaît nécessaire de réaliser des calculs de risques spécifiques pour cet îlot (avec ventilation naturelle).**
- ⇒ **Par ailleurs, pour chacun des îlots B2 et D2 il est recommandé d'évaluer la possibilité de mettre en place un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiment (barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments).**

## 7. CONDITIONS DE VALIDITÉ DES RESULTATS

Les conclusions et recommandations proposées dans le présent rapport sont fondées sur :

- Les données écrites et orales fournies au consultant par le client
- Les informations orales obtenues par le consultant lors des réunions et interviews sur le site. Ces informations sont considérées comme complètes et exactes
- Les observations faites sur le site par le consultant
- Les bases de données publiques et institutionnelles accessibles

L'approche utilisée est conforme à la pratique professionnelle en vigueur en France.

Les observations, mesures et analyses en laboratoire réalisées dans le cadre de cette étude sont situées en des points spécifiques. On ne peut pas exclure des conditions sensiblement différentes en d'autres points.

La liste des données écrites obtenues et des bases de données consultées, les visites de sites et conversation orales ayant contribué à l'information sont synthétisées dans le présent document.

Ce rapport ne tient évidemment pas compte des données non-fournies ou fournies postérieurement à sa date d'émission.



## 8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La compilation des données quant à la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- **Milieu Eaux Souterraines** : une évolution globale à la baisse des teneurs en COHV depuis octobre 2019 (date des derniers travaux de réhabilitation) et une évolution des teneurs selon la chaîne de dégradation (PCE > TCE > DCE > CV), ainsi que des teneurs inférieures aux objectifs de dépollution lors de la dernière campagne de septembre 2020. Les principales teneurs restent localisées au centre du site d'étude (en PzA43 et Pz12bis localisés entre les îlots B2 et D2).
- **Milieu Gaz du sol** : l'absence d'impact au sein des piézaires suivis (Pg1 à Pg6 répartis sur la moitié Sud de la ZAC) avant 2018 et la présence de teneurs résiduelles localisées au centre du site d'étude (en Pg43, Pa2 et Pg3 localisés entre les îlots B2 et D2) de manière cohérente avec la localisation des impacts résiduels identifiés dans les eaux souterraines.

Le schéma conceptuel préalable à l'évaluation de risques sanitaires pour des usages de logements ou de commerces dans des bâtiments avec 1 niveau de sous-sol à usage de parking, et avec recouvrement des espaces extérieurs, met en évidence la présence d'enjeux sanitaires à évaluer quantitativement pour l'inhalation de substances volatiles par les futurs usagers du site. Par ailleurs, les risques sont écartés pour des bâtiments sur pilotis avec garages ouverts en rez-de-chaussée et logements en étages en raison de la dilution des substances volatiles dans l'air ambiant extérieur.

Selon une approche globale pour les îlots A2b, B2, D1, D2 et D3, l'évaluation des enjeux sanitaires réalisée par ARTELIA sur base d'hypothèses sécuritaires (modélisation des concentrations en polluants dans l'air ambiant intérieur des sous-sols des bâtiments à partir des percentiles 90 des teneurs mesurées dans les gaz du sol et/ou les eaux souterraines lors des campagnes depuis les derniers travaux de réhabilitation d'octobre 2019), met en évidence la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés (logements et/ commerces avec bâtiments avec 1 niveau de sous-sol).

Dans une démarche d'approche globale de la gestion des enjeux sanitaires pour les îlots A2b, B2, D1, D2 et D3, des seuils d'alerte ont été définis pour les gaz du sol et les eaux souterraines (avec un taux de ventilation de 0,5 vol/h comparable à une ventilation naturelle) tels que présentés aux tableaux suivants :

Seuils d'alerte Gaz du sol (mg/m3)	
Substances	Seuils d'alerte Gaz du sol
Benzene	500
Tétrachlorométhane	800
Chloroforme	100
Dichloroethane (1,1)	100
Dichloroethylene (1,1)	100
Dichloroethylene (cis 1,2)	1 500
Dichloroethene (trans 1,2)	200
Ethylbenzene	200
Tetrachloroethylene (PCE)	1 500
Toluene	500
TPH Aliphatic C5-6	2 000
TPH Aliphatic C6-8	1 500
TPH Aliphatic C8-10	1 500
TPH Aliphatic C10-12	1 500
TPH Aliphatic C12-16	3 500
TPH Aromatic C8-10	1 000
Trichloroethane (1,1,1)	200
Trichloroethylene (TCE)	5 000
Chlorure de Vinyle	300
Xylenes	600

Seuils d'alerte Eaux souterraines (µg/l)	
Substances	Seuils d'alerte Eaux souterraines
Dichloroethane (1,1)	2 000
Dichloroethylene (1,1)	8 000
Dichloroethylene (cis 1,2)	80 000
Dichloroethene (trans 1,2)	4 000
Tetrachloroethylene (PCE)	500
Trichloroethylene (TCE)	1 300
Chlorure de Vinyle	1 100

Dans le cas d'un constat de dépassement d'un seuil d'alerte par une valeur de percentile 90 des eaux souterraines ou des gaz du sol sur une période glissante de 4 ans maximum, les solutions suivantes devront être envisagées afin d'assurer in fine la compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés :

- En premier lieu, réaliser des calculs de risques spécifiques avec les teneurs identifiées localement afin de démontrer la compatibilité de l'état des milieux avec les usages de la zone considérée ;

- En cas de confirmation de l'incompatibilité, il sera nécessaire de :
  - Soit définir des mesures constructives particulières telle que la mise en place d'un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiments (par exemples : barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments) ;
  - Soit compléter la caractérisation des milieux et évaluer la nécessité de réaliser des travaux de réhabilitation complémentaires de façon à traiter les pollutions résiduelles. Il est toutefois à noter que les seuils d'alerte ne constituent pas des seuils de dépollution.

La comparaison des percentiles des teneurs des campagnes réalisées depuis octobre 2019 (après achèvement des derniers travaux de réhabilitation) avec les seuils d'alerte a permis d'identifier des dépassements ponctuels des seuils d'alerte dans les eaux souterraines en chlorure de vinyle au sein des îlots B2 (Pz12bis : 2782 µg/l) et D2 (PzA43 : 1605 µg/l).

- ⇒ **Au vu des dépassements des seuils d'alerte pour les percentiles du chlorure de vinyle au sein des îlots B2 et D2, il apparaît nécessaire de réaliser des calculs de risques spécifiques pour chacun de ces îlots en tenant compte du projet final d'aménagement.**
- ⇒ **Il est également recommandé de réaliser des campagnes de surveillance complémentaires au droit de ces deux îlots (selon, la périodicité définie par l'arrêté préfectoral applicable) afin de valider la présence de teneurs inférieures aux seuils d'alerte des dernières campagnes et la compatibilité de l'état des milieux avec tout usage (calcul des percentiles 90 après travaux sur une période glissante de 2 années, voire 4 années maximum).**
- ⇒ **Par ailleurs, pour chacun des îlots B2 et D2 il est recommandé d'évaluer la possibilité de mettre en place un système limitant le transfert des volatils vers l'air ambiant des bâtiment (barrière imperméable type Volclay en soubassement des radiers des bâtiments ou système de drainage des gaz du sol sous les bâtiments).**
- ⇒

# FIGURE










# ANNEXES





## **ANNEXE 1**

# **TABLEAU DE SYNTHÈSE DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DEPUIS OCTOBRE 2019**

SYNTHESE DES ANALYSES D'EAUX (µg/l)														
Substances recherchées		LQ (µg/l)	D2-Pz2				D2-Pz11					D2-Pz15		Seuils d'alerte
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	15/09/2020	
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	1,8	<	<	<	<	<	1 300
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	500
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	1,8	<	2,5	2,2	<	<	<	2 000
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	5,2	69,7	<	<	1600	206	3520	1840	7,7	3,3	<	80 000
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	2,9	<	5,8	3,3	<	<	<	4 000
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	2,12	0,66	<	<	580	411	2920	1100	8,73	8,7	<	1 100
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	2,7	<	4,1	2,9	<	<	<	8 000
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-	
Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-	

Substances recherchées		LQ (µg/l)	B2-Pz17	B2-PzA47				B2-Pz12	B2-Pz12bis				Seuils d'alerte
			21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	<	72	344	245	98,7	1 300
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	0,4	<	<	<	<	500
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	0,7	<	<	<	<	2 000
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	0,87	<	2,6	2,2	<	0,91	7920	838	454	299	80 000
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	21,1	4,6	2,7	7	4 000
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	6,9	1,83	90,8	72,7	15,9	1,7	4340	444	130	64,9	1 100
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	9	<	<	<	8 000
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-

Substances recherchées		LQ (µg/l)	D1-Pz3bis				D1-Pz14				Pz10/Pz10bis			Seuils d'alerte
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	21/10/2019	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	1 300
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	500
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	2,6	<	<	2 000
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	11,8	<	<	12,3	4,4	8,3	13,3	1180	479	8,5	80 000
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	4 000
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	<	<	0,69	<	15	5,2	19,4	23,1	1010	462	<	1 100
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	8 000
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	-

Substances recherchées		LQ (µg/l)	PzA43/PzA43bis				Pz5	Pz8/Pz8bis	Pz7/Pz7bis	Percentile 90	Substances retenues	Critères	Seuils d'alerte
			14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020	15/09/2020	14/11/2019	08/01/2020	28/05/2020				
COHV	Dichlorométhane (CH2Cl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Chloroforme** (CHCl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	1	1,4	2,9	2,3	<	11	1,1	<	23,2	Oui	quantifié	1 300
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	1	<	<	<	<	<	<	<	1	Oui	quantifié	500
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	2	Oui	quantifié	2 000
	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	995	<	271	6,3	340	196	54	1264	Oui	quantifié	80 000
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	9	<	2,2	<	<	<	<	4,84	Oui	quantifié	4 000
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	0,5	2180	<	263	96,5	467	2,2	113	1028	Oui	quantifié	1 100
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	2	<	<	<	<	<	<	<	2,14	Oui	quantifié	8 000
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Dibromométhane (BrCBr)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	2	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	1	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-
	Bromoforme** (CHBr3)	5	<	<	<	<	<	<	<	<LQ	Non	non quantifié	-

< : inférieur aux limites de quantification (LQ)  
en gras : teneur supérieure au seuil d'alerte




## ANNEXE 2

# **TABLEAU DE SYNTHÈSE DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES GAZ DU SOL DEPUIS OCTOBRE 2019**



SYNTHESE DES ANALYSES DE GAZ DU SOL (mg/m3) - depuis avril 2018																				
Substances recherchées dans les gaz du sol (mg/m3)		A2b-PzR1	A2b-PzR2		B2-PzR1	B2PzR2	B2-PzR3	B2-PzR4		B2-PzR5		D1-PzR1		D1-PzR2	D1-PzR3	D2-PzR1		D2-PzR2		Seuils d'alerte
		21/10/2019	21/10/2019	15/09/2020	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	15/09/2020	19/12/2019	15/09/2020	
CAV - BTEX	Benzène	<0,002	<0,002	0,002	0,0018	<0,0017	0,003	0,0037	0,003	<0,0017	<0,002	0,0022	0,002	0,01	0,011	<0,0017	0,002	0,0017	0,003	500
	Toluène	0,01	0,009	0,013	0,01	0,007	0,0083	0,015	0,014	0,009	0,007	0,008	0,023	0,019	0,014	0,0067	0,011	0,017	0,024	500
	Ethylbenzène	0,005	0,005	0,006	0,0048	0,004	0,004	0,007	0,005	0,0037	<0,003	0,0022	0,005	0,006	0,0047	0,0043	0,005	0,0057	0,007	200
	m, p -Xylène	0,021	0,022	0,03	0,0172	0,015	0,017	0,022	0,021	0,014	0,012	0,007	0,021	0,014	0,015	0,017	0,021	0,021	0,027	-
	o-Xylène	0,007	0,007	0,011	0,0056	0,005	0,005	0,008	0,007	0,0047	0,004	0,0024	0,008	0,005	0,005	0,005	0,007	0,007	0,01	-
	Xylènes (o, m et p)	0,028	0,029	0,041	0,022	0,02	0,022	0,03	0,028	0,019	0,016	0,0096	0,029	0,019	0,02	0,022	0,028	0,028	0,037	600
HC aliphatiques	>C5-C6	<0,067	<0,067	<0,082	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	0,11	0,21	<0,067	<0,081	<0,067	<0,079	2000
	>C6-C8	0,1	<0,067	<0,082	0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	0,104	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	0,13	0,187	<0,067	<0,081	0,093	<0,079	1500
	>C8-C10	<0,067	<0,067	0,113	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	0,083	<0,067	0,123	<0,0044	0,133	0,07	<0,067	<0,067	0,248	<0,067	0,143	1500
	>C10-C12	<0,067	<0,067	0,125	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	0,098	0,067	0,129	1500
	>C12-C16	-	-	0,422					0,098	-	<0,081	-	0,102	-	-	-	0,228	-	0,173	3500
HC aromatiques	>C6-C7	0,01	0,009	0,002	0,01182	0,007	0,011	0,0187	0,002	0,009	0,002	0,0106	0,002	0,029	0,025	0,067	0,002	0,0187	0,003	-
	>C7-C8			0,013					0,014		0,007		0,023				0,011		0,024	-
	>C8-C10	0,08	0,073	0,107	0,05	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	<0,081	<0,067	0,112	1000
	>C10-C12	<0,067	<0,067	<0,082	<0,04	<0,0067	<0,0083	<0,067	<0,083	<0,067	<0,081	<0,0044	<0,086	<0,0044	<0,067	<0,067	<0,081	<0,067	<0,079	-
	>C12-C16	-	-	<0,082					<0,083	-	<0,081	-	<0,086	-	-	-	<0,081	-	<0,079	-
COHV	1,2 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	
	1,1 Dichloroéthane (C2H4Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,005	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	100
	1,1 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,0033	-	100
	Cis 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	0,037	-	<0,0067	-	<0,0044	0,089	0,035	<0,0067	0,02	0,018	<0,0067	-	1500
	Trans 1,2 Dichloroéthylène (C2H2Cl2)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,01	<0,0044	<0,0067	<0,0067	0,013	<0,0067	-	200
	Dichlorométhane (CH2Cl2)	<0,0083	<0,0083	-	<0,005	<0,0083	<0,0083	<0,0083	-	<0,0083	-	<0,0056	<0,003	<0,0056	<0,0083	<0,0083	<0,003	<0,0083	-	-
	Tétrachloroéthylène, PCE* (C2Cl4)	<0,0067	0,012	-	0,0056	0,12	<0,0083	0,18	-	<0,0067	-	<0,0044	0,009	<0,0044	<0,0067	<0,0067	0,002	<0,0067	-	1500
	Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone, CCl4)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0083	<0,0067	-	0,07	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	800
	1,1,1 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	<0,0067	0,011	-	0,0074	0,012	<0,0083	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	0,005	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	200
	Trichloroéthylène, TCE* (C2HCl3)	0,04	0,163	-	0,078	0,06	0,002	0,1	-	0,0097	-	<0,0011	0,711	0,11	0,009	0,047	0,036	<0,0017	-	5000
	Chloroforme** (CHCl3)	<0,0067	<0,0067	-	0,0094	<0,0067	<0,0067	<0,0067	-	0,037	-	<0,0044	0,122	<0,0044	0,008	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	100
	Chlorure de vinyle (C2H3Cl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,0002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,003	<0,0022	0,019	0,009	<0,003	<0,0033	-	300
	Bromoforme** (CHBr3)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-	-
	1,1,2 Trichloroéthane (C2H3Cl3)	<0,0067	<0,0067	-	<0,004	<0,0067	<0,0083	<0,0067	-	<0,0067	-	<0,0044	<0,002	<0,0044	<0,0067	<0,0067	<0,002	<0,0067	-	-
	Bromochlorométhane (CH2BrCl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-	-
	Dibromochlorométhane** (CHBr2Cl)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-	-
	Dichlorobromométhane** (CHBrCl2)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	0,002	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-	-
	1,2 - Dibromoéthane (EDB, C2H4Br2)	<0,0033	<0,0033	-	<0,002	<0,0033	<0,0033	<0,0033	-	<0,0033	-	<0,0022	<0,002	<0,0022	<0,0033	<0,0033	<0,002	<0,033	-	-
Dibromométhane (BrCBr)	<0,0033	<0,0033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,002	-	-	-	<0,002	-	-	-	

Substances recherchées dans les gaz du sol (mg/m3)		D2-Pg3ater			D2-Pg43		D3-PzR1		D3-PzR2	Pa2bis		Pa2	Pg4bis	Pg6	Percentile 90	Substances retenues	Critères	Seuils d'alerte
		13/11/2019	08/01/2020	27/05/2020	13/11/2019	08/01/2020	21/10/2019	15/09/2020	15/09/2020	08/01/2020	27/05/2020	15/09/2020	08/01/2020	17/12/2019				
CAV - BTEX	Benzène	-	-	-	-	-	<0,002	0,002	0,002	-	-	0,002	-	0,002	0,0036	Oui	quantifié	500
	Toluène	-	-	-	-	-	0,011	0,009	0,011	-	-	0,013	-	0,017	0,019	Oui	quantifié	500
	Ethylbenzène	-	-	-	-	-	0,006	0,004	0,005	-	-	0,006	-	0,006	0,006	Oui	quantifié	200
	m, p -Xylène	-	-	-	-	-	0,023	0,016	0,025	-	-	0,03	-	0,021	0,027	Non	Cf. xylènes	-
	o-Xylène	-	-	-	-	-	<0,01	0,005	0,009	-	-	0,011	-	0,007	0,01	Non	Cf. xylènes	-
	Xylènes (o, m et p)	-	-	-	-	-	0,033	0,021	0,034	-	-	0,041	-	0,028	0,036	Oui	quantifié	600
HC aliphatiques	>C5-C6	-	-	-	-	-	<0,067	<0,080	<0,085	-	-	<0,082	-	<0,067	0,0858	Oui	quantifié	2000
	>C6-C8	-	-	-	-	-	0,067	<0,080	<0,085	-	-	<0,082	-	0,093	0,10	Oui	quantifié	1500
	>C8-C10	-	-	-	-	-	<0,067	<0,080	0,100	-	-	0,113	-	<0,067	0,13	Oui	quantifié	1500
	>C10-C12	-	-	-	-	-	<											



## **ANNEXE 3**

# **FICHES DE SYNTHÈSE DES RESULTATS DE MODELISATION ET DETAILS DES CALCULS DES RISQUES SANITAIRES PAR SCENARIO**

Les calculs de la **dose d'exposition (DJE pour les voies 'ingestion' ou CI pour les voies 'inhalation')** sont réalisés avec des feuilles de calculs développées par ARTELIA, sur la base des formules de calculs détaillées ci-dessous.

**A. Famille des voies d'exposition 'Inhalation' : calcul de la Concentration moyenne Inhalée (CI)**

**a. Formules de calcul des doses d'exposition**

<b>Inhalation de SUBSTANCES VOLATILES*</b>	
$CI = \frac{Ca \times t \times F \times T}{T_m}$	<p>CI : Concentration moyenne inhalée (mg/m3),            Ca : Concentration du polluant dans l'air inhalé (mg/m3),            t : Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24),            F : Fréquence d'exposition (jours/365),            T : Durée d'exposition (années),            Tm : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée.            Polluants non cancérogènes : Tm = T ;            Polluants cancérogènes : Tm = 70 ans</p>
<b>Inhalation de PARTICULES ET DE POUSSIÈRES d'EAU (formule élaborée par HESP)</b>	
$CI = \frac{C_s \times TSP \times frs \times fr \times t \times F \times T}{T_m}$	<p>CI : Concentration moyenne inhalée (mg/m3),            Cs : Concentration du polluant dans le sol (mg/kg),            TSP : Quantité de particules en suspension dans l'air (kg/m3),            frs : fraction de sol contenu dans les poussières (-),            fr : fraction retenue dans les poumons (-),            t : fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24),            F : Fréquence d'exposition (jours/365),            T : Durée d'exposition (années),            Tm : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée.</p>

\* pour la voie 'inhalation de substances volatiles', dans le cas où la concentration du polluant dans l'air inhalé ne peut être mesurée, la concentration d'exposition est modélisée à partir des teneurs dans les gaz du sol via les logiciels présentés ci-après, permettant de modéliser les transferts de substances volatiles depuis le sol vers l'air ambiant.

## **b. Liste des logiciels de modélisation du transfert de substances volatiles depuis le sol vers l'air ambiant**

Les logiciels de modélisation utilisés par ARTELIA ont été sélectionnés selon les recommandations de l'INERIS en matière de modèle adapté aux cas rencontrés usuellement suivants :

- Cas d'expositions en intérieur :
  - Dans un bâtiment sans vide sanitaire : modèle « Jonhson et Ettinger » - Logiciel RISC5, version 1.05.003. La première version, publiée en 1993 par British Petroleum, a été développée en plusieurs versions jusqu'à la version 5 éditée en juin 2011.

## **c. Présentation succincte des logiciels de modélisation du transfert de substances volatiles depuis le sol vers l'air ambiant**

- Modèle « Jonhson et Ettinger » - Logiciel RISC5

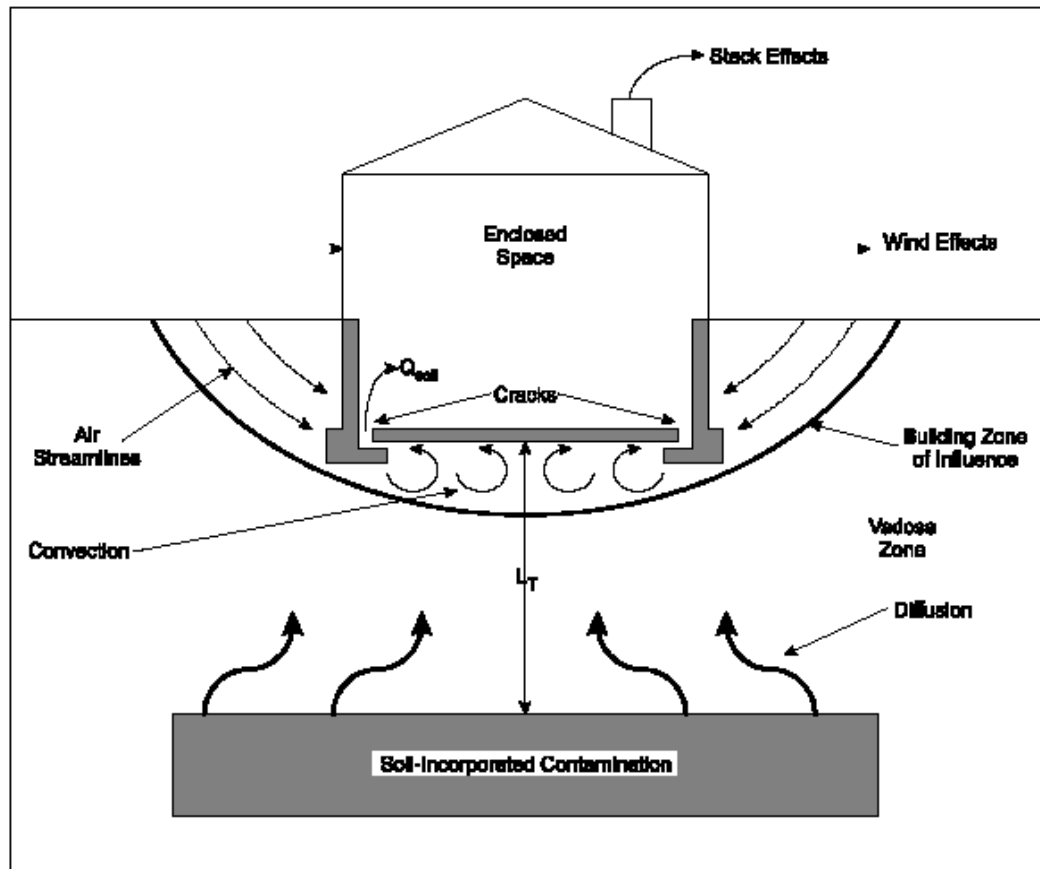
### **■ Fonctionnement du modèle : contraintes, phénomènes et hypothèses**

Faisant intervenir la perméabilité du sol au droit du plancher, ce modèle ne s'applique qu'aux cas où le plancher du bâtiment repose directement sur le sol, sans vide sanitaire intermédiaire, c'est-à-dire en présence d'une dalle.

Il s'agit d'un modèle analytique à une dimension (verticale) permettant de modéliser le transfert diffusif des polluants depuis les eaux souterraines, le sol ou les gaz du sol jusqu'à la surface d'influence du bâtiment. Puis le transport diffusif et convectif (uniquement dans la zone d'influence des bâtiments) des gaz dans le sol et enfin le transfert des gaz vers l'intérieur des bâtiments. Le résultat fournit un coefficient d'atténuation qui relie la concentration en vapeur de l'air intérieur à celle de la source de contamination. Le modèle permet de prendre en compte les sources finies ou infinies de pollution.

Dans le cas d'une source finie, l'hypothèse est faite que la diminution de la source a lieu au cours du temps depuis la surface de la zone contaminée. La concentration finale est moyennée par rapport à la durée d'exposition.

Les schémas ci-bas représentent l'ensemble des processus ayant lieu en cas d'une source de pollution sol ou aquifère.



**Schéma de principe du modèle Johnson and Ettinger dans le cas d'une source sols.**

Le schéma ci-haut représente le diagramme conceptuel simplifié d'un scénario où la source de contamination incorporée dans le sol et enterrée à une certaine distance sous le plancher du bâtiment. A la limite supérieure de la contamination, la diffusion moléculaire transporte le contaminant volatilisé vers la surface du sol jusqu'à ce qu'il atteigne la zone d'influence du bâtiment. Ici, le mouvement convectif de l'air dans la colonne de sol transporte la vapeur à travers les fissures entre les fondations et la dalle.

Plus généralement, le modèle procède à l'estimation de la concentration en vapeur à la source de contamination, à sa diffusion à travers la zone capillaire, puis la zone non saturée puis à son transport diffusif et convectif dans la zone d'influence du bâtiment.

Les hypothèses de calculs qui encadrent le modèle J&E peuvent constituer des limites. On relève en particulier :

- Les vapeurs de polluants entrent dans la structure principalement par les fissures et ouvertures du mur et des fondations ;
- La diffusion domine le transport par la vapeur entre la source de contamination et la surface d'influence du bâtiment ;
- La répartition du composé est homogène sur toute la zone de contamination ;
- Le modèle ne prend pas en compte les processus de transformation (biodégradation, hydrolyse,...) ; donc La concentration du polluant reste constante pendant la durée d'exposition. ;
- La géométrie du bâtiment et de ses fissures est « idéale » ;

- Le sol est supposé homogène horizontalement et isotrope (mêmes caractéristiques dans les trois dimensions) ;
- Le transport par convection est localisé dans la zone sous influence des bâtiments (différence de pression plus marquée) et est séparé des transferts diffusifs qui ont lieu dans l'ensemble du sol.

#### ■ Paramètres du modèle

Cette modélisation est utilisée dans la gestion des sites et sols pollués afin d'évaluer les risques. Elle s'appuie sur des paramètres dont la connaissance nécessite des études de terrain permettant de caractériser la qualité des différents milieux d'exposition.

Les paramètres renseignés ont un effet plus ou moins important sur le risque calculé, c'est-à-dire que le risque est plus ou moins sensible aux variations des paramètres.

Les auteurs du modèle ont effectué une étude de sa sensibilité, dont il ressort :

##### sensibilité élevée :

- la profondeur de sol jusqu'à la surface de la source de contamination
- la perméabilité du sol
- la teneur en eau du sol
- la différence de pression entre l'air intérieur et extérieur.

##### sensibilité moyenne :

- fraction de carbone organique
- porosité totale du sol
- profondeur sous le niveau du sol jusqu'au fond de la contamination
- volume du bâtiment
- largeur de la fissure au niveau de la jonction mur-plancher
- taux d'échange de l'air intérieur

## Summary of Input Values Used in Fate and Transport Model

### Model Description:

Source media: Groundwater (dissolved phase concentration)

Saturated zone model (dissolved phase source)

\*\*\*

Lens not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm3/cm3	4,9E-01
Water content	cm3/cm3	1,7E-01
Air content	cm3/cm3	3,2E-01
Distance from groundwater to building	m	2,5E+00
Bioattenuation factor	-	1,0E+00

Capillary Fringe		
Thickness of the capillary fringe	cm	1,6E+02
Air content	-	1,1E-01
Water content	-	3,8E-01

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1,0E+01
Fraction of cracks	-	2,0E-03
Porosity in cracks	cm3/cm3	2,5E-01
Water content in cracks	cm3/cm3	0,0E+00
Enclosed space floor length	m	5,0E+00
Enclosed space floor width	m	2,0E+00
Enclosed space height	m	2,5E+00
Volume of building	m3	2,5E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5,0E-01
Length of foundation perimeter	m	1,4E+01
= 2 * (length + width of foundation)		
Depth of foundation	cm	3,0E+02
Pressure difference	g/cm-s2	4,0E+01
Permeability of soil to vapors	cm2	3,2E-10
***Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.		

Dissolved Source for Groundwater Model [mg/l]		
Dichloroethane (1,1)	mg/l	2,0E-03
Dichloroethylene (1,1)	mg/l	2,1E-03
Dichloroethylene (cis 1,2)	mg/l	1,3E+00
Dichloroethene (trans 1,2)	mg/l	4,8E-03
Tetrachloroethylene (PCE)	mg/l	1,0E-03
Trichloroethylene (TCE)	mg/l	2,3E-02
Vinyl Chloride	mg/l	1,0E+00

Chemical Properties	Units	Dichloroethan e (1,1)	Dichloroethylene ne (1,1)	Dichloroethylene ne (cis 1,2)	Dichloroethen e (trans 1,2)	Tetrachloroeth ylene (PCE)	Trichloroethyl ene (TCE)	Vinyl Chloride
Diffusion coefficient in air	cm2/s	7,4E-02	9,0E-02	7,4E-02	7,1E-02	7,2E-02	7,9E-02	1,1E-01
Diffusion coefficient in water	cm2/s	1,1E-05	1,0E-05	1,1E-05	1,2E-05	8,2E-06	9,1E-06	1,2E-06
Solubility	mg/l	5,1E+03	2,3E+03	3,5E+03	6,3E+03	2,0E+02	1,1E+03	2,8E+03
Kd (total soil partition coefficient)	L/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
KOC (organiChem carbon partition coefficient)	L/kg	3,2E+01	5,9E+01	3,6E+01	5,3E+01	1,6E+02	1,7E+02	1,9E+01
Henry's Law coefficient	m3-H2O)/(m3-air	2,3E-01	1,1E+00	1,7E-01	3,9E-01	7,5E-01	4,2E-01	1,1E+00
Molecular weight	g/mol	9,9E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	1,7E+02	1,3E+02	6,3E+01

Model results	Units	Dichloroethan e (1,1)	Dichloroethylene ne (1,1)	Dichloroethylene ne (cis 1,2)	Dichloroethen e (trans 1,2)	Tetrachloroeth ylene (PCE)	Trichloroethyl ene (TCE)	Vinyl Chloride
Well -- groundwater concentration	mg/l	2,00E-03	2,14E-03	1,26E+00	4,84E-03	1,00E-03	2,32E-02	1,03E+00
Vapor conc. above groundwater	mg/m3	4,60E-01	2,29E+00	2,11E+02	1,86E+00	7,54E-01	9,79E+00	1,14E+03
Vapor flux into building	g/s	3,92E-11	2,30E-10	1,80E-08	1,50E-10	6,12E-11	8,72E-10	1,33E-07
Indoor air concentration	mg/m3	1,13E-05	6,61E-05	5,20E-03	4,33E-05	1,76E-05	2,51E-04	3,84E-02

Source : eaux souterraines - Scenarior 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements

Substances	Dichloroethane (1,1)		Dichloroethylene (1,1)		Dichloroethylene (cis 1,2)		Dichloroethene (trans 1,2)		Tetrachloroethylene (PCE)		Trichloroethylene (TCE)		Vinyl Chloride		TOTAL				
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Ado	Adultes	Vie entière	Référence
Cibles																			
Cw = Concentration du polluant dans les eaux souterraines (mg/l)	2,00E-03	2,00E-03	2,14E-03	2,14E-03	1,26E+00	1,26E+00	4,84E-03	4,84E-03	1,00E-03	1,00E-03	2,32E-02	2,32E-02	1,03E+00	1,03E+00					
Ca = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m³)	1,13E-05	1,13E-05	6,61E-05	6,61E-05	5,20E-03	5,20E-03	4,33E-05	4,33E-05	1,76E-05	1,76E-05	2,51E-04	2,51E-04	3,84E-02	3,84E-02					
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02					
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m³)	1,13E-06	1,13E-06	6,61E-06	6,61E-06	5,20E-04	5,20E-04	4,33E-06	4,33E-06	1,76E-06	1,76E-06	2,51E-05	2,51E-05	3,84E-03	3,84E-03					
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76					
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99					
T = Durée d'exposition (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30					
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30					
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70					
Clnc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets à seuils	8,34E-07	1,08E-06	4,89E-06	6,33E-06	3,85E-04	4,98E-04	3,20E-06	4,15E-06	1,30E-06	1,69E-06	1,86E-05	2,41E-05	2,84E-03	3,68E-03					
Clc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets sans seuils	8,34E-08	4,63E-07	4,89E-07	2,71E-06	3,85E-05	2,13E-04	3,20E-07	1,78E-06	1,30E-07	7,23E-07	1,86E-06	1,03E-05	2,84E-04	1,58E-03					
VTInc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m³)	-	-	2,00E-01	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	4,00E-01	4,00E-01	3,20E+00	3,20E+00	1,00E-01	1,00E-01					
VTRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m³) <sup>-1</sup>	1,60E-03	1,60E-03	-	-	-	-	-	-	2,60E-04	2,60E-04	1,00E-03	1,00E-03	3,80E-03	3,80E-03					
QD = quotient de danger (-)	-	-	2,4E-05	3,2E-05	6,4E-03	8,3E-03	5,3E-05	6,9E-05	3,3E-06	4,2E-06	5,8E-06	7,5E-06	2,8E-02	3,7E-02	3,5E-02	4,5E-02	4,5E-02	<1	
ERI = Excès de risque individuel (-)	1,3E-10	7,4E-10	-	-	-	-	-	-	3,4E-11	1,9E-10	1,9E-09	1,0E-08	1,1E-06	6,0E-06	1,1E-06	6,0E-06	7,1E-06	<1E-5	



**Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de commerces**

Substances	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Tetrachloroethylene (PCE)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride	TOTAL	
Cibles	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Référence
Cw = Concentration du polluant dans les eaux souterraines (mg/l)	2,00E-03	2,14E-03	1,26E+00	4,84E-03	1,00E-03	2,32E-02	1,03E+00		
Cs = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m <sup>3</sup> )	1,13E-05	6,61E-05	5,20E-03	4,33E-05	1,76E-05	2,51E-04	3,84E-02		
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m <sup>3</sup> )	1,13E-06	6,61E-06	5,20E-04	4,33E-06	1,76E-06	2,51E-05	3,84E-03		
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31		
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63		
T = Durée d'exposition (années)	42	42	42	42	42	42	42		
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	42	42	42	42	42	42	42		
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70		
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m <sup>3</sup> ), effets à seuils	3,70E-07	2,17E-06	1,71E-04	1,42E-06	5,78E-07	8,25E-06	1,26E-03		
Cic = Concentration moyenne inhalée (mg/m <sup>3</sup> ), effets sans seuils	2,22E-07	1,30E-06	1,02E-04	8,53E-07	3,47E-07	4,95E-06	7,57E-04		
VTRinc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m <sup>3</sup> )	-	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	4,00E-01	3,20E+00	1,00E-01		
VTRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	1,60E-03	-	-	-	2,60E-04	1,00E-03	3,80E-03		
QD = quotient de danger (-)	-	1,1E-05	2,8E-03	2,4E-05	1,4E-06	2,6E-06	1,3E-02	1,5E-02	<1
ERI = Excès de risque individuel (-)	3,6E-10	-	-	-	9,0E-11	4,9E-09	2,9E-06	2,9E-06	<1E-5

Risc5 - Résultats de modélisation - Scénario 1 (1 niveau de sous-sol) - Gaz du sol - teneurs percentile 90

Model Description:

Source media: Soil Gas  
Johnson and Ettinger Indoor air model  
Volatilization from soil gas source to indoor air (onsite)

\*\*\* Lens not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm3/cm3	4,9E-01
Water content	cm3/cm3	1,7E-01
Air content	cm3/cm3	3,2E-01
Distance from source to building	m	1,0E-02
Bioattenuation factor	-	1,0E+00

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1,0E+01
Fraction of cracks	-	2,0E-03
Porosity in cracks	cm3/cm3	2,5E-01
Water content in cracks	cm3/cm3	0,0E+00
Enclosed space floor length	m	5,0E+00
Enclosed space floor width	m	2,0E+00
Enclosed space height	m	2,5E+00
Volume of building	m3	2,5E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5,0E-01
Length of foundation perimeter	m	1,4E+01
± 2" (length + width of foundation)		
Depth of foundation	cm	3,0E+02
Pressure difference	g/cm-s2	4,0E+01
Permeability of soil to vapors	cm2	3,2E-10
***Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.		

Soil Gas Source Concentration for Vapor Model		
Chemical	Units	Concentration
Benzene	mg/m3	3,6E-03
Carbon Tetrachloride	mg/m3	8,0E-03
Chloroform	mg/m3	9,0E-03
Dichloroethane (1,1)	mg/m3	7,0E-03
Dichloroethylene (1,1)	mg/m3	3,3E-03
Dichloroethylene (cis 1,2)	mg/m3	7,0E-02
Dichloroethene (trans 1,2)	mg/m3	9,0E-03
Ethylbenzene	mg/m3	6,0E-03
Tetrachloroethylene (PCE)	mg/m3	7,8E-02
Toluene	mg/m3	1,9E-02
TPH Aliphatic C5-6	mg/m3	8,6E-02
TPH Aliphatic C6-8	mg/m3	1,0E-01
TPH Aliphatic C8-10	mg/m3	1,3E-01
TPH Aliphatic C10-12	mg/m3	1,2E-01
TPH Aliphatic C12-16	mg/m3	4,2E-01
TPH Aromatic C8-10	mg/m3	1,1E-01
Trichloroethane (1,1,1)	mg/m3	8,0E-03
Trichloroethylene (TCE)	mg/m3	2,3E-01
Vinyl Chloride (adult)	mg/m3	7,6E-03
Xylenes (total)	mg/m3	3,6E-02

Chemical Properties	Units	Benzene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Ethylbenzene	Tetrachloroethylene (PCE)	Toluene	TPH Aliphatic C5-6	TPH Aliphatic C6-8	TPH Aliphatic C8-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C12-16	TPH Aromatic C8-10	Trichloroethane (1,1,1)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride (adult)	Xylenes (total)
Diffusion coefficient in air	cm2/s	9,0E-02	5,7E-02	7,7E-02	8,4E-02	8,6E-02	8,8E-02	8,8E-02	6,8E-02	5,0E-02	7,8E-02	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	6,5E-02	6,9E-02	1,1E-01	6,9E-02
Diffusion coefficient in water	cm2/s	1,0E-05	9,8E-06	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	8,5E-06	9,5E-06	9,2E-06	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	9,8E-06	1,0E-05	1,2E-05	8,5E-06
Solubility	mg/l	1,8E+03	7,9E+02	7,9E+03	5,1E+03	2,3E+03	3,5E+03	6,3E+03	1,7E+02	2,0E+02	5,3E+02	3,6E+01	5,4E+00	4,3E-01	3,4E-02	7,6E-04	6,5E+01	1,3E+03	1,1E+03	2,8E+03	1,1E+02
Kd (total soil partition coefficient)	L/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
KOC (organic/Chem carbon partition coefficient)	L/kg	5,9E+01	1,7E+02	4,0E+01	3,2E+01	5,9E+01	3,6E+01	5,3E+01	3,6E+02	1,6E+02	1,8E+02	7,9E+02	4,0E+03	3,2E+04	2,5E+05	5,0E+06	1,6E+03	1,1E+02	1,7E+02	1,8E+01	3,8E+02
Henry's Law coefficient	m3-H2O/(m3-air)	2,3E-01	1,1E+00	1,5E-01	2,3E-01	1,1E+00	1,7E-01	3,9E-01	3,2E-01	7,2E-01	2,7E-01	3,4E+01	5,1E+01	8,2E+01	1,3E+02	5,4E+02	4,9E+01	7,0E-01	4,0E-01	1,1E+00	2,7E-01
Molecular weight	g/mol	7,8E+01	1,5E+02	1,2E+02	9,9E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	1,1E+02	1,7E+02	9,2E+01	8,1E+01	1,0E+02	1,3E+02	1,6E+02	2,0E+02	1,2E+02	1,3E+02	1,3E+02	6,3E+01	1,1E+02


Model results	Units	Benzene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Ethylbenzene	Tetrachloroethylene (PCE)	Toluene	TPH Aliphatic C5-6	TPH Aliphatic C6-8	TPH Aliphatic C8-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C12-16	TPH Aromatic C8-10	Trichloroethane (1,1,1)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride (adult)	Xylenes (total)
Source -- vapor concentration	mg/m3	3,6E-03	8,0E-03	9,0E-03	7,0E-03	3,3E-03	7,0E-02	9,0E-03	6,0E-03	7,8E-02	1,9E-02	8,6E-02	1,0E-01	1,3E-01	1,2E-01	4,2E-01	1,1E-01	8,0E-03	2,3E-01	7,6E-03	3,6E-02
Vapor flux into building	g/s	1,2E-12	1,8E-12	2,5E-12	2,1E-12	1,0E-12	2,2E-11	2,8E-12	1,5E-12	1,6E-11	5,4E-12	3,0E-11	3,5E-11	4,6E-11	4,2E-11	1,5E-10	3,9E-11	2,0E-12	5,9E-11	2,9E-12	9,2E-12
Indoor air concentration	mg/m3	3,3E-07	5,1E-07	7,3E-07	6,1E-07	3,0E-07	6,4E-06	8,2E-07	4,4E-07	4,5E-06	1,6E-06	8,7E-06	1,0E-05	1,3E-05	1,2E-05	4,3E-05	1,1E-05	5,6E-07	1,7E-05	8,2E-07	2,6E-06

	Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements												Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements											
Substances	Benzene		Carbon Tetrachloride		Chloroform		Dichloroethane (1,1)		Dichloroethylene (1,1)		Dichloroethylene (cis 1,2)		Dichloroethene (trans 1,2)		Ethylbenzene		Tetrachloroethylene (PCE)		Toluene		TPH Aliphatic C5-6		TPH Aliphatic C6-8	
Cibles	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Cw = Concentration du polluant dans les gaz du sol (mg/m3)	3,60E-03	3,60E-03	8,00E-03	8,00E-03	9,00E-03	9,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	3,30E-03	3,30E-03	7,00E-02	7,00E-02	9,00E-03	9,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	7,80E-02	7,80E-02	1,90E-02	1,90E-02	8,58E-02	8,58E-02	1,00E-01	1,00E-01
Ca = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m³)	3,33E-07	3,33E-07	5,07E-07	5,07E-07	7,30E-07	7,30E-07	6,10E-07	6,10E-07	2,95E-07	2,95E-07	6,40E-06	6,40E-06	8,16E-07	8,16E-07	4,41E-07	4,41E-07	4,48E-06	4,48E-06	1,56E-06	1,56E-06	8,74E-06	8,74E-06	1,02E-05	1,02E-05
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m³)	3,33E-08	3,33E-08	5,07E-08	5,07E-08	7,30E-08	7,30E-08	6,10E-08	6,10E-08	2,95E-08	2,95E-08	6,40E-07	6,40E-07	8,16E-08	8,16E-08	4,41E-08	4,41E-08	4,48E-07	4,48E-07	1,56E-07	1,56E-07	8,74E-07	8,74E-07	1,02E-06	1,02E-06
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
T = Durée d'exposition (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets à seuils	2,46E-08	3,19E-08	3,75E-08	4,85E-08	5,40E-08	6,99E-08	4,51E-08	5,84E-08	2,19E-08	2,83E-08	4,73E-07	6,13E-07	6,04E-08	7,82E-08	3,26E-08	4,22E-08	3,31E-07	4,29E-07	1,15E-07	1,49E-07	6,47E-07	8,37E-07	7,54E-07	9,76E-07
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets sans seuils	2,46E-09	1,37E-08	3,75E-09	2,08E-08	5,40E-09	2,99E-08	4,51E-09	2,50E-08	2,19E-09	1,21E-08	4,73E-08	2,63E-07	6,04E-09	3,35E-08	3,26E-09	1,81E-08	3,31E-08	1,84E-07	1,15E-08	6,38E-08	6,47E-08	3,59E-07	7,54E-08	4,18E-07
VTIRinc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m³)	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-01	1,00E-01	6,30E-02	6,30E-02	-	-	2,00E-01	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	1,50E+00	1,50E+00	4,00E-01	4,00E-01	1,90E+01	1,90E+01	1,84E+01	1,84E+01	1,84E+01	1,84E+01
VTIRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m³)¹	2,60E-02	2,60E-02	6,00E-03	6,00E-03	2,30E-02	2,30E-02	1,60E-03	1,60E-03	-	-	-	-	-	-	2,50E-03	2,50E-03	2,60E-04	2,60E-04	-	-	-	-	-	-
QD = quotient de danger (-)	2,5E-06	3,2E-06	3,7E-07	4,9E-07	8,6E-07	1,1E-06	-	-	1,1E-07	1,4E-07	7,9E-06	1,0E-05	1,0E-06	1,3E-06	2,2E-08	2,8E-08	8,3E-07	1,1E-06	6,1E-09	7,8E-09	3,5E-08	4,5E-08	4,1E-08	5,3E-08
ERI = Excès de risque individuel (-)	6,4E-11	3,6E-10	2,2E-11	1,2E-10	1,2E-10	6,9E-10	7,2E-12	4,0E-11	-	-	-	-	-	-	8,2E-12	4,5E-11	8,6E-12	4,8E-11	-	-	-	-	-	-

Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements																			
TPH Aliphatic C8-10		TPH Aliphatic C10-12		TPH Aliphatic C12-16		TPH Aromatic C8-10		Trichloroethane (1,1,1)		Trichloroethylene (TCE)		Vinyl Chloride (adult)		Xylenes (total)		TOTAL		Enfants	Adultes
Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes				
1,30E-01	1,30E-01	1,20E-01	1,20E-01	4,20E-01	4,20E-01	1,10E-01	1,10E-01	8,00E-03	8,00E-03	2,30E-01	2,30E-01	7,60E-03	7,60E-03	3,60E-02	3,60E-02				
1,32E-05	1,32E-05	1,22E-05	1,22E-05	4,28E-05	4,28E-05	1,12E-05	1,12E-05	5,62E-07	5,62E-07	1,69E-05	1,69E-05	8,22E-07	8,22E-07	2,65E-06	2,65E-06				
0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02				
1,32E-06	1,32E-06	1,22E-06	1,22E-06	4,28E-06	4,28E-06	1,12E-06	1,12E-06	5,62E-08	5,62E-08	1,69E-06	1,69E-06	8,22E-08	8,22E-08	2,65E-07	2,65E-07				
0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76				
0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99				
7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30				
7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30				
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70				
9,80E-07	1,27E-06	9,04E-07	1,17E-06	3,17E-06	4,10E-06	8,29E-07	1,07E-06	4,15E-08	5,38E-08	1,25E-06	1,62E-06	6,08E-08	7,87E-08	1,96E-07	2,53E-07				
9,80E-08	5,44E-07	9,04E-08	5,02E-07	3,17E-07	1,76E-06	8,29E-08	4,60E-07	4,15E-09	2,30E-08	1,25E-07	6,95E-07	6,08E-09	3,37E-08	1,96E-08	1,09E-07				
1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,00E-01	2,00E-01	5,00E+00	5,00E+00	3,20E+00	3,20E+00	1,00E-01	1,00E-01	2,20E-01	2,20E-01				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80E-03	3,80E-03	-	-				
9,8E-07	1,3E-06	9,0E-07	1,2E-06	3,2E-06	4,1E-06	4,1E-06	5,4E-06	8,3E-09	1,1E-08	3,9E-07	5,1E-07	6,1E-07	7,9E-07	8,9E-07	1,2E-06	2,5E-05	3,2E-05	3,2E-05	<1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3E-11	1,3E-10	-	-	2,6E-10	1,4E-09	1,7E-09	<1E-5

Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements

Substances	Benzene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Ethylbenzene	Tetrachloroethylene (PCE)	Toluene	TPH Aliphatic C5-6	TPH Aliphatic C6-8	TPH Aliphatic C8-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C12-16	TPH Aromatic C8-10	Trichloroethane (1,1,1)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride (adult)	Xylenes (total)	TOTAL	
Cibles	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Travailleur	Référence
Cw = Concentration du polluant dans les gaz du sol (mg/m3)	3,60E-03	8,00E-03	9,00E-03	7,00E-03	3,30E-03	7,00E-02	9,00E-03	6,00E-03	7,80E-02	1,90E-02	8,58E-02	1,00E-01	1,30E-01	1,20E-01	4,20E-01	1,10E-01	8,00E-03	2,30E-01	7,60E-03	3,60E-02		
Ca = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m³)	3,33E-07	5,07E-07	7,30E-07	6,10E-07	2,95E-07	6,40E-06	8,16E-07	4,41E-07	4,48E-06	1,56E-06	8,74E-06	1,02E-05	1,32E-05	1,22E-05	4,28E-05	1,12E-05	5,62E-07	1,69E-05	8,22E-07	2,65E-06		
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m³)	3,33E-08	5,07E-08	7,30E-08	6,10E-08	2,95E-08	6,40E-07	8,16E-08	4,41E-08	4,48E-07	1,56E-07	8,74E-07	1,02E-06	1,32E-06	1,22E-06	4,28E-06	1,12E-06	5,62E-08	1,69E-06	8,22E-08	2,65E-07		
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	
T = Durée d'exposition (années)	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets à seuils	1,09E-08	1,66E-08	2,39E-08	2,00E-08	9,70E-09	2,10E-07	2,68E-08	1,45E-08	1,47E-07	5,11E-08	2,87E-07	3,34E-07	4,35E-07	4,01E-07	1,40E-06	3,68E-07	1,84E-08	5,56E-07	2,70E-08	8,69E-08		
Cic = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets sans seuils	6,55E-09	9,98E-09	1,44E-08	1,20E-08	5,82E-09	1,26E-07	1,61E-08	8,68E-09	8,82E-08	3,06E-08	1,72E-07	2,01E-07	2,61E-07	2,41E-07	8,43E-07	2,21E-07	1,11E-08	3,34E-07	1,62E-08	5,21E-08		
VTRicnc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m³)	1,00E-02	1,00E-01	6,30E-02	-	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	1,50E+00	4,00E-01	1,90E+01	1,84E+01	1,84E+01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,00E-01	5,00E+00	3,20E+00	1,00E-01	2,20E-01		
VTRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m³) <sup>-1</sup>	2,60E-02	6,00E-03	2,30E-02	1,60E-03	-	-	-	2,50E-03	2,60E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80E-03	-		
QD = quotient de danger (-)	1,1E-06	1,7E-07	3,8E-07	-	4,8E-08	3,5E-06	4,5E-07	9,6E-09	3,7E-07	2,7E-09	1,6E-08	1,8E-08	4,3E-07	4,0E-07	1,4E-06	1,8E-06	3,7E-09	1,7E-07	2,7E-07	3,9E-07	1,1E-05	<1
ERI = Excès de risque individuel (-)	1,7E-10	6,0E-11	3,3E-10	1,9E-11	-	-	-	2,2E-11	2,3E-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2E-11	-	6,9E-10	<1E-5



## **ANNEXE 4**

# **DETAILS DES CALCULS DES RISQUES POUR LA DEFINITION DES SEUILS D'ALERTE**

# Risc5 - Résultats de modélisation - Scénario 1 (1 niveau de sous-sol) - Eaux souterraines - Seuils d'alerte

## Model Description:

Source media: Groundwater (dissolved phase concentration)

Saturated zone model (dissolved phase source)

\*\*\*

Lens not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm3/cm3	4,9E-01
Water content	cm3/cm3	1,7E-01
Air content	cm3/cm3	3,2E-01
Distance from groundwater to building	m	2,5E+00
Bioattenuation factor	-	1,0E+00

Capillary Fringe		
Thickness of the capillary fringe	cm	1,6E+02
Air content	-	1,1E-01
Water content	-	3,8E-01

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1,0E+01
Fraction of cracks	-	2,0E-03
Porosity in cracks	cm3/cm3	2,5E-01
Water content in cracks	cm3/cm3	0,0E+00
Enclosed space floor length	m	5,0E+00
Enclosed space floor width	m	2,0E+00
Enclosed space height	m	2,5E+00
Volume of building	m3	2,5E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5,0E-01
Length of foundation perimeter	m	1,4E+01
= 2 * (length + width of foundation)		
Depth of foundation	cm	3,0E+02
Pressure difference	g/cm-s2	4,0E+01
Permeability of soil to vapors	cm2	3,2E-10

\*\*\*Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.

Dissolved Source for Groundwater Model [mg/l]		
Dichloroethane (1,1)	mg/l	2,0E+00
Dichloroethylene (1,1)	mg/l	8,0E+00
Dichloroethylene (cis 1,2)	mg/l	8,0E+01
Dichloroethene (trans 1,2)	mg/l	4,0E+00
Tetrachloroethylene (PCE)	mg/l	5,0E-01
Trichloroethylene (TCE)	mg/l	1,3E+00
Vinyl Chloride	mg/l	1,1E+00

Chemical Properties	Units	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethylene (trans 1,2)	Tetrachloroethylene (PCE)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride
Diffusion coefficient in air	cm2/s	7,4E-02	9,0E-02	7,4E-02	7,1E-02	7,2E-02	7,9E-02	1,1E-01
Diffusion coefficient in water	cm2/s	1,1E-05	1,0E-05	1,1E-05	1,2E-05	8,2E-06	9,1E-06	1,2E-06
Solubility	mg/l	5,1E+03	2,3E+03	3,5E+03	6,3E+03	2,0E+02	1,1E+03	2,8E+03
Kd (total soil partition coefficient)	L/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
KOC (organiChem carbon partition coefficient)	L/kg	3,2E+01	5,9E+01	3,6E+01	5,3E+01	1,6E+02	1,7E+02	1,9E+01
Henry's Law coefficient	m3-H2O)/(m3-air)	2,3E-01	1,1E+00	1,7E-01	3,9E-01	7,5E-01	4,2E-01	1,1E+00
Molecular weight	g/mol	9,9E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	1,7E+02	1,3E+02	6,3E+01

Model results	Units	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethylene (trans 1,2)	Tetrachloroethylene (PCE)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride
Well -- groundwater concentration	mg/l	2,0E+00	8,0E+00	8,0E+01	4,0E+00	5,0E-01	1,3E+00	1,1E+00
Vapor conc. above groundwater	mg/m3	4,6E+02	8,6E+03	1,3E+04	1,5E+03	3,8E+02	5,5E+02	1,2E+03
Vapor flux into building	g/s	3,9E-08	8,6E-07	1,1E-06	1,2E-07	3,1E-08	4,9E-08	1,4E-07
Indoor air concentration	mg/m3	1,1E-02	2,5E-01	3,3E-01	3,6E-02	8,8E-03	1,4E-02	4,1E-02

## Source : eaux souterraines - Scenarion 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements

Substances	Dichloroethane (1,1)		Dichloroethylene (1,1)		Dichloroethylene (cis 1,2)		Dichloroethene (trans 1,2)		Tetrachloroethylene (PCE)		Trichloroethylene (TCE)		Vinyl Chloride		TOTAL			Vie entière	Référence	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Ado	Adultes			
Cibles																				
Cw = Concentration du polluant dans les eaux souterraines (mg/l)	2,00E+00	2,00E+00	8,00E+00	8,00E+00	8,00E+01	8,00E+01	4,00E+00	4,00E+00	5,00E-01	5,00E-01	1,30E+00	1,30E+00	1,10E+00	1,10E+00						
Ca = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m³)	1,13E-02	1,13E-02	2,47E-01	2,47E-01	3,29E-01	3,29E-01	3,58E-02	3,58E-02	8,81E-03	8,81E-03	1,41E-02	1,41E-02	4,11E-02	4,11E-02						
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02						
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m³)	1,13E-03	1,13E-03	2,47E-02	2,47E-02	3,29E-02	3,29E-02	3,58E-03	3,58E-03	8,81E-04	8,81E-04	1,41E-03	1,41E-03	4,11E-03	4,11E-03						
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76						
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99						
T = Durée d'exposition (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30						
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30						
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70						
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets à seuils	8,34E-04	1,08E-03	1,83E-02	2,37E-02	2,43E-02	3,15E-02	2,65E-03	3,43E-03	6,52E-04	8,44E-04	1,04E-03	1,35E-03	3,04E-03	3,94E-03						
Cic = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets sans seuils	8,34E-05	4,63E-04	1,83E-03	1,01E-02	2,43E-03	1,35E-02	2,65E-04	1,47E-03	6,52E-05	3,62E-04	1,04E-04	5,78E-04	3,04E-04	1,69E-03						
VTRinc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m³)	-	-	2,00E-01	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	4,00E-01	4,00E-01	3,20E+00	3,20E+00	1,00E-01	1,00E-01						
VTRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m³) <sup>1</sup>	1,60E-03	1,60E-03	-	-	-	-	-	-	2,60E-04	2,60E-04	1,00E-03	1,00E-03	3,80E-03	3,80E-03						
QD = quotient de danger (-)	-	-	9,1E-02	1,2E-01	4,1E-01	5,3E-01	4,4E-02	5,7E-02	1,6E-03	2,1E-03	3,3E-04	4,2E-04	3,0E-02	3,9E-02	5,7E-01	7,4E-01	7,4E-01	<1		
ERI = Excès de risque individuel (-)	1,3E-07	7,4E-07	-	-	-	-	-	-	1,7E-08	9,4E-08	1,0E-07	5,8E-07	1,2E-06	6,4E-06	1,4E-06	7,8E-06	9,2E-06	<1E-5		



Risc5 - Résultats de modélisation - Scénario 1 (1 niveau de sous-sol) - Gaz du sol - Seuils d'alerte

Model Description:

Source media: Soil Gas  
Johnson and Ettinger Indoor air model  
Volatilization from soil gas source to indoor air (onsite)

\*\*\*  
Lens not used

Unsaturated Zone Properties Beneath Building		
Total porosity	cm3/cm3	4,9E-01
Water content	cm3/cm3	1,7E-01
Air content	cm3/cm3	3,2E-01
Distance from source to building	m	1,0E-02
Bioattenuation factor	-	1,0E+00

Building Parameters		
Diffusion and convection considered		
Foundation thickness	cm	1,0E+01
Fraction of cracks	-	2,0E-03
Porosity in cracks	cm3/cm3	2,5E-01
Water content in cracks	cm3/cm3	0,0E+00
Enclosed space floor length	m	5,0E+00
Enclosed space floor width	m	2,0E+00
Enclosed space height	m	2,5E+00
Volume of building	m3	2,5E+01
Number of air changes per hour	1/hr	5,0E-01
Length of foundation perimeter	m	1,4E+01
= 2 * (length + width of foundation)		
Depth of foundation	cm	3,0E+02
Pressure difference	g/cm-s2	4,0E+01
Permeability of soil to vapors	cm2	3,2E-10
***Volumetric flow rate of soil gas into building will be estimated from above input parameters.		

Soil Gas Source Concentration for Vapor Model		
Chemical	Units	Concentration
Benzene	mg/m3	5,0E+02
Carbon Tetrachloride	mg/m3	8,0E+02
Chloroform	mg/m3	1,0E+02
Dichloroethane (1,1)	mg/m3	1,0E+02
Dichloroethylene (1,1)	mg/m3	1,0E+02
Dichloroethylene (cis 1,2)	mg/m3	1,5E+03
Dichloroethene (trans 1,2)	mg/m3	2,0E+02
Ethylbenzene	mg/m3	2,0E+02
Tetrachloroethylene (PCE)	mg/m3	1,5E+03
Toluene	mg/m3	5,0E+02
TPH Aliphatic C5-6	mg/m3	2,0E+03
TPH Aliphatic C6-8	mg/m3	1,5E+03
TPH Aliphatic C8-10	mg/m3	1,5E+03
TPH Aliphatic C10-12	mg/m3	1,5E+03
TPH Aliphatic C12-16	mg/m3	3,5E+03
TPH Aromatic C8-10	mg/m3	1,0E+03
Trichloroethane (1,1,1)	mg/m3	2,0E+02
Trichloroethylene (TCE)	mg/m3	5,0E+03
Vinyl Chloride (adult)	mg/m3	3,0E+02
Xylenes (total)	mg/m3	6,0E+02

Chemical Properties	Units	Benzene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Ethylbenzene	Tetrachloroethylene (PCE)	Toluene	TPH Aliphatic C5-6	TPH Aliphatic C6-8	TPH Aliphatic C8-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C12-16	TPH Aromatic C8-10	Trichloroethane (1,1,1)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride (adult)	Xylenes (total)
Diffusion coefficient in air	cm2/s	9,0E-02	5,7E-02	7,7E-02	8,4E-02	8,6E-02	8,8E-02	8,8E-02	6,8E-02	5,0E-02	7,8E-02	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	1,0E-01	6,5E-02	6,9E-02	1,1E-01	6,9E-02
Diffusion coefficient in water	cm2/s	1,0E-05	9,8E-06	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	8,5E-06	9,5E-06	9,2E-06	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	1,0E-05	9,6E-06	1,0E-05	1,2E-05	8,5E-06
Solubility	mg/l	1,8E+03	7,9E+02	7,9E+03	5,1E+03	2,3E+03	3,5E+03	6,3E+03	1,7E+02	2,0E+02	5,3E+02	3,6E+01	5,4E+00	4,3E+01	3,4E-02	7,6E-04	6,5E+01	1,3E+03	1,1E+03	2,8E+03	1,1E+02
Kd (total soil partition coefficient)	L/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
KOC (organ/Chem carbon partition coefficient)	L/kg	5,9E+01	1,7E+02	4,0E+01	3,2E+01	5,9E+01	3,6E+01	5,3E+01	3,6E+02	1,6E+02	1,8E+02	7,9E+02	4,0E+03	3,2E+04	2,5E+05	5,0E+06	1,6E+03	1,1E+02	1,7E+02	1,9E+01	3,8E+02
Henry's Law coefficient	m3-H2O)/(m3-air	2,3E-01	1,1E+00	1,5E-01	2,3E-01	1,1E+00	1,7E-01	3,9E-01	3,2E-01	7,2E-01	2,7E-01	3,4E+01	5,1E+01	8,2E+01	1,3E+02	5,4E+02	4,9E-01	7,0E-01	4,0E-01	1,1E+00	2,7E-01
Molecular weight	g/mol	7,8E+01	1,5E+02	1,2E+02	9,9E+01	9,7E+01	9,7E+01	9,7E+01	1,1E+02	1,7E+02	9,2E+01	8,1E+01	1,0E+02	1,3E+02	1,6E+02	2,0E+02	1,2E+02	1,3E+02	1,3E+02	6,3E+01	1,1E+02

Model results	Units	Benzene	Carbon Tetrachloride	Chloroform	Dichloroethane (1,1)	Dichloroethylene (1,1)	Dichloroethylene (cis 1,2)	Dichloroethene (trans 1,2)	Ethylbenzene	Tetrachloroethylene (PCE)	Toluene	TPH Aliphatic C5-6	TPH Aliphatic C6-8	TPH Aliphatic C8-10	TPH Aliphatic C10-12	TPH Aliphatic C12-16	TPH Aromatic C8-10	Trichloroethane (1,1,1)	Trichloroethylene (TCE)	Vinyl Chloride (adult)	Xylenes (total)
Source -- vapor concentration	mg/m3	5,0E+02	8,0E+02	1,0E+02	1,0E+02	1,0E+02	1,5E+03	2,0E+02	2,0E+02	1,5E+03	5,0E+02	2,0E+03	1,5E+03	1,5E+03	1,5E+03	3,5E+03	1,0E+03	2,0E+02	5,0E+03	3,0E+02	6,0E+02
Vapor flux into building	g/s	1,6E-07	1,8E-07	2,8E-08	3,0E-08	3,1E-08	4,7E-07	6,3E-08	5,1E-08	3,0E-07	1,4E-07	7,1E-07	5,3E-07	5,3E-07	5,3E-07	1,2E-06	3,5E-07	4,9E-08	1,3E-06	1,1E-07	1,5E-07
Indoor air concentration	mg/m3	4,6E-02	5,0E-02	8,1E-03	8,7E-03	8,9E-03	1,4E-01	1,8E-02	1,5E-02	8,6E-02	4,1E-02	2,0E-01	1,6E-01	1,5E-01	1,5E-01	3,6E-01	1,0E-01	1,4E-02	3,7E-01	3,2E-02	4,4E-02

	Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements												Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements											
Substances	Benzene		Carbon Tetrachloride		Chloroform		Dichloroethane (1,1)		Dichloroethylene (1,1)		Dichloroethylene (cis 1,2)		Dichloroethene (trans 1,2)		Ethylbenzene		Tetrachloroethylene (PCE)		Toluene		TPH Aliphatic C5-6		TPH Aliphatic C6-8	
Cibles	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Cw = Concentration du polluant dans les gaz du sol (mg/m3)	5,00E+02	5,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	1,50E+03	1,50E+03	2,00E+02	2,00E+02	2,00E+02	2,00E+02	1,50E+03	1,50E+03	5,00E+02	5,00E+02	2,00E+03	2,00E+03	1,50E+03	1,50E+03
Ca = Concentration du polluant dans l'air du sous-sol (mg/m³)	4,61E-02	4,61E-02	5,05E-02	5,05E-02	8,08E-03	8,08E-03	8,69E-03	8,69E-03	8,92E-03	8,92E-03	1,37E-01	1,37E-01	1,81E-02	1,81E-02	1,46E-02	1,46E-02	8,58E-02	8,58E-02	4,08E-02	4,08E-02	2,03E-01	2,03E-01	1,52E-01	1,52E-01
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02
Ca = Concentration du polluant dans l'air intérieur du logement (mg/m³)	4,61E-03	4,61E-03	5,05E-03	5,05E-03	8,08E-04	8,08E-04	8,69E-04	8,69E-04	8,92E-04	8,92E-04	1,37E-02	1,37E-02	1,81E-03	1,81E-03	1,46E-03	1,46E-03	8,58E-03	8,58E-03	4,08E-03	4,08E-03	2,03E-02	2,03E-02	1,52E-02	1,52E-02
t = Fraction du temps d'exposition pendant une journée (heures/24)	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76
F = Fréquence d'exposition (jours/365)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
T = Durée d'exposition (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets à seuils (années)	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30
Tm = Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée, effets sans seuils (années)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Cinc = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets à seuils	3,41E-03	4,41E-03	3,74E-03	4,84E-03	5,98E-04	7,74E-04	6,42E-04	8,32E-04	6,60E-04	8,54E-04	1,01E-02	1,31E-02	1,34E-03	1,73E-03	1,08E-03	1,40E-03	6,35E-03	8,21E-03	3,02E-03	3,91E-03	1,50E-02	1,94E-02	1,13E-02	1,46E-02
Cic = Concentration moyenne inhalée (mg/m³), effets sans seuils	3,41E-04	1,89E-03	3,74E-04	2,07E-03	5,98E-05	3,32E-04	6,42E-05	3,56E-04	6,60E-05	3,66E-04	1,01E-03	5,61E-03	1,34E-04	7,42E-04	1,08E-04	6,01E-04	6,35E-04	3,52E-03	3,02E-04	1,67E-03	1,50E-03	8,34E-03	1,13E-03	6,25E-03
VTRinc = valeur toxicologique de référence, effets à seuils (mg/m³)	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-01	1,00E-01	6,30E-02	6,30E-02	-	-	2,00E-01	2,00E-01	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	6,00E-02	1,50E+00	1,50E+00	4,00E-01	4,00E-01	1,90E+01	1,90E+01	1,84E+01	1,84E+01	1,84E+01	1,84E+01
VTRic = valeur toxicologique de référence, effets sans seuils (mg/m³) <sup>-1</sup>	2,60E-02	2,60E-02	6,00E-03	6,00E-03	2,30E-02	2,30E-02	1,60E-03	1,60E-03	-	-	-	-	-	-	2,50E-03	2,50E-03	2,60E-04	2,60E-04	-	-	-	-	-	-
QD = quotient de danger (-)	3,4E-01	4,4E-01	3,7E-02	4,8E-02	9,5E-03	1,2E-02	-	-	3,3E-03	4,3E-03	1,7E-01	2,2E-01	2,2E-02	2,9E-02	7,2E-04	9,4E-04	1,6E-02	2,1E-02	1,6E-04	2,1E-04	8,2E-04	1,1E-03	6,1E-04	7,9E-04
ERI = Excès de risque individuel (-)	8,9E-06	4,9E-05	2,2E-06	1,2E-05	1,4E-06	7,6E-06	1,0E-07	5,7E-07	-	-	-	-	-	-	2,7E-07	1,5E-06	1,6E-07	9,2E-07	-	-	-	-	-	-

Source : eaux souterraines - Scenario 1 : Bâtiment avec 1 niveau de sous-sol - Percentiles 90 - Usages de logements

TPH Aliphatic C8-10		TPH Aliphatic C10-12		TPH Aliphatic C12-16		TPH Aromatic C8-10		Trichloroethane (1,1,1)		Trichloroethylene (TCE)		Vinyl Chloride (adult)		Xylenes (total)		TOTAL			
Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Vie entière	Référence
1,50E+03	1,50E+03	1,50E+03	1,50E+03	3,50E+03	3,50E+03	1,00E+03	1,00E+03	2,00E+02	2,00E+02	5,00E+03	5,00E+03	3,00E+02	3,00E+02	6,00E+02	6,00E+02				
1,52E-01	1,52E-01	1,52E-01	1,52E-01	3,55E-01	3,55E-01	1,02E-01	1,02E-01	1,40E-02	1,40E-02	3,67E-01	3,67E-01	3,24E-02	3,24E-02	4,40E-02	4,40E-02				
0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02				
1,52E-02	1,52E-02	1,52E-02	1,52E-02	3,55E-02	3,55E-02	1,02E-02	1,02E-02	1,40E-03	1,40E-03	3,67E-02	3,67E-02	3,24E-03	3,24E-03	4,40E-03	4,40E-03				
0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75	0,76				
0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99				
7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30				
7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30	7	30				
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70				
1,13E-02	1,46E-02	1,13E-02	1,46E-02	2,63E-02	3,40E-02	7,51E-03	9,72E-03	1,04E-03	1,34E-03	2,72E-02	3,51E-02	2,39E-03	3,10E-03	3,25E-03	4,21E-03				
1,13E-03	6,25E-03	1,13E-03	6,25E-03	2,63E-03	1,46E-02	7,51E-04	4,17E-03	1,04E-04	5,74E-04	2,72E-03	1,51E-02	2,39E-04	1,33E-03	3,25E-04	1,80E-03				
1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,00E-01	2,00E-01	5,00E+00	5,00E+00	3,20E+00	3,20E+00	1,00E-01	1,00E-01	2,20E-01	2,20E-01				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,80E-03	3,80E-03	-	-				
1,1E-02	1,5E-02	1,1E-02	1,5E-02	2,6E-02	3,4E-02	3,8E-02	4,9E-02	2,1E-04	2,7E-04	8,5E-03	1,1E-02	2,4E-02	3,1E-02	1,5E-02	1,9E-02	7,3E-01	9,5E-01	9,5E-01	<1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1E-07	5,0E-06	-	-	1,4E-05	7,7E-05	9,1E-05	<1E-5